

# Disponibilidade *Versus* Custos de Suporte: Aplicação de Modelagem e Otimização no Problema de Suporte Logístico para Aeronaves Militares

Lucas Sales Martins<sup>1</sup> e Fernando Teixeira Mendes Abraão<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

**Resumo** – Este artigo trata de suporte logístico para o ciclo de vida de sistemas de armas. São apresentadas uma abordagem do tema no contexto de aeronaves militares e uma revisão bibliográfica dos assuntos “Apoio Integrado ao Produto”, “Disponibilidade” e “Custos de Suporte”. Os vínculos identificados entre a aplicação operacional e a fundamentação teórica são destacados durante a exposição. Mais adiante, uma sequência de procedimentos técnicos e gerenciais é proposta para otimizar o desempenho logístico de uma frota de aeronaves militares, em termos de Disponibilidade e Custos de Suporte, mediante o emprego de ferramentas computacionais de gerenciamento do ciclo de vida de sistemas técnicos complexos. Ao final do trabalho, uma aplicação de modelagem e otimização é realizada, tomando-se como exemplo um caso didático simplificado, para demonstrar os resultados e permitir um posicionamento conclusivo.

**Palavras-Chave** – Suporte Logístico, Disponibilidade, Custos de Suporte.

## I. INTRODUÇÃO

A Constituição Federal do Brasil estabelece como destinação das Forças Armadas a defesa da Pátria, a garantia dos poderes constitucionais e, por iniciativa de qualquer destes, a garantia da lei e da ordem, conforme consta no Art. 142 da Carta Magna [1], de onde deriva a missão síntese da Força Aérea Brasileira (FAB): “Manter a Soberania do Espaço Aéreo e Integrar o Território Nacional, Com Vistas à Defesa da Pátria” [2].

No âmbito do Comando da Aeronáutica (COMAER), para viabilizar as “Ações de Força Aérea”, o Comando-Geral de Apoio (COMGAP) é o Órgão de Direção Setorial que provê o suporte logístico necessário às frotas de aeronaves da FAB, contribuindo sobremaneira para a consecução dos macroprocessos finalísticos, como preconiza o Plano Estratégico Militar da Aeronáutica [3].

A expressão “suporte logístico”, citada no parágrafo anterior, diz respeito ao conjunto das ações necessárias para assegurar o apoio a um sistema durante todo o seu ciclo de vida, devendo seus elementos serem desenvolvidos de forma integrada entre si [4].

Sob essa perspectiva, observa-se que a eficiência do suporte logístico possui papel fundamental para manter as atividades operacionais da FAB, viabilizando condições para que a instituição cumpra sua missão por meio de atribuições legais.

Na área de Defesa, particularmente, o nível de “Disponibilidade” de uma frota de aeronaves repercute diretamente na prontidão operacional. E ainda, há que se considerar a importância de outros parâmetros também relevantes e utilizados para medir o desempenho logístico de

uma frota, como “Confiabilidade”, “Manutenibilidade”, “Custos de Suporte”, entre outros.

No campo operacional, a eficiência do suporte logístico fornecido é constantemente desafiada pelas dificuldades encontradas no processo de melhoria simultânea desses indicadores, dado que algumas dessas grandezas podem ser conflitantes sob determinadas circunstâncias, como limites orçamentários e restrições de ordem estratégica, tática ou operacional.

Nesse contexto, o presente artigo abrange como tema a aplicação de modelagem e otimização em um processo de suporte logístico, provido a uma frota de aeronaves militares, para melhoria de seu desempenho em termos de Disponibilidade e Custos de Suporte, concentrando-se especificamente na fase de operação e suporte, ou *in service phase*, do ciclo de vida do produto.

## II. APOIO INTERGADO AO PRODUTO

A literatura renomeou recentemente a expressão “*Integrated Logistics Support*” (Suporte Logístico Integrado) para “*Integrated Product Support (IPS)*”, que pode ser traduzida como “Apoio Integrado ao Produto”. O IPS consiste no processo técnico e gerencial por meio do qual as atividades e os elementos do suporte logístico são planejados, adquiridos, implementados, testados e providos de maneira oportuna e econômica [5].

Ainda de acordo a especificação internacional referenciada no parágrafo anterior, o objetivo do IPS é desenvolver a solução que otimize capacidade de suporte e custos do ciclo de vida, enquanto o sistema atende aos requisitos operacionais, por meio das seguintes ações:

- Inserção de considerações de suporte no “*design*” de novos sistemas;
- Desenvolvimento de requisitos de suporte compatíveis com os requisitos operacionais do sistema;
- Aquisição e implantação do referido suporte; e
- Provisão do necessário suporte, desde o início do ciclo de vida do sistema até a finalização da fase de descarte, ao menor custo possível, garantindo que a solução de suporte seja ajustada às novas tecnologias e às mudanças de requisitos operacionais.

Como pode ser observado, o processo IPS aplica-se tanto ao desenvolvimento de novos produtos e sistemas quanto ao suporte daqueles já existentes em operação, envolvendo assim todo o ciclo de vida, desde a identificação da necessidade até a desativação.

Logo, as atividades e os elementos do IPS devem ser integrados à engenharia de sistemas já nas fases de preparação e desenvolvimento, perdurando pela produção, *in service phase* e descarte, para que o apoio logístico fornecido possa ter um custo suportável, enquanto o produto atende ao desempenho requerido, como ilustrado na figura adiante.

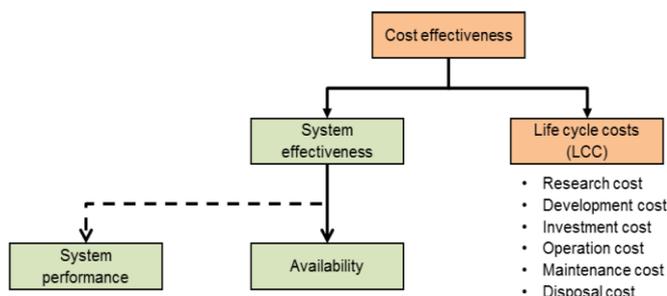


Fig. 1. Balanceamento entre disponibilidade e custos do ciclo de vida [5].

Para atingir seu objetivo, o processo IPS define uma estrutura adequada para o planejamento, desenvolvimento, implementação, gerenciamento e execução das atividades de suporte, bem como descreve uma metodologia baseada em etapas [5]:

- *Design* para o suporte;
- Desenvolvimento do suporte;
- Aquisição e Fornecimento do suporte; e
- Retirada do suporte.

O IPS é composto por um pacote de 12 (doze) elementos básicos que viabilizam a prontidão e a disponibilidade do sistema da forma mais econômica possível. São eles: Manutenção; Apoio de Suprimento; Operações Logísticas; Gerenciamento do Suporte do Produto; Dados Técnicos; Suporte Continuado de Engenharia; Recursos de Computação; Influência do *Design*; Equipamentos de Suporte; Instalações e Infraestrutura; Pessoal e Mão de Obra; e Treinamento.

Referência [5] expõe que os Elementos do IPS podem ser divididos em três grupos (Gestão do Ciclo de Vida, Gestão Técnica e Gestão da Infraestrutura), conforme Fig. 2:

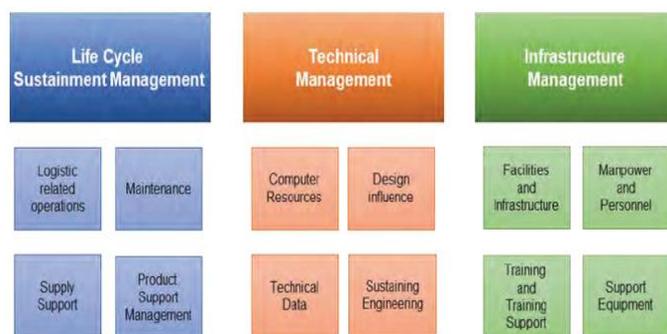


Fig. 2. Visão geral dos Elementos IPS [5].

Esses doze Elementos estão presentes em todas as fases do ciclo de vida do produto ou sistema, principalmente por meio de atividades e requisitos de suporte, e cobrem todas as áreas de suportabilidade.

Assim, cada Elemento do IPS requer atividades específicas, com *inputs* e *outputs*, que devem ser executadas e documentadas no decorrer das fases do ciclo de vida do

produto. A seguir, são listadas algumas das principais atividades do IPS tipicamente executadas durante a *in service phase* [5]:

- Análises Operacionais e de Suportabilidade;
  - Análise de segurança;
  - Investigação de acidente / incidente;
  - Relatório de falha/evento e ações corretivas;
- Serviços de Suporte;
  - Suporte logístico contratual;
  - Serviços de manutenção e reparos;
  - Atualizações de documentação técnica;
  - Treinamento inicial e de acompanhamento;
  - Suporte técnico e de engenharia;
  - Gestão da obsolescência;
  - Modificações e atualizações do produto, incluindo software;
  - Gestão da frota;
  - Gestão das instalações;
- Entregas de Materiais;
  - Peças de reposição;
  - Consumíveis;
  - Equipamentos de teste e de apoio ao solo;
  - Equipamento de treinamento.

E ainda, com relação às métricas de desempenho associadas aos Elementos do IPS, estas são distribuídas em oito categorias: Disponibilidade, Acessibilidade (no sentido de custos); Manutenibilidade; Confiabilidade; Suprimento; Tempo Médio de Atraso Logístico; Prazo de Entrega; e Eficácia de Treinamento [5].

Em uma visão geral, o processo como um todo abrange uma rotina de estágios e atividades executadas dentro do escopo de um contrato, tanto pela empresa contratada para a prestação do serviço de suporte logístico integrado, quanto pela FAB, por meio dos Parques Centrais e das Unidades Operacionais e Apoiadoras, distribuídas pelo território nacional, compreendendo o reparo ou revisão de componentes aeronáuticos reparáveis, delineamento de material para inspeções programadas e não programadas, fornecimento de *spare parts* e materiais de consumo demandados, geração de ordens de serviço, registros de manutenção, movimentação de material e mão de obra, assessoramentos técnico, logístico e de engenharia, disponibilização de dados técnicos, identificação e atendimento de emergências, envio e recolhimento de material entre Operadores e Oficinas Reparadoras, apresentação de *briefings*, entre outros.

### III. DISPONIBILIDADE *VERSUS* CUSTOS DE SUPORTE

A NBR 5462 enuncia o conceito de Disponibilidade como a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, estando os recursos externos necessários assegurados [6].

A Disponibilidade Operacional (do inglês *Operational Availability - Ao*), em especial, é a probabilidade de um sistema ou equipamento operar de forma satisfatória quando requerido, sob condições especificadas em ambiente operacional real [7]. Matematicamente, a Disponibilidade Operacional pode ser definida da seguinte forma [7]:

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

Onde,

- MTBM é o *Mean Time Between Maintenance* (Tempo Médio entre Manutenções); e
- MDT é o *Mean Downtime* (Tempo Médio de Inatividade).

Sendo o MDT calculado pela expressão abaixo:

$$MDT = \bar{M} + LDT + ADT \quad (2)$$

Onde,

- $\bar{M}$  é o *Mean Active Maintenance Time* (Tempo Médio de Manutenção Ativa);
- LDT é o *Logistic Delay Time* (Tempo de Atraso Logístico); e
- ADT é o *Administrative Delay Time* (Tempo de Atraso Administrativo).

Quanto aos Custos de Suporte, estes fazem parte do Custo do Ciclo de Vida, o qual é definido como a soma de quatro categorias principais de custos: (a) custos de pesquisa e desenvolvimento (*research and development - R&D*); (b) custos de investimento (*investment*), que consistem em custos de aquisição e produção; (c) custos de operação e suporte (*operating and support - O&S*); e (d) custos de descarte (*disposal*) [8].

A Fig. 3 mostra um perfil das despesas anuais, por categoria de custo principal, ao longo do ciclo de vida de um sistema de armas.

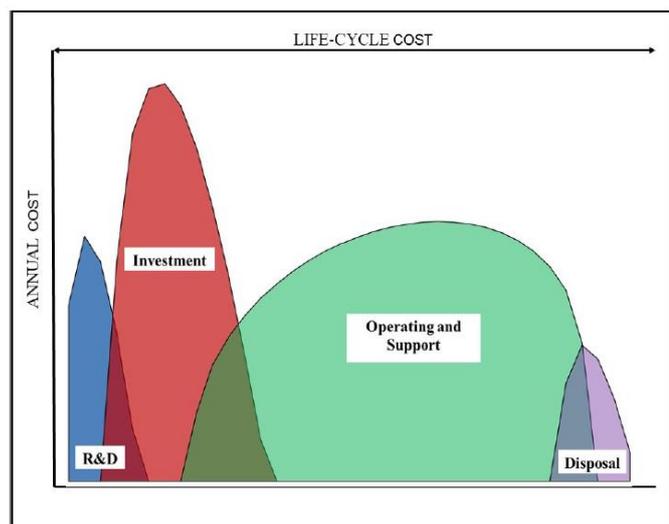


Fig. 3. Custos no ciclo de vida sistemas de armas [8].

Muitas lideranças na área de Aquisições de Defesa reforçam há anos a ideia de que existe uma relação de custo entre as fases de vida dos sistemas de armas em geral, expressa de forma resumida e aproximada como: 70% para “Operação e Suporte” e 30% para “Aquisição” [9].

Um exemplo disso é a Fig. 4, adaptada por [9], mas publicada pela primeira vez em 1997 pelo Defense Systems Management College, no seu Acquisition Logistics Guide, a qual ilustra o “papel dominante que a logística desempenha no custo do ciclo de vida do sistema”, com 72% dos custos do ciclo de vida atribuídos a operação e suporte [10].

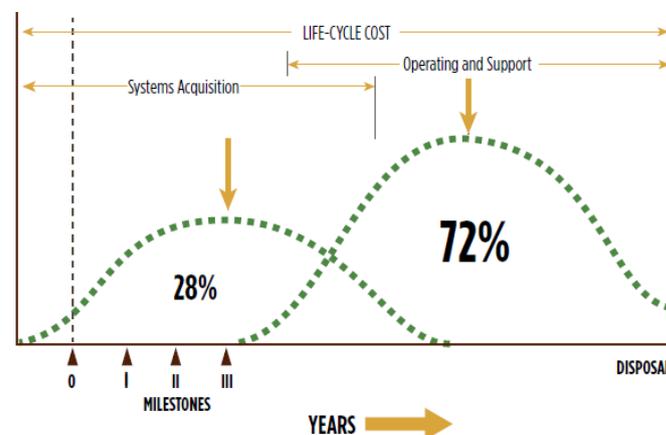


Fig. 4. Proporção de custos nominais para sistemas de armas [9].

Portanto, resta como evidente que Disponibilidade e Custos de Suporte são importantes medidas de desempenho do IPS, que quando analisadas em conjunto podem indicar o nível de eficiência do suporte logístico provido a um sistema de armas.

#### IV. METODOLOGIA PROPOSTA

A esta altura, emerge a pergunta que resume o problema de pesquisa:

“Como melhorar o desempenho logístico de um projeto aeronáutico militar, na fase de operação e suporte do seu ciclo de vida, em termos de maximização da disponibilidade e simultaneamente atendendo aos requisitos de custo?”

No intuito de responder a essa pergunta, o objetivo deste artigo é apresentar uma sequência de procedimentos técnicos e gerenciais para otimizar a performance de uma frota de aeronaves militares, em termos de Disponibilidade e Custos de Suporte, mediante o emprego de ferramentas computacionais de gerenciamento do ciclo de vida de sistemas técnicos complexos, como o *software* OPUS10, desenvolvido pela empresa sueca Systecon.

A metodologia proposta consiste nas seguintes etapas:

- Definir um modelo do processo de suporte logístico, considerando o maior espectro possível de Elementos do IPS, para viabilizar que o sistema de armas atenda aos requisitos operacionais;
- Implementar o modelo do processo real de suporte logístico em ferramentas computacionais de gerenciamento do ciclo de vida de sistemas, de modo a permitir análise;
- Detectar, isolar e identificar eventuais inconsistências, erros e gargalos nos diversos estágios do processo de suporte logístico modelado, com especial atenção aos dados de campo e à dinâmica operacional; e
- Testar alternativas e decisões de gestão, quantificar o impacto de mudanças, prever respostas a *inputs* e otimizar o desempenho logístico da frota em métricas de Disponibilidade e Custos de Suporte.

### V. APLICAÇÃO EM CASO DIDÁTICO SIMPLIFICADO

Por simplicidade e objetividade na demonstração, o exemplo de aplicação aqui apresentado, proposto por [11], restringe-se às atividades de manutenção e gestão de componentes reparáveis, cujo objetivo é calcular o menor Custo de Suporte necessário para resultar na Disponibilidade mínima de 70%, requerida como meta, por meio da definição da lista ótima de peças do estoque de giro e da redução do *mean downtime*.

O cenário é composto por duas Bases Operacionais (Op\_Close e Op\_Far), localizadas em regiões diferentes do país, suportadas por um Armazém Central (Store) e uma Oficina (Work Shop). Os sistemas em operação são aeronaves militares que contêm apenas unidades removíveis na linha (Line Replaceable Units - LRU). Os detalhes do suporte logístico são descritos a seguir, adaptados de [11], e os dados dos componentes das aeronaves constam na Tabela I:

- Uma das bases (Op\_Close) está localizada consideravelmente perto do Armazém Central. A média de tempo de transporte é de 1 dia do armazém até a base e 2 dias da base até o armazém. Nesta base estão localizadas 5 aeronaves;
- A outra base (Op\_Far) está mais longe do Armazém Central. A média de tempo de transporte é de 2 dias do armazém até a base e 4 dias da base até o armazém. Nesta base estão localizados 10 sistemas;
- Quando uma falha ocorre o item que falhou é removido do sistema e levado até o Armazém Central com uma ordem de troca por um item utilizável, o que corresponde a utilizar a política de troca SLOW do OPUS10;
- Quando o item utilizável chega a uma base, e há pedido em aberto, ele é instalado no sistema. Esta atividade leva em média 3,5 horas;
- Do Armazém Central, as LRU que falharam são levadas à Oficina para reparo. O tempo de transporte é de 2 dias;
- A Oficina leva em média 1 mês (720 horas) para realizar o reparo. Ao término do reparo o item é enviado de volta ao armazém, e o transporte leva em média 2 dias;
- A utilização dos sistemas é de 5.256 horas por ano, equivalente a uma utilização de 60% do tempo calendário.

TABELA I. COMPONENTES DAS AERONAVES [11].

ITEM ID	DESCRIPTION	NO PER SYSTEM	PRICE	FAILURE RATE (per 10 <sup>6</sup> op hours)
TBU01	Line Replaceable Unit 1	4	11000	237.75
TBU02	Line Replaceable Unit 2	4	1986	15.90
TBU03	Line Replaceable Unit 3	8	3971	50.99
TBU04	Line Replaceable Unit 4	40	1171	46.60
TBU05	Line Replaceable Unit 5	4	1229	113.90
TBU06	Line Replaceable Unit 6	4	1021	27.00
TBU07	Line Replaceable Unit 7	1	1393	68.00
TBU08	Line Replaceable Unit 8	1	250	68.00
TBU09	Line Replaceable Unit 9	4	557	73.70
TBU10	Line Replaceable Unit 10	1	975	65.70
TBU11	Line Replaceable Unit 11	4	8929	8.00
TBU12	Line Replaceable Unit 12	2	2364	63.00
TBU13	Line Replaceable Unit 13	1	650	35.71
TBU14	Line Replaceable Unit 14	5	743	35.00
TBU15	Line Replaceable Unit 15	1	3143	221.10

Diante do cenário descrito, que definiu uma estrutura simplificada do processo de suporte logístico, procedeu-se à transferência de dados para o *software* OPUS10, conforme ilustrado na Fig. 5, obtendo-se o modelo da Fig. 6.

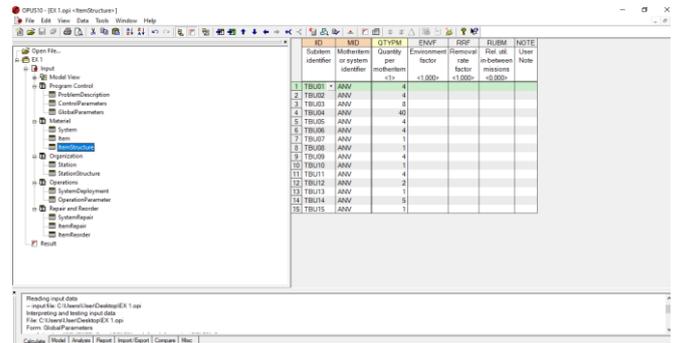


Fig. 5. Transferência de dados para o *software* OPUS10 [11].

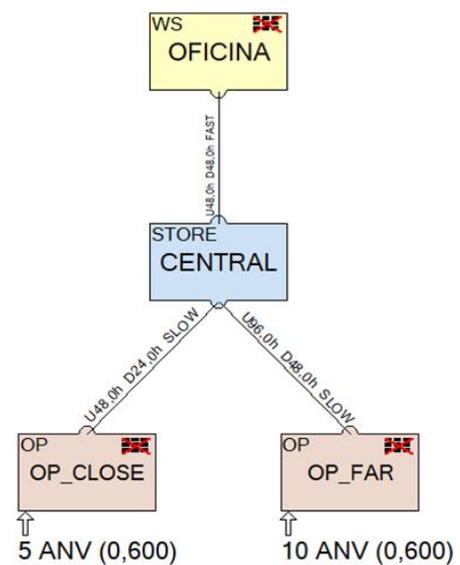


Fig. 6. Vista do modelo de suporte logístico [11].

### VI. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após verificação e correção de eventuais inconsistências, o modelo foi calculado e apresentou o resultado exibido na Fig. 7.

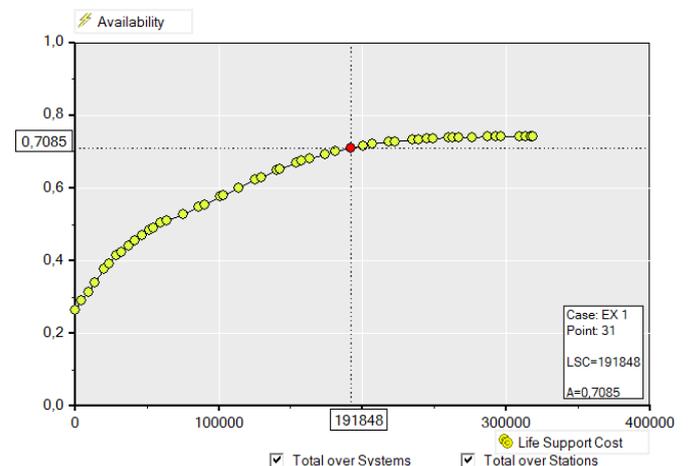


Fig. 7. Diagrama 1 da curva “Disponibilidade vs. Custo de Suporte” [11].

Conforme objetivo estabelecido neste caso, o ponto 31 fornece um Custo de Suporte no valor de \$ 191.848 para a Disponibilidade de 70,85%. Ao gerar o relatório, dentre outras informações, o *software* OPUS10 disponibiliza a tabela “*Stock Item*” (Fig. 8), que apresenta na coluna “*Stock Size*” as quantidades de componentes que devem ser adquiridas [11], ou seja, a lista ótima de peças do estoque de giro, associada ao valor do Custo de Suporte encontrado para atender ao requisito de Disponibilidade.

POINT	IID	DESCR	EPRC	STSIZE	AINST	CII	CDI	AVNS	
Point identifier	Item identifier	Description	Effective unit price	Stock size	Additional initial stock	Investments	Depreciation costs	Average nbr of units in stock	
1	31	TBU01	Line Replaceable Unit 1	11000.00	9	0	99000.00	99000.00	2,38
2	31	TBU02	Line Replaceable Unit 2	1986.00	2	0	3972.00	3972.00	1,55
3	31	TBU03	Line Replaceable Unit 3	3971.00	5	0	19855.00	19855.00	2,14
4	31	TBU04	Line Replaceable Unit 4	1171.00	21	0	24591.00	24591.00	7,36
5	31	TBU05	Line Replaceable Unit 5	1229.00	7	0	8603.00	8603.00	3,69
6	31	TBU06	Line Replaceable Unit 6	1021.00	3	0	3063.00	3063.00	2,22
7	31	TBU07	Line Replaceable Unit 7	1393.00	2	0	2786.00	2786.00	1,52
8	31	TBU08	Line Replaceable Unit 8	250.00	3	0	750.00	750.00	2,50
9	31	TBU09	Line Replaceable Unit 9	557.00	6	0	3342.00	3342.00	3,84
10	31	TBU10	Line Replaceable Unit 10	975.00	2	0	1950.00	1950.00	1,53
11	31	TBU11	Line Replaceable Unit 11	8929.00	0	0	0.00	0.00	0,00
12	31	TBU12	Line Replaceable Unit 12	2364.00	3	0	7092.00	7092.00	2,09
13	31	TBU13	Line Replaceable Unit 13	650.00	2	0	1300.00	1300.00	1,74
14	31	TBU14	Line Replaceable Unit 14	743.00	4	0	2972.00	2972.00	2,73
15	31	TBU15	Line Replaceable Unit 15	3143.00	4	0	12572.00	12572.00	2,41

Fig. 8. Lista ótima de peças do estoque de giro [11].

No entanto, um teste de sensibilidade ainda pode ser realizado no modelo, por meio da função *ScaleFactors* do OPUS10, reduzindo os tempos de transporte à metade, ou seja, dividindo-os por 2, para se observar o impacto da redução do *mean downtime* no suporte logístico [11].

Como pode ser constatado na Fig. 9, este procedimento resulta numa curva otimizada, na qual é possível atingir a disponibilidade de 70,99% com um custo de apenas \$ 123.885, exatamente no ponto 21. Nesta nova situação, para a mesma meta de Disponibilidade, o Custo de Suporte foi menor do que na condição inicial do cenário proposto, resultando numa economia de \$ 67.963 ou 35,4%.

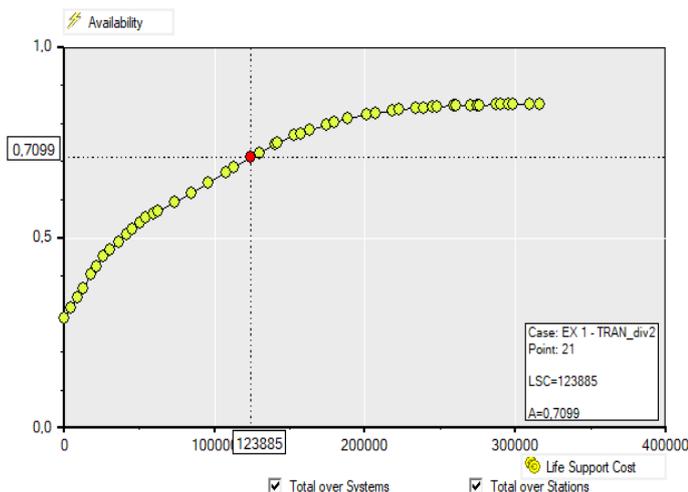


Fig. 9. Diagrama 2 da curva “Disponibilidade vs. Custo de Suporte” [11].

Por fim, em complemento, da Fig. 9 depreende-se que esta otimização resulta num acréscimo de Disponibilidade para o mesmo valor inicial de Custo de Suporte.

## VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

À luz da literatura, uma abordagem completa de suporte logístico integrado deve sempre levar em consideração aspectos relacionados aos 12 Elementos do IPS, sobretudo quando se tratar de assessoramento para a tomada de decisão.

Pelo exposto neste artigo, conclui-se que a aplicação de técnicas de modelagem e otimização a um cenário de suporte logístico, de determinado projeto aeronáutico, contribui significativamente para a elevação do seu desempenho, especificamente no que diz respeito às métricas de Disponibilidade e Custos de Suporte durante a *in service phase*, que no caso apresentado ocorreu a partir da definição da lista ótima de peças do estoque de giro e da redução do *mean downtime*.

Destaca-se, ainda, a relevância do tema para aplicações operacionais e para a continuidade de pesquisas futuras na área de logística de sistemas aeroespaciais, na medida em que se propõe uma metodologia para que as decisões do gerente de suporte ao produto possam ser baseadas na análise de cenários com dados reais, mediante o emprego de ferramentas computacionais de gerenciamento do ciclo de vida de sistemas técnicos complexos.

## REFERÊNCIAS

- [1] Brasil, “Constituição da República Federativa do Brasil”. Brasília, DF: Senado Federal, Centro Gráfico, 1988.
- [2] Comando da Aeronáutica, “Concepção Estratégica – Força Aérea 100”. Diretriz do Comando da Aeronáutica, DCA 11-45, 2018.
- [3] Comando da Aeronáutica, “Plano Estratégico Militar da Aeronáutica”. Plano do Comando da Aeronáutica, PCA 11-47, 2018.
- [4] Comando da Aeronáutica, “Ciclo de Vida de Sistemas e Materiais da Aeronáutica”. Diretriz do Comando da Aeronáutica, DCA 400-6, 2007.
- [5] Aerospace and Defence Industries Association of Europe (ASD), “International specification for Integrated Product Support (IPS)”. SX000i Issue 2.0. ASD/AIA. Mar 2020.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade”. Rio de Janeiro, 1994.
- [7] B. S. Blanchard, “Logistics Engineering and Management”, Sixth edition. New Jersey: Pearson, 2003.
- [8] United States of America, “Operating and Support Cost-Estimating Guide”, Office of the Secretary of Defense, Cost Assessment and Program Evaluation, September 2020.
- [9] G. Jones, E. White, E. T. Ryan, J. D. Ritschel, “Investigation into the ratio of operating and support costs to life-cycle costs for DoD weapon systems”, Defense Acquisition Research Journal, January 2014, Vol. 21, N.º. 1: p. 442–464.
- [10] Defense Systems Management College. “Acquisition Logistics Guide”, 3rd ed. Fort Belvoir, VA: Defense Systems Management College, December 1997.
- [11] D. G. Figueiredo, “Gestão de reparáveis - Software OPUS10 - Exercício 1”. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2021. 4 p. Notas de Aula.