

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pós-Graduação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais, Área de Gestão Tecnológica.

Leandro da Fonseca Assumpção

**MODELO DE REFERÊNCIA PARA AVALIAÇÃO DA
SUPORTABILIDADE EM AQUISIÇÕES DE SISTEMAS
COMPLEXOS DE DEFESA INSPIRADO NO CONCEITO DE
GÊMEOS DIGITAIS**

Dissertação aprovada em sua versão final pelos abaixo assinados:



Prof. Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão
Orientador

Prof. Dr. Pedro Teixeira Lacava
Pró-Reitor de Pós-Graduação

Campo Montenegro
São José dos Campos, SP – Brasil
2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

Assumpção, Leandro da Fonseca

Modelo de referência para avaliação de suportabilidade em processos de aquisição de sistemas complexos de defesa, inspirado no conceito de gêmeos digitais/ Leandro da Fonseca Assumpção.

São José dos Campos, 2020.

129f.

Dissertação de mestrado – Curso de Ciências e Tecnologias Espaciais. Área de Gestão Tecnológica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2020. Orientador: Prof. Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão.

1. Suporte logístico integrado. 2. Sistemas complexos. 3. Produtos de defesa. I. Departamento de Ciência Tecnologia Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Ciências e Tecnologias Espaciais. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSUMPCÃO, Leandro da Fonseca. **Modelo de referência para avaliação de suportabilidade em aquisições de sistemas complexos de defesa, inspirado no conceito de gêmeos digitais**. 2020. 129 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Tecnológica Espacial) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Leandro da Fonseca Assumpção

TÍTULO DO TRABALHO: Modelo de referência para avaliação de suportabilidade em aquisições de sistemas complexos de defesa, inspirado no conceito de gêmeos digitais

TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação /2020

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias desta dissertação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação ou tese pode ser reproduzida sem a sua autorização (do autor).

Leandro da Fonseca Assumpção
Estrada Municipal dos Remédios, 2135, Itaim
CEP: 12086-000, Taubaté - SP

**MODELO DE REFERÊNCIA PARA AVALIAÇÃO DA
SUPPORTABILIDADE EM AQUISIÇÕES DE SISTEMAS
COMPLEXOS DE DEFESA, INSPIRADO NO CONCEITO DE
GÊMEOS DIGITAIS**

Leandro da Fonseca Assumpção

Composição da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Olympio Lucchini Coutinho	Presidente	- ITA
Prof. Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão	Orientador	- ITA
Prof. Dr. Francisco C. Lourenço de Melo	Membro Interno	- ITA
Prof. Dr. Marcio Cardoso Machado	Membro Externo	- UNIP

ITA

Dedico este trabalho a todos que se empenham
em alimentar a chama do conhecimento,
para que ela continue iluminando
o caminho dos que nos sucedem.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço ao Senhor Deus, o meu maior orientador, que ilumina meu caminho, me sustenta, me acolhe, me ensina e me guia em dias de sol ou em noites de tempestade. Sempre a meu lado, pacientemente permitiu que eu percorresse mais uma “milha” da minha jornada.

Aos meus pais, que me conceberam o dom maior do criador, o dom da vida. Que assumiram a missão de me conduzir nesse mundo. Ao longo da vida, me forneceram bases sólidas através do amor, do exemplo e de suas atitudes, muitas vezes doando de si para que eu pudesse alcançar voos mais altos. Graças a tudo que fizeram, pude vivenciar esse momento. Minha eterna admiração e gratidão.

Ao meu orientador, Cel Av Fernando T. Mendes Abrahão, por abrir a porta que permitiu iniciar esse voo e me liderar na sua “ala”, transmitindo o conhecimento de um piloto mais experiente a outro que hora inicia o voo nessa senda.

Ao Exército Brasileiro e, em especial, a minha gloriosa Aviação do Exército, pela oportunidade concedida para que eu pudesse enriquecer meu conhecimento e aprimorar minhas habilidades nessa respeitável e notável casa do saber, o Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

À Força Aérea Brasileira e ao PPGA, em especial ao Cel Olympio, pelo apoio, atenção, preocupação e esforço desmedido para que esse programa continue no mais alto nível de excelência. Agradeço profundamente pela singular oportunidade de viver com irmãos de armas de tão elevado gabarito. Esse período só aumentou a minha admiração e respeito aos irmãos, “filhos altivos dos ares”.

Aos meus nobres amigos do AerologLab, pelo apoio à minha pesquisa nessa fantástica área do conhecimento que é a Engenharia Logística. Esse período de convivência concedeu a oportunidade de presenciar o silente trabalho de pessoas que lutam para que nossa bandeira permaneça altiva nos mais diversos recantos do Brasil e do mundo.

Aos professores, colaboradores, pesquisadores e demais integrantes do ITA, meu profundo agradecimento por dividirem comigo o conhecimento e experiência de vida nesses momentos inesquecíveis que convivi com todos. Parabéns por manter vivo o ideal do Marechal-do-Ar Casimiro Montenegro Filho: a sinergia entre civis e militares em prol de um objetivo maior, a grandeza do nosso Brasil.

*"Houve um homem enviado por Deus que se chamava João;
Este veio por testemunha, para dar testemunho da luz,
a fim de que todos cressem por meio dele;
Ele não era a luz, mas veio para que desse testemunho da luz;
Era a luz verdadeira, que alumia todo homem que vem a esse mundo".*

(JOÃO 1:6-9)

Resumo

Este trabalho de pesquisa trata do problema de Suporte Logístico Integrado envolvendo frotas de sistemas complexos. Mais especificamente, trata do processo de aquisição, ponto crucial que resulta em boa parte da suportabilidade definida para esse tipo de sistemas quando adquiridos prontos, comumente chamado de COTS (do inglês *Commercial of the Shelf*). O processo de aquisição de produtos de defesa (PRODE) e produtos estratégicos de defesa (PED) implica um desafio significativo para poder ter sucesso, principalmente sob a ótica da suportabilidade, especialmente para que todo o conhecimento disponível e adquirido durante o processo de seleção possa se transformar nas medidas de desempenho finalísticas esperadas para o sistema a ser adquirido. Normalmente, maior atenção é dispensada a critérios técnicos e operacionais do que para os de suporte logístico. Isto é evidenciado pelos problemas enfrentados por frotas desses sistemas, iniciando na fase de implementação nas organizações que o demandaram e podendo se estenderem ao longo do seu ciclo de vida. Este trabalho sugere um arcabouço de ferramentas e processos para tornar possível a aplicação dos conceitos presentes no Suporte Logístico Integrado em processos de aquisição de sistemas complexos, utilizando como inspiração características presentes e evidenciadas no conceito de Gêmeos Digitais. O modelo é testado quanto a sua abrangência, consistência, coerência e aderência por meio de uma série de verificações funcionais, de um estudo de caso envolvendo três propostas diferentes de sistemas para atender a uma demanda e da opinião de especialistas com comprovada experiência e conhecimento nas áreas que a presente pesquisa abarca. O trabalho apresenta três contribuições principais, sendo elas conceituais e gerenciais. A primeira é a organização e estruturação para aplicação do conhecimento acerca do Suporte Logístico Integrado no processo de seleção de sistemas complexos de forma classificável, permitindo sua crítica e reavaliação contínua. A segunda é não somente a descrição do que deve ser feito em um processo de seleção do ponto de vista da suportabilidade do sistema ao longo do restante de seu ciclo de vida, mas também a modelagem das entradas e saídas para a continuidade do melhor suporte possível. Finalmente, a terceira contribuição repousa em apresentar um modelo que permite a rastreabilidade das ações e decisões durante todo processo, tornando-o facilmente auditável. Parte do modelo foi implementado como ferramenta em desenvolvimento no AeroLoglabTOOL[®] com a utilização de um algoritmo baseado no método AHP como ferramenta de seleção.

Abstract

This research deals with the Logistic Support problem of complex systems. More specifically, it deals with the acquisition process, critical step that results in a large part of the supportability issues of these same complex systems, when acquired as Commercial of the Shelf systems (COTS). The procurement of defense products (PRODE) and strategic defense products (PED) poses a significant challenge in order to be successful, especially to consider all the knowledge available and acquired during the selection process in order to take actions to achieve the performance measures expected for the system to be purchased throughout the rest of the system's life cycle. Much more attention is given to technical and operational criteria than to those of logistical support. This is evidenced by the problems faced by fleets of these systems, mainly in the implementation phase in the collection of the organizations that demanded it. This work suggests a framework of tools and processes to make possible the application of the concepts present in Integrated Logistic Support in complex systems acquisition processes, using as inspiration the characteristics present and evidenced in the concept of Digital Twins. The model is tested for its comprehensiveness, consistency, coherence and adherence through a series of functional checks, a case study involving three different proposals for systems to meet a demand and evaluation of experts with testified experience and knowledge in areas that this research covers. The work presents three main contributions, being conceptual and managerial. The first is the organization and structuring for applying knowledge about Integrated Logistic Support in the process of selecting complex systems in a classifiable way, allowing their criticism and continuous reassessment. The second is not only the description of what should be done in a selection process from the standpoint of the system's supportability over the rest of its life cycle, but also the modeling of its inputs and outputs for the continuity of the best possible support. Finally, the third contribution by presenting a model that allows the traceability of actions and decisions throughout the process, making it easily auditable. Part of the model was implemented as a tool under development in AeroLoglabTOOL® using an algorithm based on the AHP method as a selection tool.

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Representação dos custos de um sistema complexo (BLANCHARD, 2004).....	36
Figura 2.2 – Distribuição dos custos no ciclo de vida de um sistema (BLANCHARD, 2004).	36
Figura 2.3 – Representação do custo do ciclo de vida de um sistema, distribuído pelas suas fases do ciclo de vida.(Adaptado de JONES, 2014).....	37
Figura 2.4 – Curva de comprometimento do custo do produto (ROZENFELD <i>et al.</i> , 2006)..	38
Figura 2.5 – Relação entre mudanças de projeto, custos e fases do desenvolvimento de um produto de Baxter (2000) (Adaptado de PAGAN <i>et al.</i> (2013).	38
Figura 2.6 – Comparativo entre os ciclos de vida no âmbito do MD.....	40
Figura 2.7 – Relação entre a Capacidade e os Sistemas de Defesa (BRASIL, 2019)	55
Figura 2.8 – Gastos militares globais por ano e por países	56
Figura 2.9 – Comparativo entre os ciclos de vida do sistema e de aquisições	60
Figura 2.10 – Fase interna da aquisição (Adaptado de VIEIRA; ÁLVARES, 2017)	61
Figura 2.11 – Fase externa com destaque para a etapa de seleção (Adaptado de VIEIRA; ÁLVARES, 2017)	63
Figura 2.12 – Visão de um processo de aquisição (Adaptado de VIEIRA; ÁLVARES, 2017)	65
Figura 2.13 – Estrutura hierárquica do AHP (Adaptado de SAATY, 2008).....	67
Figura 2.14 – Representação do Gêmeo Digital (Adaptado de TAO <i>et al.</i> , 2019).....	72
Figura 2.15 – Evolução do conceito de Gêmeos Digitais (Adaptado de QI <i>et al.</i> , 2019)	73
Figura 3.1 – Procedimentos associados aos passos da metodologia	78
Figura 3.2 – Os entregáveis dos Processos Funcionais do modelo.	81
Figura 3.3 – Metodologia da pesquisa.....	82
Figura 4.1 – Princípios gerais para elaboração (Adaptado de ROMANO, 2003 <i>apud</i> VERNADAT, 1996).....	85
Figura 4.2 – Funcionalidades e entregáveis propostos pelo modelo	86
Figura 4.3 – Interface do Modelo proposto e o processo de aquisições de defesa.....	87
Figura 4.4 – Processo funcional de avaliação logística de propostas concorrentes	88

Figura 4.5 – Arvore de critérios do MRAS presente no PF-1	90
Figura 4.6 – Exemplo de escala de pontuação (ABRAHÃO, 2017)	91
Figura 4.7 – Processo Funcional de Aprendizado logístico para implantação do sistema selecionado	93
Figura 4.8. –. Processo funcional de aprendizado logístico para acompanhamento do sistema selecionado durante a fase de serviço.....	95
Figura 4.9 – Aprendizado logístico para futuras aquisições.....	96
Figura 4.10 – Exemplo de desdobramento dos critérios com seus respectivos pesos.....	99
Figura 4.11 – Página de abertura do AeroLogLabTOOL [®] (https://tool.aerologlab.ita.br).....	100
Figura 4.12 – Interface do módulo de avaliação da suportabilidade	101
Figura 4.13 – Exemplo de comparação par a par entre os dois tipos de custos	102
Figura 4.14 – Variação dos critérios sem a variação da ordem classificatória entre os sistemas	102
Figura 4.15 – Variação de ordem classificatória em função da variação de notas das alternativas.....	103
Figura 4.16 – 2º, 3º e 4º níveis de critérios com a nota de suportabilidade.....	104
Figura 4.17 – Ordem classificatórias dos critérios de 3º e 4º nível	106
Figura 4.18 – Classificação das alternativas pela comparação par a par.....	108
Figura 4.19 – Pergunta 1 do questionário.....	111
Figura 4.20 – Pergunta 2 do questionário.....	111
Figura 4.21 – Pergunta 3 do questionário.....	112
Figura 4.22 – Pergunta 4 do questionário.....	112
Figura 4.23 – Pergunta 5 do questionário.....	113
Figura 4.24 – Pergunta 6 do questionário.....	114
Figura 4.25 – Pergunta 7 do questionário.....	114
Figura 4.26 – Pergunta 8 do questionário.....	115

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Tabela comparativa entre as fases de ciclo de vida na literatura acadêmica.....	29
Tabela 2.2 – Documentos existentes no âmbito do MD que abordam o ciclo de vida de sistemas complexos.....	39
Tabela 2.3 – Escala fundamental do AHP (Adaptado de SAATY, 2008).....	69
Tabela 2.4 – Índice Randômico para cálculo de inconsistência (SAATY, 2008).....	71
Tabela 3.1 – Classificação da pesquisa acadêmica.....	78
Tabela 4.1 – Distribuição de pesos na ordem classificatória de prioridades no 3° e 4° níveis.....	105
Tabela 4.2 – Notas dos sistemas A, B e C no 2°, 3° e 4° níveis.....	107

Lista de Abreviaturas e Siglas

ASD	<i>AeroSpace and Defence Industries Association of Europe</i>
BID	Base Industrial de Defesa
EB	Exército Brasileiro
END	Estratégia Nacional de Defesa
EUA	Estados Unidos da América
FAB	Força Aérea Brasileira
COMOP	Compreensão das Operações
COTS	<i>Commercial off The Shelf</i> (Produto de Prateleira)
GAO	<i>Government Accountability Office</i>
ILS	Suporte Logístico Integrado (do inglês <i>Integrated Logistic Support</i>)
ILSP	Plano de Suporte Logístico Integrado (do inglês <i>Integrated Logistic Support Plan</i>)
MB	Marinha do Brasil
MD	Ministério da Defesa
NATO	<i>North Atlantic Treaty Organization</i> (OTAN no idioma português)
OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte (NATO no idioma inglês)
RFI	<i>Request for Information</i> (Pedido de Informações)
RFP	<i>Request for Propose</i> (Pedido de Oferta)
RFQ	<i>Request for Quotation</i> (Pedido de Cotação)
PBC	Planejamento Baseado em Capacidades
PED	Produto Estratégico de Defesa
PND	Política Nacional de Defesa
PRODE	Produto de Defesa
TCU	Tribunal de Contas da União

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Contextualização.....	16
1.2	Motivação	18
1.3	Definição do Problema	20
1.3.1	Pergunta Geral	23
1.4	Objetivo Geral Deste Trabalho	24
1.4.1	Objetivos Específicos	24
1.5	Relevância da Pesquisa	24
1.6	Delimitação da Pesquisa.....	26
1.7	Estrutura do Trabalho	27
2	REVISÃO DA LITERATURA	28
2.1	O Ciclo de Vida de Sistemas Complexos	28
2.1.1	O Entendimento Sobre o Ciclo de Vida de um Sistema Complexo	28
2.1.2	As Fases do Ciclo de Vida de um Sistema Complexo	30
2.1.3	A Relação Entre a Distribuição de Custos de um Sistema e seu Ciclo de Vida.....	35
2.1.4	O Ciclo de Vida de Sistemas e seus Custos no Âmbito de Defesa	39
2.2	A Suportabilidade de Sistemas Complexos.....	40
2.2.1	Abordagens Acadêmicas Sobre a Suportabilidade de Sistemas Complexos.....	42
2.2.2	Os Elementos do Suporte Logístico Integrado	42
2.2.3	Influência do Desenho (<i>Design Influence</i>):.....	43
2.2.4	Manutenção (<i>maintenance</i>):	44
2.2.5	Treinamento e Suporte ao Treinamento (<i>Training and Training Support</i>):.....	44
2.2.6	Suporte de Suprimentos (<i>Supply Support</i>):	45
2.2.7	Embalagem, Manuseio, Estocagem e Transporte (Packaging, Handling, Storage and Transportation - <i>phs&t</i>):	46
2.2.8	Dados Técnicos (<i>Technical Data</i>):.....	47
2.2.9	Equipamentos de Suporte (<i>Support Equipment</i>):.....	48
2.2.10	Recursos Humanos (<i>Manpower & Personnel</i>):.....	48
2.2.11	Infraestrutura e Instalações (<i>Facilities and Infrastructure</i>):.....	49
2.2.12	Recursos Computacionais (<i>Computer Resources</i>):	49
2.2.13	Gerenciamento do Suporte ao Produto (<i>Product Support Management</i>):.....	50
2.2.14	Suporte Continuado de Engenharia (<i>Sustaining Engineering</i>):.....	50
2.2.15	Difusão e Aderência das Metodologias de Suporte Logístico Integrado (ILS)	51

2.3	Indicadores e Métricas de Suportabilidade	51
2.3.1	Confiabilidade	52
2.3.2	Disponibilidade.....	53
2.3.3	Manutenibilidade	54
2.4	O Processo de Aquisição e Seleção de Sistemas Complexos de Defesa.....	55
2.4.1	Processo de Aquisição no Brasil	57
2.5	Os Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD)	65
2.5.1	O <i>Analytic Hierarchy Process</i> – AHP.....	67
2.6	O Conceito do Gêmeo Digital	71
2.6.1	Histórico	73
2.6.2	Características.....	74
2.6.3	Aplicações	74
2.7	Considerações Finais do Capítulo	76
3	METODOLOGIA.....	77
3.1	Classificação da Pesquisa.....	77
3.2	A metodologia	79
3.3	Considerações Finais do Capítulo	83
4	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA, APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
4.1	O Modelo de Referência Proposto	84
4.2	Processos Funcionais (PF) do Modelo	87
4.2.1	PF-1: Avaliação Logística de Propostas Concorrentes.....	88
4.2.2	PF-2: Aprendizado Logístico para Implantação do Sistema Selecionado.....	93
4.2.3	PF-3: Aprendizado Logístico para Operação do Sistema.....	94
4.2.4	PF-4: Aprendizado Logístico para Futuras Aquisições.....	95
4.3	Verificação do Modelo	97
4.3.1	Teste de Abrangência	98
4.3.2	Verificação Funcional	99
4.3.3	Estudo de Caso	103
4.3.4	Verificação com Especialistas	109
4.4	Discussão Sobre o MRAS.....	115
4.5	Considerações Finais do Capítulo.....	118
5	CONCLUSÃO.....	119
5.1	Pergunta da Pesquisa	119
5.2	Contribuições	120

5.3	Limitações e Sugestões de Trabalhos Futuros	120
	REFERÊNCIAS	122
	APÊNDICE A	127
A.1	Participante A	127
A.1	Participante B	127
A.1	Participante C	128
A.1	Participante D	128
A.1	Participante E	128
A.1	Participante F.....	128
A.1	Participante G	129

1 Introdução

A Estratégia Nacional de Defesa (END) (BRASIL, 2012) afirma de forma enfática em seu texto a tradição pacífica do país, o respeito a soberania das nações e a convivência em paz com seus vizinhos. Entretanto, esse documento destaca que o país não deve deixar de possuir a capacidade de garantir a defesa do território, da soberania e dos interesses nacionais. Para tal, é conveniente que o desenvolvimento nacional caminhe em paralelo com aperfeiçoamento da capacidade de defesa, permitindo ao Brasil dissuadir ou se opor a qualquer agressão.

Com esse objetivo, a END frisa que as Forças Armadas devem manter permanentemente capacidade de pronta-resposta. Como consequência, surge a necessidade constante de preservação e aperfeiçoamento das suas capacidades operativas.

Nesse contexto, sistemas e produtos aplicados à defesa ocupam papel relevante pois, combinados aos recursos humanos e as doutrinas de emprego das forças, compõem os principais fatores necessários para a geração de capacidades operativas (BRASIL, 2014).

Aliado a isso, a evolução tecnológica em ritmo acelerado provoca a adoção de sistemas com elevado nível de tecnologia e alta complexidade para prover a superioridade dentro dos possíveis cenários de emprego (PÂNGARO, 2018).

1.1 Contextualização

O foco desse trabalho recai sobre a suportabilidade de sistemas aplicados ao cenário de defesa que agregam a complexidade como característica. Sendo assim, é necessário melhorar a compreensão sobre a complexidade presente nesses sistemas de forma a clarificar o contexto da pesquisa.

A literatura acadêmica identifica sistemas complexos por meio de características como elevado custo, alta tecnologia envolvida, interfaces complexas, componentes customizados, necessidade de integração de competências e sistemas, pequeno número de transações com alto valor agregado e o elevado foco no design e no desenvolvimento do produto (HOBDA, 1998, 2000).

Além disso, também podem ser produzidos em pequenos lotes para aplicação muito específica e exigem alta carga de envolvimento do usuário em seu processo de desenvolvimento (BARBALHO, 2009).

Considerando o contexto do emprego dos sistemas na defesa e da presente pesquisa, destacam-se duas características em sistemas complexos: a dependência de complexa estrutura de suporte e a longevidade em serviço (PRZMIENIECKI, 1993).

A primeira está relacionada a necessidade de infraestrutura para armazenamento em períodos fora de operação, intervenções para inspeções e manutenção, fornecimento e reparo de componentes, como também as exigências acerca da capacitação dos recursos humanos que estão envolvidos nessas atividades. Essas peculiaridades podem ser consideradas reflexos da complexidade desse tipo de sistema (UNITED STATES, 2005).

Em continuidade, o longo ciclo de vida apresentado por muitos desses sistemas recebe forte influência do seu elevado custo de aquisição. Como tais sistemas envolvem alta tecnologia e pequenos lotes (na grande maioria) o investimento para aquisição passa a ser maior e, por conseguinte, busca-se o alongamento de sua disponibilidade para o serviço como forma de amortizar tal custo (LAMBERT, 2018).

Como ilustração da longevidade dos sistemas complexos de defesa, pode-se trazer o exemplo do Bombardeiro Estratégico Boeing B-52 "*Stratofortress*". Projetado para um período de disponibilidade em serviço ativo de cerca de 30 anos, recebeu uma série de atualizações durante seu ciclo de vida e, atualmente, é esperado que continue em serviço até o ano de 2040 totalizando 94 anos de operação (STATES; ACCOUNTABILITY, 2018).

No contexto dos sistemas complexos de defesa, pode-se citar como exemplos desse universo os veículos blindados, embarcações e aeronaves militares, instalações móveis de guerra eletrônica, dentre outros (AMARO, 2012).

Com a intenção de melhorar a compreensão sobre esse assunto, a END traz a definição de Produtos de Defesa (PRODE) como todo produto de uso nas atividades finalísticas de defesa, com exceção do material de uso administrativo. Delimitando ainda mais, nomeia todo PRODE que seja de interesse estratégico em face de difícil obtenção ou elevado conteúdo tecnológico, como Produto Estratégico de Defesa (PED) (BRASIL, 2012).

Tanto a preocupação com a definição supracitada como também as ações em prol da Base Industrial de Defesa (BID) presentes nos documentos norteadores do Ministério da Defesa (MD) ressaltam a relevância dos Sistemas Complexos para sua missão finalística (PÂNGARO, 2018).

Entretanto, como citado anteriormente, somente a aquisição de sistemas no estado da arte em termos de tecnologia não é o bastante para se alcançar as capacidades almejadas pelo

MD. Mesmo em face da relevância do papel dos sistemas complexos para a missão do MD, para que eles possam ser explorados na plenitude de suas capacidades, faz-se premente que exista uma adequada preparação por parte dos operadores. Aspectos como a necessidade de capacitação de recursos humanos nos diversos níveis, estruturação ou contratação de cadeia logística para suprimentos e manutenção, infraestrutura, ferramental e equipamentos de suporte, dentre outros, revelam que a aquisição não se restringe ao componente principal do sistema apenas. A aeronave, a embarcação ou o veículo blindado é somente uma parte do sistema, demandando um arcabouço de outros componentes à sua volta para se poder operar de forma coerente ao longo de seu ciclo de vida (INCOSE, 2015).

Essa peculiaridade torna sua gestão repleta de desafios que se iniciam desde o Conceito de Operações (ou COMOP, no caso do EB), passando pela concepção de sua aquisição, seguida pela fase de operação (razão de ser do Produto Estratégico de Defesa), até o seu descarte ao fim da sua vida útil.

1.2 Motivação

A necessidade de garantir a capacidade de defesa impele as nações para busca de novas tecnologias de forma a prover um aumento (ou recuperação no caso de defasagem) da eficácia de produtos, processos e serviços aplicados nessa finalidade (MARINHO; CORRÊA; ALVES, 2017). No caso dos produtos, ou sistemas em sua visão mais ampla, assistimos à implementação de novas tecnologias por meio do desenvolvimento de novos sistemas, ou de componentes/subsistemas que serão implantados em substituição aos defasados.

Esse efeito gerado pela necessidade de incorporação de novas tecnologias afim de garantir a capacidade finalística de defesa em seu cenário de emprego, sugere o aumento do processo de aquisições, considerando que delas são feitas as obtenções de novos sistemas ou a atualização de sistemas já existentes.

Em consequência, esse cenário traz à tona algumas nuances relevantes para o tema suportabilidade.

Blanchard (2004), salienta que o logo ciclo de vida dos sistemas complexos induz a modernização de seus subsistemas com a intenção de minimizar degradações tecnológicas e promover o ganho ou restabelecimento de suas capacidades operativas. Contudo, a frequência dessas ocorrências adiciona mais complexidade a gestão desses sistemas (BLANCHARD, 2004).

Continuando, Blanchard (1995) ainda alerta que a constante ênfase no desempenho operacional dos sistemas pode ter como efeito negativo a degradação de parâmetros cruciais como a confiabilidade, a manutenibilidade e a qualidade. As consequências de tal diagnóstico sugerem possível queda da efetividade do sistema e aumento do custo do seu ciclo de vida (BLANCHARD; VERMA; PETERSON, 1995).

Posto isso, observa-se que a necessidade de atualização dos sistemas complexos de defesa com o foco em desempenho operacional implica em efeitos nas outras áreas ligadas ao desempenho do sistema como um todo, em especial os aspectos ligados a suportabilidade do sistema. Esse fenômeno pode ocorrer tanto em processos de revitalização de sistemas existentes como em aquisição de novos sistemas.

A avaliação sobre custos de sistemas de defesa realizada pelo *Government Accountability Office* (GAO), órgão governamental americano com função similar ao Tribunal de Contas da União (TCU) no Brasil, revelou que o custo com a operação e o suporte desses sistemas varia entre 70 e 80% do custo total de seu ciclo de vida. Jones (2014) utilizou esse estudo para investigar a distribuição dos custos em sistemas de defesa e destacou a necessidade de compreender mais profundamente a composição dos custos e como os efeitos das estratégias de aquisição afetam a suportabilidade do sistema ao longo de seu ciclo de vida (JONES et al., 2014).

A questão do custo do ciclo de vida de sistemas de defesa é um assunto frisado de forma recorrente pelo GAO no âmbito do governo americano. Existe uma preocupação com o equilíbrio entre os gastos com a defesa e a manutenção das capacidades de defesa. Esse órgão destaca em seus relatórios a necessidade de se desenvolver estratégias para aumentar a eficiência nos aspectos ligados a suportabilidade dos sistemas de forma que se preserve a capacidade de combate e se mantenha os custos do ciclo de vida dentro do orçamento (STATES; ACCOUNTABILITY, 2018).

O desafio de preservar a capacidade operativa dentro do orçamento destinado a defesa também é uma realidade no Brasil assim como em qualquer outra força armada.

Portanto, é vital que sejam desenvolvidas estratégias para viabilizar a aquisição de sistemas onde a missão finalística seja cumprida dentro de um custo aceitável do ponto de vista logístico.

1.3 Definição do Problema

A temática central do trabalho é a suportabilidade dos sistemas complexos aplicados a área de defesa. Da mesma forma que o sistema deve atender aos requisitos de desempenho ligados à sua missão, aspectos ligados a suportabilidade podem comprometer de tal maneira seu desempenho que a sua indisponibilidade retira toda e qualquer vantagem estratégica no cenário de emprego militar.

Um ótimo exemplo é o emprego dos blindados na Primeira Guerra Mundial. Sua capacidade de movimento, proteção blindada e poder de fogo trouxe inovação ao campo de batalha mas se mostrou taticamente inexpressiva devido a baixa disponibilidade em face da difícil manutenção, partes constantes e dificuldade de reposição de componentes (DUARTE, 2012).

Esse exemplo evidencia o impacto dos aspectos logísticos sobre um sistema, mostrando que esse conjunto de atributos ligados a suportabilidade acabam por se tornar fatores multiplicadores das capacidades operativas de um sistema complexo de defesa. Quando aprimorados, podem ampliar as capacidades de um sistema em termos quantitativos. Por outro lado, quando desenvolvidas de forma medíocre ou até mesmo não exploradas, podem condenar o sistema a uma condição de operação igualmente medíocre ou a sua ineficiência para atender sua missão finalística.

Caso a concepção do sistema seja conduzida segundo as boas práticas e o conhecimento acadêmico acerca da Engenharia Logística, serão considerados tanto aspectos funcionais ligados a operação como também relacionados ao seu suporte. Desse modo, essas duas faces de necessidades serão igualmente modeladas desde a concepção do sistema, trazendo a oportunidade de implementação de soluções inteligentes e criativas não só para alcançar necessidades de capacidades operacionais, mas também em busca de aumentar o desempenho logístico do sistema aumentando sua eficiência como um todo (PÂNGARO, 2018).

Lamentavelmente, a percepção de que é necessário para o bom desempenho do sistema uma visão integrada, modelando soluções para necessidades operacionais e logísticas desde a concepção do sistema não se mostra presente em uma parcela significativa de sistemas desenvolvidos (ABRAHÃO, 2017a).

O conhecimento acadêmico acerca do Suporte Logístico Integrado oferece um robusto arcabouço para lidar com essas questões. Contudo a concepção e o desenvolvimento dos sistemas podem sofrer interferências ou ruídos, vindo a prejudicar a implementação de tal conhecimento (BLANCHARD; BLYLER, 2016).

Uma das situações onde isso pode ocorrer é durante a elicitación, definição dos requisitos e posterior especificação de um sistema a ser desenvolvido. É comum que existam processos decisórios sobre requisitos que serão atendidos, limitados ou preteridos em função de outros, tratado na literatura como *trade-off*. Essas decisões podem ocorrer em diversas fases e podem degradar atributos significativos para a suportabilidade em função de atributos operacionais. Muitas das vezes isso é provocado pela visão focada em atender os requisitos operacionais na sua plenitude e a baixa percepção de que a degradação da suportabilidade do sistema afeta o seu desempenho como um todo (BLANCHARD; VERMA; PETERSON, 1995).

Além disso, um fator que influi decisivamente na suportabilidade do sistema é o seu cenário de aplicação. Características como clima, relevo, disponibilidade de instalações, distância entre pontos de operação e suporte, necessidade de infraestrutura e equipamentos, dentre outros, influenciam diretamente o desempenho da suportabilidade e, por conseguinte, da capacidade operacional e o seu custo ao longo do ciclo de vida (UNITED STATES, 2005).

Assim, alguns sistemas podem ter sua concepção baseada em um número de cenários específicos e, quando aplicados em outros, tendem a apresentar sérias restrições de desempenho (UNITED STATES, 2005).

Dessa maneira, pode-se inferir que a conjunção de deficiências sob a ótica da suportabilidade, aliada a baixa adequação (ou até mesmo inadequação) ao cenário de aplicação do sistema pode influenciar de forma decisiva as características do seu suporte. Como consequência, pode-se esperar impactos em outros parâmetros relevantes para a capacidade como a disponibilidade do sistema e quanto irá custar ao seu operador para mantê-lo operacional.

Diante do exposto, é importante que existam estratégias para minimizar o risco de aquisição de sistemas dificilmente suportáveis do ponto de vista logístico, não só considerando as características inerentes ao seu projeto, mas também o contexto onde ele será utilizado.

Abordando especificamente no contexto brasileiro, a Estratégia Nacional de Defesa, formaliza o compromisso do Brasil em estimular o desenvolvimento e a consolidação da Base Industrial de Defesa (BID), com a finalidade de se criar mais um elemento impulsionador da economia nacional. Com isso, o Brasil aspira produzir equipamentos militares de elevada relevância no mercado de defesa. Contudo isso ainda não é uma realidade atualmente. Embora exista um sério esforço de estado para se alcançar esse patamar, ainda é necessária a aquisição de sistemas de defesa importados em face da incapacidade da BID atender a toda gama de sistemas necessários à defesa (BOHN, 2014).

Sendo assim, os processos de aquisição podem ter a participação de concorrentes estrangeiros com sistemas já desenvolvidos e disponíveis no mercado, sistemas desenvolvidos que podem ser customizados dentro das necessidades expressadas nos requisitos de aquisição e sistemas não desenvolvidos. Entretanto a participação de concorrentes externos a BID brasileira pode trazer restrições para averiguar se houve a aplicação dos conceitos de suportabilidade durante seu desenvolvimento. As Políticas de mercado conduzidas por outros países estrangeiros podem conter sérias restrições de acesso a informações estratégicas do produto como forma de proteção tanto do mercado como das estratégias de defesa, tendo em vista ser comum o país operar o sistema que a sua BID vende internacionalmente. Além disso é factível que não se ofereça a outros países sistemas no estado da arte em termos tecnológicos sob pena de criar fragilidades na estratégia de defesa daquela nação (CUNHA; AMARANTE, 2011).

Considerando que o processo de aquisição é o meio pelo qual o MD e suas Forças Singulares obtém sistemas complexos, é necessário que existam estratégias direcionadas ao robustecimento desse processo no que diz aplicação e avaliação das boas práticas acerca do Suporte Logístico Integrado e da aderência do sistema ao possível cenário de aplicação. O entendimento mais claro das características e do desempenho de cada sistema concorrente sob o ponto de vista logístico minimiza o risco da aquisição de sistemas imaturos do ponto de vista da suportabilidade. Erros ou omissões nessa fase do processo podem se refletir durante toda vida útil do sistema (ABRAHÃO, 2017b; UNITED STATES, 2005; VIEIRA, 2016) .

A despeito dos esforços do Ministério da Defesa e suas Forças Singulares, as normas que tratam sobre a suportabilidade e a gestão dos custos do ciclo de vida de sistemas, em especial no que tange a ferramentas, técnicas ou métodos aplicáveis de forma objetiva, ainda são muito insipientes (DUARTE; SANTOS, 2019).

Irigon (2020) também destacou em seu trabalho um questionamento sobre a falta de aderência, por parte da indústria, aos padrões e guias existentes relacionados a suportabilidade de sistemas complexos. Observou ainda que essa base de conhecimento e boas práticas também não tem alcance sobre a comunidade operacional, em especial os engenheiros que trabalham na fase conceitual do desenvolvimento de sistemas complexos (IRIGON, 2020).

Essas observações corroboram com Abrahão et al (2019), complementando que a maioria das organizações ligadas a sistemas complexos (desenvolvimento, suporte, manutenção, fornecimento de suprimentos e operadores) tem conhecimento muito raso ou inexistente dessas práticas. Isso também acontece no meio acadêmico onde as principais referências na formação de profissionais na área de projetos de sistemas complexos, em especial as escolas de engenharia, não abordam com a profundidade necessária a temática da suportabilidade, principalmente acerca das atividades durante a concepção e desenvolvimento desses sistemas (ABRAHÃO *et al.*, 2019).

Dessa maneira, existe a carência de uma estratégia que auxilie a comparação dos sistemas concorrentes sob a ótica da suportabilidade durante o processo de aquisição, oferecendo ao tomador de decisão uma ampla visão sobre o conjunto de características de cada sistema, sua combinação com o cenário de emprego proposto e uma projeção inicial do seu desempenho logístico durante sua vida em serviço, passível de ser comparada ao desempenho real após a aquisição.

Em resumo, o cerne do problema repousa na falta de aplicação dos conceitos e boas práticas acerca da suportabilidade de sistemas complexos no âmbito da defesa durante o processo de aquisição e o desencadeamento de ações, sob a ótica desses conceitos, das ações necessárias para gerenciar a implantação do sistema e todo conhecimento gerado durante o processo em tela.

1.3.1 Pergunta Geral

Como melhorar o processo de avaliação e seleção das melhores propostas sob o ponto de vista da suportabilidade, aplicando a metodologia do suporte logístico integrado, possibilitando ao tomador de decisão uma visão geral do custo do sistema e seu desempenho logístico ao longo do ciclo de vida, facilitando a implantação do sistema e preservando o conhecimento gerado no processo?

1.4 Objetivo Geral Deste Trabalho

O objetivo do presente trabalho é modelar uma ferramenta inspirada no conceito de Gêmeos Digitais, especificamente desenhada para aquisição de sistemas complexos de defesa tipo COTS no que diz respeito à sua suportabilidade, com a capacidade de delinear ações para seleção e classificação dos sistemas sob a ótica da sua suportabilidade, para gestão da implantação do sistema selecionado e de seu desempenho ao longo de sua vida em serviço e, por final, para a gestão e preservação do conhecimento gerado durante todo o processo de aquisição.

1.4.1 Objetivos Específicos

Para que seja factível conquistar o objetivo geral desse trabalho, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- OE1.** Explorar o conceito de aquisição de defesa, do Ciclo de Vida e da suportabilidade de Sistemas Complexos, entendendo definições, características e óbices relacionados no âmbito de suas temáticas;
- OE2.** Explorar o conceito dos Gêmeos Digitais e estudar a melhor forma de extrair inspirações para resolver o problema da suportabilidade em aquisições de sistemas complexos de defesa;
- OE3.** Propor um modelo de referência unindo a metodologia do Suporte Logístico Integrado ao processo de aquisições de sistemas complexos de defesa;
- OE4.** Submeter o Modelo proposto a testes que possam verificar suas principais características desejáveis, seu funcionamento e relevância;
- OE5.** Avaliar e discutir sobre os resultados obtidos; e
- OE6.** Apontar contribuições do modelo, limitações percebidas e linhas de pesquisa que podem ser exploradas no futuro.

1.5 Relevância da Pesquisa

A presente pesquisa tem a finalidade de cobrir uma lacuna nos processos de aquisição no que tange a avaliação, classificação, seleção e tratamento de sistemas complexos sob o ponto de vista da suportabilidade.

A suportabilidade não é tratada com profundidade nos documentos que regem os processos de aquisições de defesa. Em especial, os processos de aquisição não dispõem de um guia que apoie a aplicação das boas práticas e da metodologia do Suporte Logístico Integrado.

Além da suportabilidade, os custos relativos ao ciclo de vida também carecem de métodos e ferramentas que tratem com mais profundidade o tema no âmbito do Ministério da Defesa (DUARTE; SANTOS, 2019).

Embora existam modelos e guias na literatura, tais documentos são direcionados aos produtos em desenvolvimento na sua grande maioria, suportando quem desenvolve e não quem compra.

Além disso, as peculiaridades das legislações que regulam as aquisições de defesa no Brasil exigem a customização dos processos e adaptação da metodologia que envolve o conceito de Suporte Logístico Integrado (ILS) para tornar tal arcabouço de conhecimento aplicável à realidade brasileira.

Outro ponto reside na carência de recursos que é uma realidade na administração pública (WELLINGTON; ALMEIDA, 2005). Desse modo, é desejável que se adotem estratégias que tornem os processos mais otimizados e auxiliem a tornar o conhecimento gerado em processos de aquisições, um patrimônio da organização.

Um outro aspecto relevante diz respeito as métricas de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade. Elas seguem um crescente de amadurecimento durante o ciclo de vida de um sistema. Conhecida como Curva de RAM (do inglês *Reliability, Availability e Maintainability*), essas três figuras de mérito delineiam durante o desenvolvimento a expectativa acerca do desempenho do sistema a partir dessas três figuras de mérito. Entretanto a dificuldade de se implantar soluções no desenho do projeto que levem a privilegiar os índices de RAM, como também falhas ou omissões durante as fases de concepção e desenvolvimento, podem provocar uma desaceleração do amadurecimento desses índices, colocando em operação sistemas com um nível de imaturidade em termos de RAM maior que o esperado (ou projetado). Além de prejuízo nessas três métricas, como consequência ocorrerá o aumento do custo do ciclo de vida e um possível degradação da prontidão do sistema (ABRAHÃO *et al.*, 2019; DALLOSTA; SIMCIK, 2012).

A literatura aborda que métricas de RAM refletem a maturidade do Suporte Logístico Integrado de um sistema complexo. Sendo assim, a imaturidade de RAM infere a imaturidade

do suporte e isso pode se refletir em desempenho do sistema abaixo do esperado em termos logísticos (UNITED STATES, 2005).

Sendo assim, a relevância do presente trabalho está em desenvolver um modelo de apoio à decisão, para uso durante o processo de aquisição de defesa, que possibilite avaliar, classificar, selecionar e tratar um sistema complexo sob a ótica de seu desempenho ao longo do seu ciclo de vida, viabilizando um melhor detalhamento da aderência do sistema e de seu suporte à metodologia do Suporte Logístico, métricas de RAM e custo do ciclo de vida.

Para tal, buscou-se apoio no conceito dos Gêmeos Digitais. Essa linha de pesquisa nos traz a oportunidade de observar o desempenho de um sistema através da coleta de seus dados e, aproveitando a virtualização de seu modelo como um espelho, trabalhar com modificações de condições ambientais, de operação e até mesmo acelerando o tempo cronológico em meio digital. A finalidade é avaliar seu comportamento diante de tais mudanças afim de oferecer elementos de apoio à decisão. Sendo assim, a mudança de ótica de especificações (ou características) do sistema para desempenho de um sistema em um dado cenário, oferece uma nova ótica para o cenário de aquisições.

A contribuição da pesquisa está na junção virtuosa do conceito do Gêmeos Digitais e a metodologia do suporte logístico integrado, métricas de RAM e a abordagem custo do ciclo de vida de sistemas complexos, para aprimorar o processo de seleção de sistemas concorrentes em aquisições de sistemas complexos de defesa, otimizar a sua implantação sob o ponto de vista logístico e gerir o conhecimento gerado por todo o processo.

1.6 Delimitação da Pesquisa

A pesquisa vai se limitar a produtos disponíveis no mercado, conhecidos como *Commercial off-the-shelf* (COTS).

Também se limitará a tratar somente dos produtos de defesa com características complexas como citado na introdução do presente trabalho.

Serão tratadas na proposta de solução do problema de pesquisa (objetivo geral) os aspectos relativos a confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e alguns elementos da metodologia do Suporte Logístico Integrado (SLI) necessários para melhor explorar esses três aspectos. Não fará parte do escopo desse modelo toda a amplitude de possibilidades propiciada por essa metodologia, quando desmembrada nos seus elementos ou áreas de atuação.

Além disso, a finalidade de se abordar academicamente a solução proposta como um Modelo de referência está baseada na percepção de que o caráter singular que reveste cada sistema de defesa impede que um modelo possa abarcar com um nível satisfatório de certeza todas as lacunas e peculiaridades em sua suportabilidade. Baseado nessa premissa, optou-se por desenvolver um modelo genérico, contudo calcado em bases acadêmicas consistentes, que permitisse ser utilizado como um guia de alto nível. Cada aquisição deverá ser analisada individualmente e fases, atividades, ferramentas e artefatos podem ser adicionados para melhor se adequar ao contexto de aplicação.

1.7 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está dividido em 05 Capítulos.

O primeiro, que se encerra nesse subitem, abordou aspectos influenciadores desse trabalho, bem como o delineamento da pesquisa. Foi apresentado o cenário onde o problema de pesquisa está inserido, alguns motivadores e consequências que justificam a relevância de se tratar tal problema. Ainda aborda delimitações da pesquisa uma visão geral sobre o trabalho.

O segundo Capítulo trata de uma revisão da literatura abordando as principais áreas do conhecimento utilizadas como referencial teórico nesse trabalho. Será apresentado nesse capítulo conceitos gerais sobre Processos de Aquisições de Defesa, a suportabilidade de sistemas complexos,

O terceiro Capítulo aborda a classificação da pesquisa segundo as referências em metodologia da pesquisa científica e a marcha metodológica utilizada para construção do modelo.

O quarto Capítulo expõe um estudo de caso descaracterizado sobre a aquisição de um produto complexo no âmbito da Defesa e a aplicação do modelo no cenário do estudo de caso. Apresenta resultados obtidos e oferece uma análise seguida de discussão sobre os resultados obtidos.

Encerrando o trabalho, o quinto Capítulo apresenta as conclusões geradas a partir do conteúdo apresentado nos capítulos anteriores, focando tanto no problema de pesquisa como na hipótese de solução. O mesmo é finalizado com propostas de trabalhos futuros, encerrando assim os elementos textuais da presente dissertação.

2 Revisão da Literatura

Esse Capítulo apresenta a revisão da literatura sobre os assuntos mais relevantes ligados ao presente trabalho de pesquisa, afim de alicerçar o desenvolvimento dos capítulos seguintes.

Ao final do Capítulo, é apresentada uma breve discussão sobre o posicionamento da pesquisa perante a revisão da literatura.

2.1 O Ciclo de Vida de Sistemas Complexos

Um sistema é, por definição, um conjunto de subsistemas e componentes que desempenham funções específicas, interagindo entre si de forma organizada na direção de um objetivo comum (INCOSE, 2015).

Utilizando a definição acima, pode-se inferir que são necessárias várias etapas, encadeadas em um processo sistemático, com a finalidade de desenvolver os elementos que darão ao sistema em si.

Esse conjunto de etapas, que vão desde a concepção até sua desativação, é tratado na literatura como ciclo de vida de um sistema.

Existem diversas abordagens acadêmicas sobre o ciclo de vida de sistemas onde são observadas pequenas diferenças entre as divisões das fases. A seguir, serão apresentadas as principais referências relacionadas ao tema.

2.1.1 O Entendimento Sobre o Ciclo de Vida de um Sistema Complexo

A *Defense Acquisition University (DAU)* é uma organização dedicada a pesquisa, desenvolvimento e capacitação de recursos humanos na área de aquisições de Defesa. Seus esforços são em prol de todos os processos relativos às aquisições de defesa do Departamento de Defesa (*Department of Defense - DoD*) dos EUA. Dentro o vasto material de consulta, essa instituição oferece em seu glossário de termos técnicos a definição de ciclo de vida de um sistema como o conjunto de fases a seguir:

- Pesquisa (Research).
- Desenvolvimento (Development).
- Testes e avaliações (Test & evaluation).

- Produção (production).
- Lançamento (deployment).
- Operação e suporte (Operations & support)
- Descarte (Disposal).

Além da *DAU*, existem publicações do próprio *DoD*, bem como o Guia Internacional Para o Uso das Especificações de Suporte Logístico Integrado Série-S SX000i, publicado pela Associação de Indústrias de Defesa e Aeroespacial da Europa (*AeroSpace and Defense Industries Association of Europe – ASD*), que também possuem modelos de ciclo de vida mais detalhados que a definição do glossário da *DAU*. A própria *DAU* adota em alguns de seus documentos, onde são abordados assuntos como aquisições de defesa e suporte integrado de produto, a divisão de fases utilizada pelo *DoD*. A Tabela 2.1 apresenta um panorama comparativo entre a divisão dessas principais referências e de outras disponíveis na literatura.

Tabela 2.1 – Tabela comparativa entre as fases de ciclo de vida na literatura acadêmica.

REFERÊNCIAS	FASES DO CICLO DE VIDA					
ASD (SX000i)	Preparação		Desenvolvimento	Produção	Serviço	Descarte
Blanchard (2016)	Desenho conceitual	Desenho preliminar do sistema	Desenho detalhado e Desenvolvimento	Produção	Operação e Suporte	Aposentadoria
DoD (USDOD5000.02)	Análise de soluções em materiais	Desenvolvimento da tecnologia	Desenvolvimento da engenharia e manufatura	Produção e Lançamento	Utilização e Suporte (Descarte é uma atividade dessa fase)	
NATO (AAP-20)	Pré concepção	Concepção	Desenvolvimento	Produção	Utilização Suporte	Aposentadoria
INCOSE (S.E. Handbook)	Concepção		Desenvolvimento	Produção	Utilização Suporte	Aposentadoria
ISO/IEC TR 19760:2003	Concepção		Desenvolvimento	Produção	Utilização Suporte	Aposentadoria

A apresentação dos ciclos de vida das abordagens citadas na Tabela 2.1 facilita a percepção de que mesmo com algumas diferenças entre si, todas seguem uma divisão muito semelhante.

Para melhorar o entendimento sobre sistemas complexos, ainda se faz necessário aprofundar a compreensão sobre o que ocorre em cada fase do seu ciclo de vida.

2.1.2 As Fases do Ciclo de Vida de um Sistema Complexo

A seguir serão apresentadas os principais aspectos a respeito de cada fase, utilizando como referência o ciclo de vida preconizado pelo SX000i para definição das fases e a literatura acadêmica para sua compreensão dando ênfase ao arcabouço presente na literatura produzida por Blanchard (ASD, 2018; BLANCHARD; BLYLER, 2016; INCOSE, 2015).

- **Fase de PREPARAÇÃO:**

Nessa primeira etapa, o foco está na construção da arquitetura do sistema a ser desenvolvido. Para isso ocorrer, é necessário que as seguintes atividades sejam desencadeadas:

- Identificação das necessidades dos usuários;
- Desenvolvimento dos requisitos do sistema;
- Avaliação das potenciais soluções em materiais;
- Identificação e redução de riscos tecnológicos por meio de estudos, experimentos e modelos de engenharia;
- Estabelecimento do cenário incluindo análise de alternativas, estimativas de custo do ciclo de vida.

A identificação das necessidades é um dos passos mais importantes, pois elas justificam a existência do sistema em si. Essa atividade carece de profunda análise que se inicia na adequada identificação das fontes que irão gerar as necessidades. As partes interessadas devem expor as necessidades e expectativas para o sistema dentro de sua ótica. Após a coleta de todos esses dados, é feita uma filtragem e compilação para que sejam transformados em requisitos do sistema. A precisão e o nível de detalhamento dessas atividades é vital para que o sistema atenda a sua missão definida. Falhas tanto na identificação das necessidades como das partes interessadas podem prejudicar de forma decisiva o sucesso do sistema (PARNELL; DRISCOLL; HENDERSON, 2011).

A literatura expõe muitos problemas nessa etapa relacionados a dificuldade de entendimento das necessidades e das restrições que o usuário pode ter. Isso acontece principalmente com aspectos logísticos pois o foco no momento de se expor as expectativas acaba recaindo sobre as necessidades ligadas a operação, ignorando questões de restrição para o suporte ao sistema (UNITED STATES, 2005). Inclusive o INCOSE (2015) reconhece isso em seu guia e atribui tal problema ao fato de que muitos gerentes considerarem questões ligadas a logística como atividades secundárias (INCOSE, 2015).

Após a definição mais elaborada possível dos requisitos do sistema, são desdobradas as atividades sobre a arquitetura desse sistema para atender a esses requisitos elicitados. Pesquisas sobre materiais, tecnologias e processos são conduzidas para delinear as possibilidades disponíveis para uma solução adequada.

Com o desenho do sistema melhor definido, são conduzidas análises de viabilidade, de risco agregado ao desenvolvimento, de custo do sistema e levantamento de alternativas até mesmo disponíveis no mercado.

A consolidação do cenário de aplicação do sistema, sua arquitetura funcional com um mapa de tecnologias a serem implementadas e a expectativa do custo do ciclo de vida do sistema, possibilitam a criação dos planos que irão guiar as próximas fases do processo.

Importante ressaltar que nessa fase, a literatura recomenda que a suportabilidade seja tratada com destaque para que não seja relegada a segundo plano. Integrantes das equipes de desenvolvimento devem atentar para o desenho do sistema também sob a ótica da suportabilidade, de forma que viabilize tanto implementações de soluções inteligentes em tempo hábil privilegiando o suporte do produto durante sua operação, como também participem ativamente das decisões entre aspectos operacionais e de suportabilidade (BLANCHARD, 1967).

A materialização desse enfoque na suportabilidade desde as primeiras atividades se dá pela formalização de um guia de alto nível com as linhas gerais dos aspectos mais relevantes ligados a suportabilidade, considerando restrições e expectativas. BLANCHARD trata essa atividade como Concepção da manutenção e do suporte (BLANCHARD; BLYLER, 2016).

- **Fase de DESENVOLVIMENTO:**

O objetivo geral dessa fase é o desenvolvimento detalhado do sistema e do seu processo de fabricação.

Aumentando o detalhamento do sistema, são desenvolvidas as atividades relativas ao seu projeto físico. Aprofundando ao nível de soluções de engenharia, o sistema vai ganhando forma e tem sua arquitetura física definida, na maioria das vezes simbolizada pelo protótipo.

Conforme abordado no guia SX000i, essa fase deve gerar um sistema que atenda aos requisitos definidos e ainda seja passível de ser manufaturado, testado, avaliado, operado, suportado e descartado.

Após isso, o foco se volta para o processo de manufatura, finalizando a fase com o sistema e seu processo de fabricação desenvolvidos.

O guia SX000i ainda estabelece como atividades específicas da suportabilidade dentro dessa fase:

- Estudos detalhados da suportabilidade, direcionados para sua modelagem e análise de relações custo-benefício entre diferentes estratégias e alternativas de suportabilidade;
- Estudos e participação na seleção de equipamentos e fornecedores;
- Desenvolver as primeiras previsões sobre métricas de confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e testabilidade;
- Participação efetiva no desenvolvimento, testes e avaliações dos modelos de engenharia e protótipos.

A concepção física do sistema nessa fase exige uma intensificação da suportabilidade nesse processo. No decorrer do desenvolvimento da arquitetura física e do modelo de engenharia, surgem as oportunidades de aplicação dos conceitos de suportabilidade no sistema. A implementação de soluções que privilegiem tanto os requisitos operacionais como de suportabilidade irão conferir a maturidade desejada no ponto de vista logístico inerente ao sistema. Nesse momento, a aplicação de soluções de desenho que facilitem os processos de manutenção como acessos, organização dos subsistemas e componentes, etc, cooperam diretamente para a suportabilidade.

Também é importante ressaltar que durante o desenvolvimento do sistema podem ocorrer impossibilidades de atendimento a todos os requisitos. Em especial, requisitos operacionais podem conflitar com os de suportabilidade e devem ser desenvolvidas análises de custo-benefício (*trade-offs*) com base no desempenho global do sistema evitando o atendimento somente do viés operacional.

O desenho da forma como o sistema será suportado concomitante ao desenvolvimento do sistema também é extremamente relevante, pois nessa fase ainda é possível a proposição de mudanças de projeto em face de alguma dificuldade detectada. Restrições relacionadas ao fornecimento e reparo de componentes, serviços de manutenção e de insumos (como combustíveis e lubrificantes) podem implicar na mudança do desenho do sistema.

Conforme abordado pela literatura, quanto mais cedo ocorrem mudanças de projeto, menor é o prejuízo causado, podendo chegar a um ponto que as mudanças podem inviabilizar o sistema como um todo (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Além disso, é necessária a verificação da adequabilidade do sistema em desenvolvimento aos seus cenários de aplicação. Como abordado no capítulo 1, os cenários têm elevado peso na arquitetura da suportabilidade do sistema. Características dos recursos humanos, instalações disponíveis, condições climáticas, dentre outros, influenciam diretamente o desempenho da suportabilidade. A validação junto aos usuários é fundamental para o sucesso do sistema na fase de operação.

- **Fase de PRODUÇÃO:**

Durante essa fase é realizada a produção do sistema propriamente dito a continuação dos testes, verificações e validações dos requisitos com o usuário.

Para a suportabilidade, essa é uma fase de preparação para o suporte do produto em larga escala logo a seguir, durante a entrada em serviço do sistema.

As atividades recomendadas pelo guia SX000i no tocante a suportabilidade nessa fase são:

- Treinamento inicial para operação e manutenção do sistema;
- Elaboração de toda documentação técnica do sistema, como desenhos técnicos, manuais de operação e manutenção, dentre outros;
- Elaboração e execução dos lotes de suprimentos iniciais de suporte aos operadores do sistema;
- Preparação de toda infraestrutura de suporte, instalações, equipamentos e ferramental para receber o sistema.

Essa fase se mostra intensiva em execução do planejamento em termos de suportabilidade nas fases anteriores. Algumas literaturas dividem essa fase em duas subfases.

A primeira com ritmo de produção mais lento e a segunda com o ritmo de produção planejado. Essa divisão tem a finalidade de realizar medições e testes finais tanto no processo produtivo como também em toda estrutura como a cadeia de fornecedores, instalações, infraestrutura disponível, etc (DEFENCE ACQUISITION UNIVERSITY, 2020).

Nessa fase, tanto a produção deve ser suportada como também os usuários finais do sistema. Disponibilização de estoques visando alimentar as linhas de produção e o usuário, fornecimento de toda documentação técnica necessária, distribuição e manutenção do fornecimento de suprimentos aos operadores, treinamento de operação e manutenção dos sistemas para operadores e linha de produção, dentre outras atividades.

A continuidade da avaliação também se faz necessária bem como a coleta de dados do desempenho do sistema. Esses dados podem ser confrontados com os dados tanto planejados como coletados nas fases anteriores durante os testes e avaliações desde os protótipos. A operação em larga escala também pode retificar/ratificar decisões e expectativas do desenho da suportabilidade podendo sugerir mudanças e adaptações tendo em vista o cenário real de operação.

- **Fase de SERVIÇO:**

Essa fase se caracteriza pelo acompanhamento do desempenho tanto do sistema como do suporte planejado e em execução. Adequações devido a mudança de características de operação do sistema, necessidades de atualizações e desempenho insatisfatório de algum componente ou subsistema são estudados, planejados e executados pelo setor responsável pela suportabilidade. O acompanhamento, coleta e análise de dados é importante também para o desenvolvimento de futuros sistemas.

O monitoramento das atividades de manutenção, desde inspeções de rotina como grandes revisões gerais também fornecem subsídios para o refinamento das técnicas de manutenção, podendo gerar soluções para atualização das praticas correntes como novas soluções em desenvolvimentos futuros.

Como uma das características de sistemas complexos de defesa é o longo ciclo de vida, essa fase acaba por receber uma carga de trabalho em atualizações de subsistemas e componentes, implicando em outras mudanças nos elementos relacionados como treinamento de recursos humanos, documentações técnicas, dentre outros. Além disso, a manutenção da continuidade da cadeia de fornecedores também demanda elevada atenção.

- **Fase de DESCARTE:**

O descarte de um sistema complexo pode não ser trivial em face de suas características. Por exemplo, sistemas que utilizam combustível nuclear, demandam um apurado planejamento e elevado custo. Equipamentos militares também devem ser descontinuados com a inutilização de suas capacidades bélicas.

Dependendo da estratégia do operador, o sistema pode ser substituído gradualmente por outro sistema mais moderno com a finalidade de estabelecer um escalonamento da manutenção de rotina e preservação da capacidade fornecida pelo sistema.

O planejamento dos estoques remanescentes que permitam a operação do sistema também são atividades dos responsáveis pela suportabilidade, sob risco de possuir um grande volume de estoque ao final da vida em serviço do sistema resultando de grande passivo financeiro inútil.

2.1.3 A Relação Entre a Distribuição de Custos de um Sistema e seu Ciclo de Vida

A literatura acadêmica que trata do ciclo de vida de sistemas complexos apresenta, em geral, uma relevante consideração ao custo do produto durante todo o seu ciclo de vida, levando-os em conta desde o início da concepção até o final da sua vida em serviço e consequente descarte (ASD, 2018; BLANCHARD; BLYLER, 2016; DEFENCE ACQUISITION UNIVERSITY, 2020; INCOSE, 2015).

Como abordado anteriormente, peculiaridades dos sistemas complexos de defesa como o longo ciclo de vida, a alta tecnologia embarcada, a necessidade de operar em diversos cenários, dentre outras, aumentam significativamente a importância de se preocupar com o custo do ciclo de vida do sistema. Isso se dá em face do impacto que tais características podem representar no custeio de tais sistemas (ABREU, 2015).

Tradicionalmente ocorrem falhas no entendimento tanto na distribuição quanto o montante desses custos ao longo do ciclo de vida. Por vezes as organizações se concentram no custo de aquisição do sistema e não analisam profundamente os outros custos envolvidos, podendo resultar em dificuldades para manter o sistema em operação e, conseqüentemente, perda da capacidade operacional desejada (BLANCHARD, 2004).

Blanchard (2016) e diversos autores trazem uma alegoria utilizando a figura de um *iceberg* para simbolizar tal fenômeno, conforme a Figura 2.1. A parte exposta de um *iceberg* é menor que a parte submersa, a porção que fica oculta debaixo da linha d'água. A parte

exposta é associada aos custos diretos e mais claros como o custo de aquisição. A parte inferior e oculta aos olhos dos observadores congrega os outros custos como, por exemplo, treinamento para operação e suporte ao sistema, a cadeia de suprimentos e manutenção dos itens reparáveis, toda a infraestrutura necessária a operação, dentre outros.



Figura 2.1 – Representação dos custos de um sistema complexo (BLANCHARD, 2004).

Blanchard (2004) ainda distribui os custos de um sistema em suas fases, desdobrando uma Estrutura Analítica de Custos, conforme a Figura 2.2 (BLANCHARD, 2004).

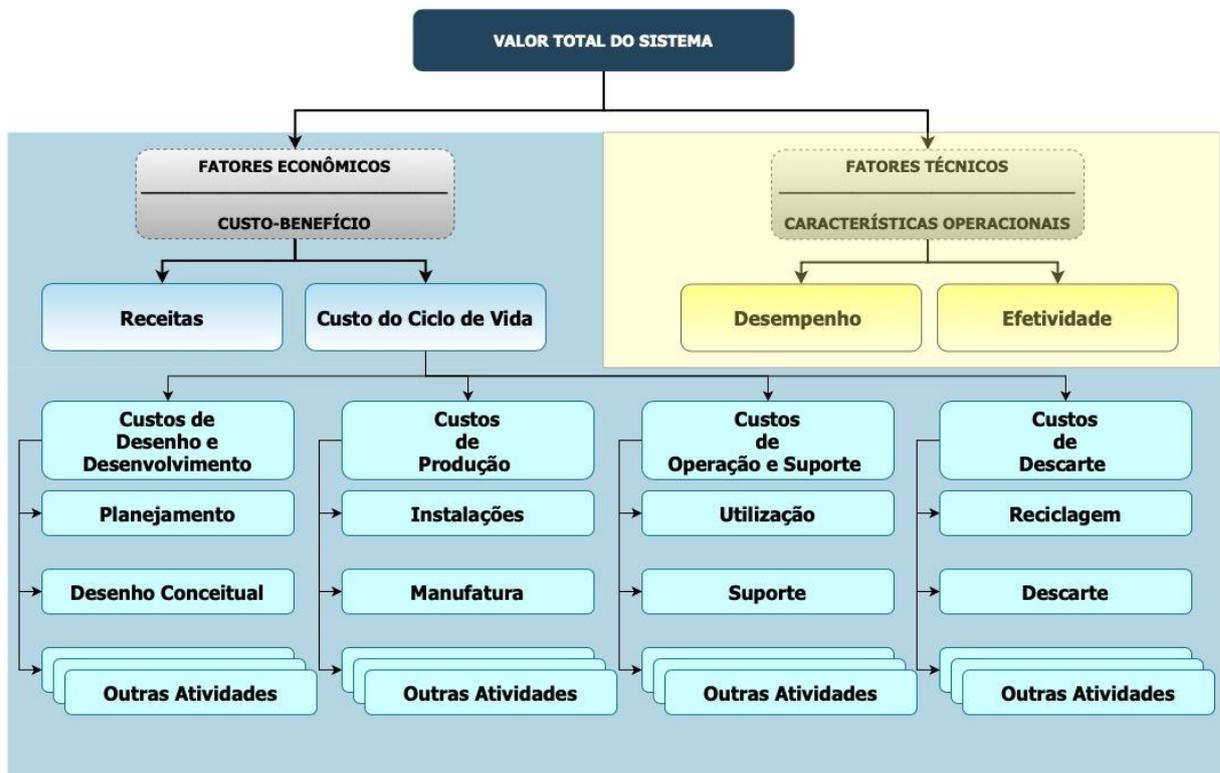


Figura 2.2 – Distribuição dos custos no ciclo de vida de um sistema (BLANCHARD 2004).

Estudos referentes a distribuição do custo de vida no ciclo de vida de um sistema complexo apontam a necessidade de se estudar de forma profunda seu comportamento e estratégias de como gerenciar e minimizar tais custos mantendo o desempenho funcional do sistema, atendendo as capacidades idealizadas para ele. Pesquisas destacam a relevância dos custos pós-aquisição de um sistema complexo de defesa, podendo chegar a valores percentuais entre 60 e 80% do custo total do sistema ao longo do ciclo de vida (JONES *et al.*, 2014; STATES; ACCOUNTABILITY, 2018). A DAU adota uma distribuição de 10% para a fase de preparação e desenvolvimento, 30% para fase de produção e 60% para fase de serviço e descarte (DEITZ *et al.*, 2013). A seguir, a Figura 2.3 apresenta a distribuição do custo durante o ciclo de vida de um sistema complexo, proposto por Jones e adaptado com as fases do ciclo de vida presentes no Guia SX000i.

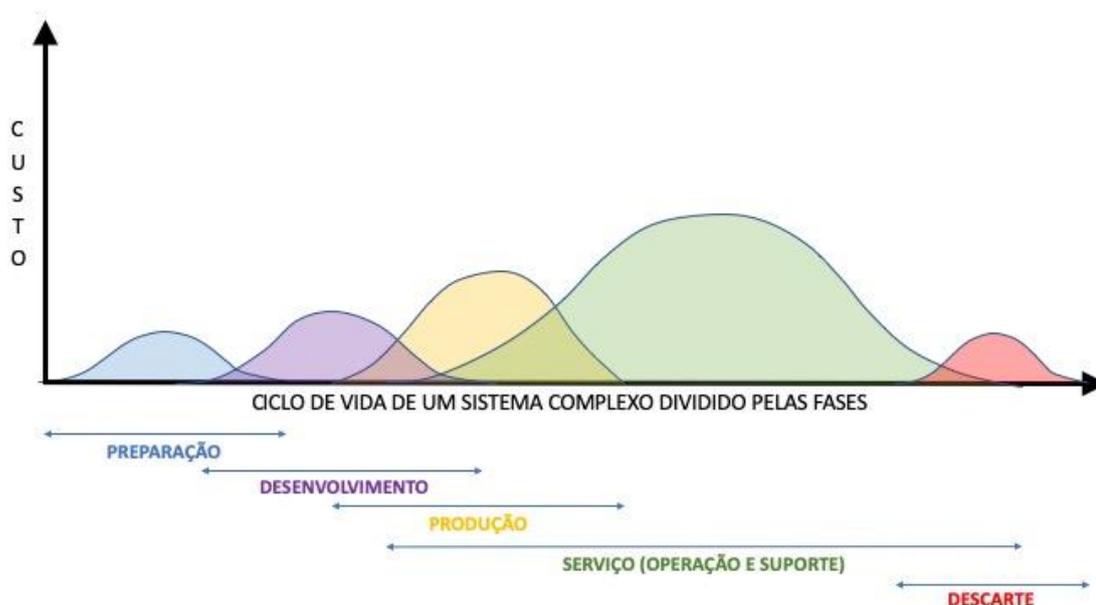


Figura 2.3 – Representação do custo do ciclo de vida de um sistema, distribuído pelas suas fases do ciclo de vida. (Adaptado de JONES, 2014).

Entretanto, a literatura acadêmica sobre Desenvolvimento integrado de produtos, destaca um fator extremamente relevante e decisivo para ações que visem minimizar o custo de sistemas. Rozenfeld *et al.*, (2006), apresentam em seu livro um gráfico sobre o desenvolvimento de um produto e a oportunidade de se implementar modificações tendo em vista o custo já comprometido em face das decisões de projeto sobre o desenho do produto. A complexidade tanto do desenho dos subsistemas como a necessidade das integrações entre si

dificulta modificações tendo em vista o impacto a causar, traduzidos em retrabalho (redesenho), aumento de prazo, consumo de horas de trabalho dos recursos humanos, etc.

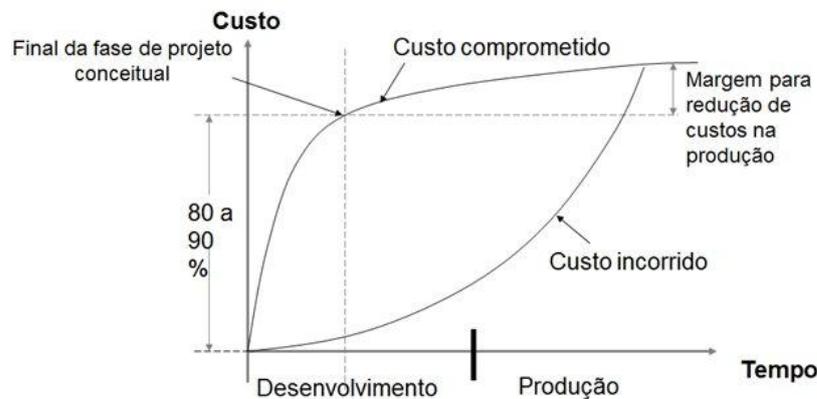


Figura 2.4 – Curva de comprometimento do custo do produto (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Baxter (2000) é corroborado por Rozenfeld *et al.*, (2006) em tal assertiva, associando o custo para introdução de mudanças no desenvolvimento de um produto. Quanto mais cedo for introduzida a modificação no desenho maior é o ganho ou, sob outro aspecto, menor a perda (PAGAN; DA SILVA; MELLO, 2013). Pode-se observar na Figura 2.5 a relação entre o custo para introdução de mudança, possibilidades de redução de custo, o custo comprometido, custo executado e as fases de desenvolvimento do produto.

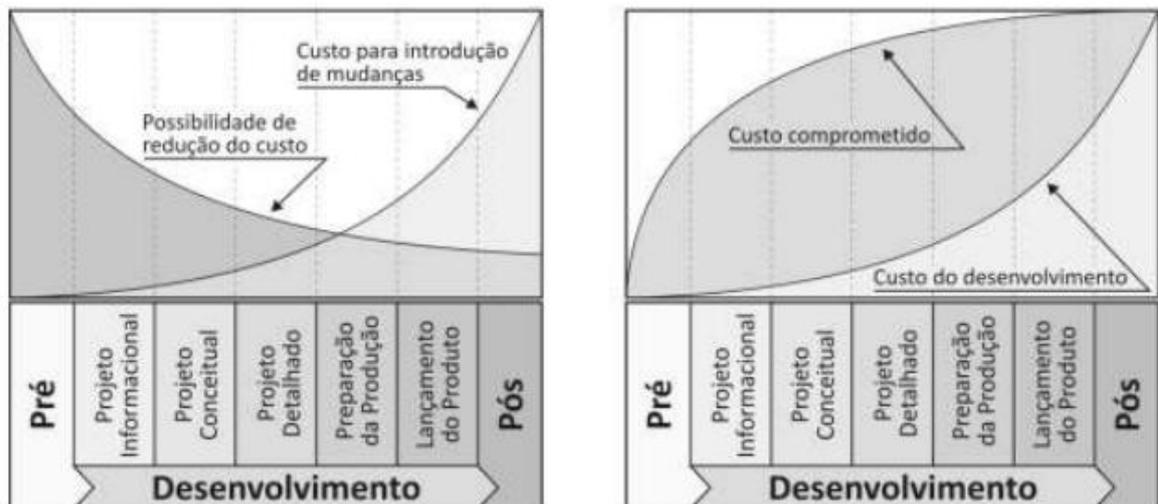


Figura 2.5 – Relação entre mudanças de projeto, custos e fases do desenvolvimento de um produto de Baxter (2000) (Adaptado PAGAN *et al.*, 2013).

Em face do exposto, é necessário que as mudanças ou implementações sejam feitas nas fases iniciais do sistema. É por isso que Blanchard (2004) defende que as equipes de

desenvolvimento do desenho do sistema devem conter integrantes focados em implementar soluções que privilegiem a suportabilidade do sistema ao longo de seu ciclo de vida.

2.1.4 O Ciclo de Vida de Sistemas e seus Custos no Âmbito de Defesa

No âmbito do Ministério da Defesa, existem documentações oficiais que abordam a gestão de sistemas complexos no tocante a suportabilidade e seu ciclo de vida, de forma direta ou indireta.

Abaixo observa-se uma tabela onde se encontram as normas encontradas para o escopo dessa pesquisa.

Tabela 2.2 – Documentos existentes no âmbito do MD que abordam o ciclo de vida de sistemas complexos.

ORGANIZAÇÃO	DOCUMENTO	ANO
Ministério da Defesa	MD40-M-01 - MANUAL DE BOAS PRÁTICAS PARA GESTÃO DO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS DE DEFESA (2019)	2019
Marinha do Brasil	DGMM-0130 MANUAL DO APOIO LOGÍSTICO INTEGRADO	2013
	MATERIAL MARINST Nº 02-01	1999
Exército Brasileiro	EB10-IG-01.018 Instruções Gerais para a Gestão do Ciclo de Vida dos Sistemas e Materiais de Emprego Militar (2016)	2016
	EB20-N-08.002 NORMAS PARA ELABORAÇÃO, GERENCIAMENTO E ACOMPANHAMENTO DE CUSTOS DO PORTIFÓLIO, DOS PROGRAMAS E DOS PROJETOS ESTRATÉGICOS DO EXÉRCITO BRASILEIRO (2019)	2019
Força Aérea Brasileira	DCA 400-6 CICLO DE VIDA DE SISTEMAS E MATERIAIS DA AERONÁUTICA	2007

As Forças Singulares e o Ministério da Defesa adotam modelos de ciclos de vida em suas documentações muito parecidos, considerando o fluxo de ações. Das normas citadas, a FAB possui um detalhamento maior na divisão de suas fases.

O Manual MD40-M01 tem forte influência das normas ISO/IEC 15.288:2015 (a norma ISO/IEC 19.760:2003 citada na Tabela 2.1 é um guia para aplicação dessa ISO) e das normas da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN). A Figura 2.6 apresenta uma representação comparativa dos ciclos de vida no âmbito do MD.

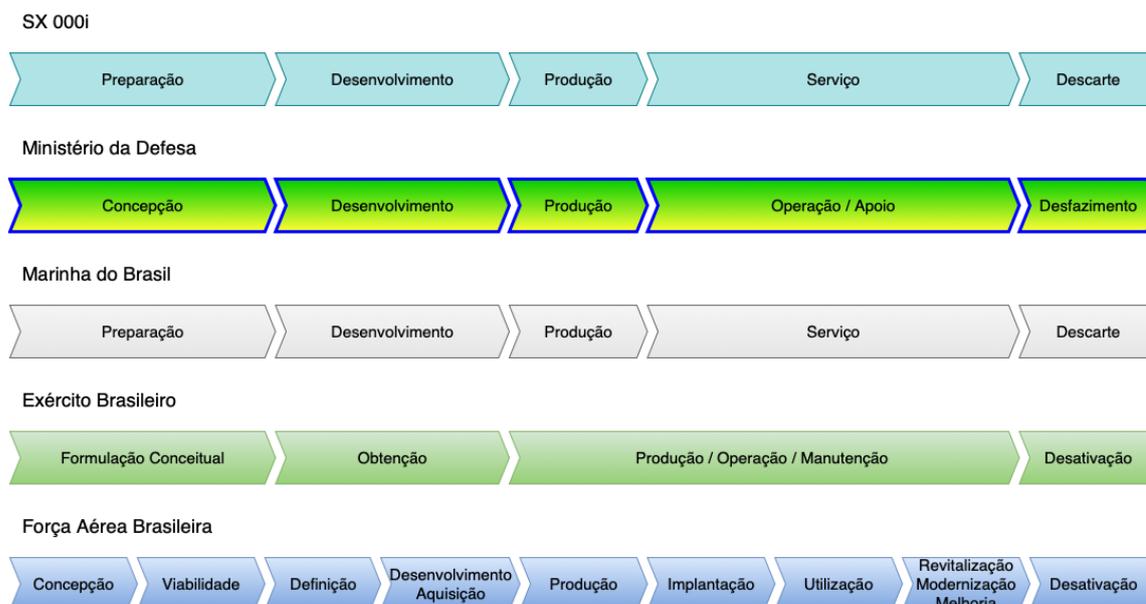


Figura 2.6 – Comparativo entre os ciclos de vida no âmbito do MD.

Ao analisar as documentações acima, observa-se uma baixa aderência as metodologias do Suporte Logístico Integrado. Embora algumas das normas cite autores renomados como Blanchard, documentos da DAU e documentos de outras instituições, a aplicação dos conceitos não é tão aprofundada, carecendo de estratégias que facilitem a operacionalização dos conceitos.

Citado na introdução, Duarte e Santos (2019) faz uma avaliação das documentações relativas a gestão do ciclo de vida de sistemas complexos e seus custos. Ele afirma que no Brasil os estudos e normas em vigor ainda são insipientes quando relacionadas a gestão do ciclo de vida e inexistentes em relação a gestão de seus custos (DUARTE; SANTOS, 2019).

Considerando que a norma EB-N-08.002 pode ter sido lançada após a publicação de Duarte e Santos (2019), sendo esse o motivo de não estar presente em seu artigo, essa norma foi consultada durante essa pesquisa e constatasse que ela também não aborda a questão da suportabilidade sob a ótica do Suporte Logístico Integrado e o custo distribuído ao longo de seu ciclo de vida. Isso reforça a afirmação de Duarte e Santos sobre a inexistência de métodos e processos que abordem essa temática com a amplitude e profundidade que o tema merece.

2.2 A Suportabilidade de Sistemas Complexos

A relação entre ciclo de vida de sistemas complexos e a distribuição de seu custo total, oferecidas na sessão anterior, revela o papel significativo dos conceitos de suportabilidade na sua concepção.

O Suporte Logístico Integrado, do inglês *Integrated Logistics Support* (ILS) é uma abordagem acadêmica proposta para ações que foquem nas características logísticas do sistema desde sua concepção, cruzando todo ciclo de vida até o descarte. O grande objetivo é melhorar o desempenho do sistema em termos de suporte por meio de soluções de desenho, tecnologias, planejamento sistêmico e gestão integrada, com a finalidade de aumentar a disponibilidade, facilitar a manutenção, simplificar os processos ligados a logística, preservar as capacidades operacionais do sistema a um custo aceitável.

Historicamente, existem trabalhos da Marinha Americana (*US Navy*) que fazem referência ao assunto antes da década de 1960. Em 1955, o Departamento de Defesa Americano (DoD) publicou a Diretriz DODD 3232.1 onde externava a preocupação com o planejamento integrado dos aspectos logísticos por meio da normatização de vários processos com o objetivo de melhorar o desempenho de sua cadeia logística e o custo a partir de ações integradas (BABBITT, 1976).

Em 1964, houve a primeira conceituação formal do termo ILS pela publicação da Diretriz DODD 4100.35 (BABBITT, 1976).

Blanchard, pesquisador e autor de obras reconhecidas como referência sobre ILS no meio acadêmico, publica diversos artigos desde a década de 60 e, em 1974, lança o seu livro *Logistics Engineering and management*.

Desde então essa área de pesquisa é explorada por setores que necessitam de melhorar a eficiência de sistemas complexos e reduzir custos operacionais sem perda de desempenho operacional.

O guia SX000i define o ILS como um processo técnico onde atividades logísticas e os elementos (subáreas) da logística são planejados, adquiridos, implementados, testados e fornecidos em tempo adequado e com um bom custo-benefício. O guia ainda desmembra em quatro objetivos principais.

- Concepção do suporte com o foco em soluções no desenho do produto para reduzir atividades de rotina, manutenção, treinamento, tarefas de suporte e o custo do ciclo de vida ao mesmo tempo que otimiza a prontidão operacional.
- Suporte às soluções de projeto na concepção com a ótica focada na suportabilidade, desenvolvendo, testando e avaliando de forma a garantir o desempenho ideal do sistema dentro do cenário de aplicação a ele destinado.

- Garantir o suporte ao produto em operação conforme planejado e demandado.
- Prover o suporte necessário desde o começo até o final do Ciclo de vida do sistema, garantindo a continuidade e qualidade do suporte em face de mudanças e atualizações sofridas pelo sistema.

O ILS quando adequadamente planejado e aplicado, auxilia as equipes de projeto em se antecipar aos problemas logísticos, permitindo a implementação oportuna de soluções que privilegiem a suportabilidade, oferecendo uma abordagem proativa durante a concepção e desenvolvimento do sistema. Ao final, o grande objetivo é harmonizar o atendimento tanto de requisitos operacionais como os requisitos de suportabilidade, preservando as capacidades desejadas e otimizando sua prontidão dentro de um custo aceitável.

2.2.1 Abordagens Acadêmicas Sobre a Suportabilidade de Sistemas Complexos

Das diversas abordagens, existem três delas que são largamente difundidas e notoriamente reconhecidas. Nesse trabalho utilizaremos três referências para o ILS, sendo a primeira produzida para quem realiza aquisições de sistemas complexos de defesa, a segunda para quem produz e por último a referência acadêmica em ILS.

A DAU é a primeira. Produziu o Livro-guia Suporte Integrado ao Produto (*Integrated Product Support guidebook*), revisado em 2019, para atender ao DoD, um dos maiores consumidores de sistemas complexos de defesa do mundo.

A ASD, uma associação de empresas produtoras de sistemas complexos de defesa e aeroespaciais produziu o guia SX000i revisado em 2018.

Blanchard é uma das maiores referências acadêmicas sobre o assunto com publicações acadêmicas desde a década de 60. O livro *Logistic Engineering and Management* com sua primeira edição em 1974 e última em 2004, aborda profundamente o ILS e é citado como referencial teórico da maioria das publicações acerca do assunto.

2.2.2 Os Elementos do Suporte Logístico Integrado

As diferentes abordagens sobre dividem o ILS em subáreas denominadas elementos do ILS. Os elementos serão tratados individualmente no decorrer do trabalho.

Cada Elemento abarca uma série de atividades correlacionadas entre si, buscando um aprofundamento em direção as necessidades do sistema com a finalidade de se antecipar a

possíveis problemas, implementar soluções que aumentem o desempenho logístico e reduzam custos quando possível.

Existem algumas variações na divisão dos elementos, oscilando entre 9 e 12 elementos. Nesse trabalho serão descritos os 12 elementos presentes no guia SX000i da ADS (2018), por entender que os mesmos traduzem de forma clara a abrangência da esfera de atribuições avocadas ao ILS, sendo eles descritos a seguir:

2.2.3 Influência do Desenho (*Design Influence*)

Baseado no que foi exposto no tópico que tratou da influencia da suportabilidade no ciclo de vida de sistemas complexos, a maior efetividade e amplitude na aplicação dos conceitos do ILS se dá nas fases iniciais da concepção de um sistema. Quanto mais cedo, melhores são as oportunidades de implantação de soluções focadas no desempenho logístico.

Embasado nessa premissa, o elemento INFLUÊNCIA NO DESENHO participa do processo de engenharia de sistemas e integra as equipes de concepção e desenvolvimento com a intenção de impactar o desenho do sistema com soluções que privilegiem os requisitos e boas práticas da suportabilidade como manutenibilidade, disponibilidade, otimização da logística e custo do ciclo de vida. Esse elemento representa a integração de características de qualitativas no desenho do projeto focadas no ILS e seu alinhamento com as funcionalidades e potencialidades do ILS, abrindo o caminho para a aplicação das atividades contidas nos outros elementos.

As implementações adotadas na arquitetura do sistema são traduzidas em parâmetros de desenho (*design*) de forma a se relacionarem com requisitos de suportabilidade do sistema. A motivação é que o sistema não se distancie de seus objetivos em termos de disponibilidade, características de manutenibilidade, suportabilidade e custo tanto de desenvolvimento/produção como de operação e suporte. Para isso, nessa fase são desencadeadas três atividades:

- Análise de viabilidade do custo do ciclo de vida;
- Análise do Suporte Logístico;
- Análise de Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade (RAM).

2.2.4 Manutenção (*maintenance*)

Esse elemento tem o objetivo de estabelecer os conceitos para a modelagem da manutenção e requisitos para a sua execução durante o ciclo de vida do sistema. Sendo assim, esse elemento tem um grande impacto em outros por demandar ações como, por exemplo, treinamentos, aquisição de ferramental, equipamentos de apoio, infraestrutura, peculiaridades em instalações, dentre outros.

Por meio da identificação, planejamento, fornecimentos de embasamento técnico e implementação de conceitos e requisitos para execução da manutenção, se espera garantir a melhor combinação entre recursos humanos, meios e processos, sua otimização e minimização dos custos dessa atividade. Para tal, são executadas nove atividades:

- Desenvolvimento do conceito de manutenção;
- Desenvolvimento do Plano de Manutenção;
- Análise do Nível de Reparo;
- Análise de Tarefas de Manutenção;
- Desenvolvimento de requisitos para tarefas de manutenção preventiva;
- Análise de segurança na suportabilidade;
- Análise de necessidade de sistemas informatizados e programas e redes;
- Testes e validação das tarefas de manutenção;
- Análise dos processos de diagnósticos, prognósticos e gerenciamento da saúde do sistema.

2.2.5 Treinamento e Suporte ao Treinamento (*Training and Training Support*)

A finalidade desse elemento é buscar as melhores estratégias e soluções para o planejamento, execução e suporte ao treinamento, de forma que se garanta a melhor capacitação dos responsáveis pela operação, suporte e gestão do sistema. O resultado é extrair o máximo de desempenho do sistema tanto em termos operacionais com logísticos.

Esse elemento também possui uma série de interações com os outros tendo em vista a necessidade de documentações técnicas, suporte computacional, simuladores, etc.

Para adequar da melhor forma requisitos de recursos humanos, níveis de treinamentos, suporte de equipamentos, periodicidade e outros aspectos, é necessária a execução de uma Análise de necessidade de treinamento, de forma a equacionar as necessidades e objetivos a serem alcançados.

O Guia SX000i recomenda que os treinamentos sejam distribuídos em duas fases e quatro níveis.

Uma fase inicial para aquisição da capacidade e uma fase posterior de revisão e manutenção do conhecimento que se estende durante todo o ciclo de vida.

Os níveis são para atingir os quatro principais grupos de profissionais que são os operadores, os mantenedores, os gestores e os instrutores que vão conduzir os treinamentos.

Esse elemento, além de conduzir a Análise de necessidade de treinamento deve consolidar todas as atividades em um Plano (ou programa) de Treinamento onde devem abordar, no mínimo, para cada treinamento necessário:

- A quantidade de treinamento;
- Os níveis de proficiência;
- Os métodos mais recomendados;
- Os materiais e suportes, infraestrutura e instalações necessárias;
- A quantidade de supervisores e instrutores.

2.2.6 Suporte de Suprimentos (*Supply Support*)

O foco desse elemento mira na identificação, planejamento, provisão de recursos e implementação de ações gerenciais com o objetivo de adquirir e disponibilizar todo o tipo de suprimento, desde itens de consumo até componentes reparáveis, em quantidades adequadas e compatíveis ao uso do sistema, no local e momento certo, mantendo os níveis de qualidade especificados e dentro de um custo adequado.

Esse elemento também tem uma grande interação com outros pois necessita de catalogação de itens, dimensionamento do volume de consumo do suprimento, dentre outras demandas. Essas e outras ações necessárias para as atividades desse elemento estão contidas em duas tarefas.

A primeira está relacionada aos dados para o provisionamento de suprimentos em termos de quantidades necessárias de serem compradas de fornecedores, a padronização de códigos de identificação e catalogação e o controle da qualidade.

A segunda está ligada a gestão de abastecimento e disponibilização de suprimento aos clientes (operadores do sistema). O fornecimento sem interrupção e falhas é o grande objetivo e depende de um trabalho em conjunto das duas partes de forma a se traçar um planejamento dentro das possibilidades e limitações de ambas as partes.

2.2.7 Embalagem, Manuseio, Estocagem e Transporte (Packaging, Handling, Storage and Transportation -phs&t)

Embora as atividades desse elemento não estejam diretamente envolvidas com a operação e a manutenção do produto principal do sistema, o seu planejamento e execução influenciam diretamente o desempenho logístico do produto. Esse elemento trata diretamente das tarefas, requisitos e especificações sobre as operações ligadas ao manuseio, embalagem, estocagem e transporte desde suprimentos, componentes e, até mesmo, o próprio sistema.

A análise se inicia pelo estudo das demandas geradas pelo desenho do projeto, identificando as tarefas relativas ao PHS&T em componentes, subsistemas e o sistema em si. Também identifica necessidades acerca de instalações e infraestrutura para o gerenciamento de suprimentos e sobressalentes e pode propor soluções que privilegiem PHS&T durante a concepção e desenvolvimento do sistema.

São algumas das atividades ligadas a PHS&T as seguintes:

- Precauções em termos de segurança com o manuseio,
- Ações preparatórias para o manuseio,
- Operações de carga e descarga,
- Reboque e traslado,
- Instalações e infraestrutura necessária
- Recuperação de sistemas e componentes
- Preservação de componentes ou sistemas (Ex: baterias estocadas, lubrificação e prevenção de corrosão, etc),

- Proteção contra interferências que possam degradar o componente estocado (interferências eletromagnéticas, elétricas, etc),
- Controle patrimonial e estatístico dos itens,
- Armazenamento,
- Procedimentos com cargas que sejam perigosas,
- Concepção de soluções para otimizar PHS&T; e
- Concepção de soluções para otimizar o transporte.

2.2.8 Dados Técnicos (*Technical Data*)

Esse elemento abarca o registro de informações geradas durante o ciclo de vida do sistema ou importadas no seu decorrer, de natureza técnica ou científica, a despeito da forma ou método de registro, incluindo as documentações envolvidas em todo o processo. Não fazem parte do escopo desse elemento as informações financeiras, de administração de contratos, bem como a definição de programas de computador e afins.

O objetivo desse elemento é a aquisição, registro, preservação, armazenagem e disponibilização de todo conteúdo técnico em forma de dados. Para isso são executadas análises nos principais documentos e nos demais elementos do ILS para identificação de demandas e fontes de dados. O guia SX000i propõe um rol de tópicos para serem levados em consideração nessa análise e posterior planejamento da aquisição, registro, preservação e armazenagem dos dados. São eles;

- Dados de definição do produto,
- Desenhos técnicos,
- Especificações e padrões,
- Requisitos,
- Dados de modelagem e confiabilidade, etc.

A próxima etapa é a disponibilização dos dados técnicos. Podem ser por meio de publicações impressas, mídias, meios audiovisuais, etc.

Esse elemento possui grande interação com outros elementos como manutenção, gerencia do suporte ao produto, dentre outros, ao longo do ciclo de vida do sistema, em face de atualização de publicações, armazenagem de dados e outras atividades.

2.2.9 Equipamentos de Suporte (*Support Equipment*)

O objetivo desse elemento é identificar, planejar, adquirir e manter os equipamentos de suporte ao sistema em condições de funcionamento durante o ciclo de vida do sistema. Esses equipamentos estão relacionados às atividades de suporte e operação do produto. São exemplos os veículos de reboque para tratoramento de aeronaves, fontes de energia, bancadas de manutenção, ferramental, dentre outros.

Esse elemento possui ações desde a concepção do sistema com o planejamento de soluções que otimizem o investimento em equipamentos, aproveitem os equipamentos já existentes e a incorporação de soluções que facilitem a operação e manutenção dos mesmos. Cabe ressaltar que alguns sistemas podem demandar equipamentos de suporte que deverão ter o mesmo tratamento em termos de ILS que o sistema principal. Equipamentos ligados a calibração, testes (ex: sistemas de teste de motores à reação) dentre outros, podem demandar um estudo de ILS exclusivo para si.

Em face disso, esse elemento também divide suas atividades em duas partes. A primeira é relativa a análise e planejamento, a segunda é relativa a execução e suporte aos equipamentos adquiridos.

Na primeira parte, são utilizados a documentação existente como contratos, planos de ILS em desenvolvimento, análises logísticas, de confiabilidade, de suporte, dentre outros. São compiladas todas as demandas e a partir dessa base de necessidades são definidos os tipos e quantitativos de equipamentos.

Na segunda parte os equipamentos são implantados e acompanhados ao longo do ciclo de vida do sistema. Alguns equipamentos têm seu próprio ciclo de vida e demandas relativas a manutenção, calibração, etc, que devem ser cobertas para não degradar o desempenho do sistema principal.

2.2.10 Recursos Humanos (*Manpower & Personnel*)

A finalidade desse elemento é identificar, planejar e prover todas as demandas de mão de obra para a operação e suporte ao sistema em termos de qualificações, habilidades e quantitativo de pessoal necessário.

O foco é na efetiva operação e manutenção do sistema conforme projetado.

Para isso, utiliza-se como base o Plano de ILS para análises das atividades que demandam recursos humanos. O guia SX000i também faz referência ao contrato como fonte, possivelmente em face da influência das legislações relativas ao trabalho como regulação de jornadas, treinamentos e capacitações obrigatórias, etc.

2.2.11 Infraestrutura e Instalações (*Facilities and Infrastructure*)

Esse elemento trata de toda Infraestrutura e Instalações necessárias para a exploração do sistema em sua plena potencialidade. Tem o objetivo gerenciar todas as atividades relativas ao planejamento e construção de bens imóveis como hangares (no caso de aeronaves), instalações de suporte à operação, oficinas, benfeitorias como vias de acesso, pistas, rodovias, fornecimento de água, energia, dentre outras.

Esse elemento interage desde o início da concepção do sistema para se buscar a melhor solução, no caso de possíveis restrições e também com a finalidade evitar atrasos no decorrer do ciclo de vida relacionados a falta de infraestrutura e instalações necessárias.

As atividades mais comuns nesse elemento são as seguintes:

- Planejamento de instalações e de infraestrutura,
- Estudos de otimização e adequabilidade de estrutura existente,
- Escolha de localização,
- Determinação de requisitos relativos a condições ambientais, segurança, equipamentos necessários, infraestrutura mínima para operação e suporte; e
- Ativação da estrutura de suporte relativa a esse elemento.

2.2.12 Recursos Computacionais (*Computer Resources*)

Esse elemento do ILS trata da identificação de todas as necessidades acerca de infraestrutura, instalações, programas (*softwares*), sistemas, redes, equipamentos de informática (*hardwares*) e recursos humanos para permitir a operações dos sistemas informatizados necessários a missão do sistema.

Algumas linhas acadêmicas e gerenciais englobam mais itens como necessidades de tecnologia da informação (TI) de outros elementos (treinamento, manutenção, etc) dentro desse elemento. A linha adotada pelo SX000i abarca as necessidades expressas no Plano de ILS onde estão envolvidos todos os elementos e ainda destaca em seu fluxo de atividades as

demandas advindas de treinamento, contrato, instalações, equipamentos de suporte e infraestrutura.

As suas ações são divididas em duas etapas. A primeira é relativa a análise de todo o Plano de ILS em busca de requisitos que tenham relação com recursos computacionais. São relacionadas todas as demandas oriundas de outros elementos. Devem ser levados em conta também recursos já existentes e a necessidade de adequação entre si. São produzidos relatórios para próxima etapa que é relativa ao desenvolvimento, produção, aquisição, instalação e manutenção dos recursos computacionais.

Esse elemento continua em atividade durante o ciclo de vida do sistema, acompanhando e fornecendo reportes sobre o desempenho dos recursos computacionais.

2.2.13 Gerenciamento do Suporte ao Produto (*Product Support Management*)

Este elemento lida com a integração, o gerenciamento, planejamento e orçamento de todos os demais elementos do SLI, garantindo condições necessárias à manutenção da prontidão e capacidade operacional dos principais sistemas, subsistemas e componentes de armas, incluindo, entre outros, gerenciamento de materiais, distribuição, gerenciamento de dados técnicos, manutenção e treinamento, catalogação, gerenciamento de configuração, suporte de engenharia, gerenciamento de peças de reparo, relatórios e análises de falhas, rastreamento de crescimento de confiabilidade e elementos de logística (por exemplo, equipamentos de suporte, sobressalentes, etc.) relacionados à prontidão de sistemas de armas. Inclui o planejamento e gerenciamento de custo e desempenho em toda a cadeia de valor de suporte ao produto, desde o design até o descarte.

Esse elemento está intimamente ligado ao desenvolvimento do Plano de implantação e execução do ILS na fase de operação e suporte até o seu descarte.

2.2.14 Suporte Continuado de Engenharia (*Sustaining Engineering*)

O foco desse elemento é o suporte ao produto na fase de serviço dentro de seu ambiente de operação. As suas ações devem abarcar todas as atividades técnicas necessárias para garantir a operação e a manutenção do sistema de forma contínua durante o ciclo de vida. Fazem parte dessas ações análises de engenharia, investigações, etc.

Além disso, esse elemento deve acompanhar a efetividade do suporte, identificando deficiências ao longo da operação do sistema, propondo ações para melhoria e correção de

deficiências. A meta é manter a capacidade original do produto e, caso sejam identificadas oportunidades de melhoria no processo, implementar tais melhorias em consonância com os objetivos do projeto e da gerência como um todo. Essas ações podem ser desde modificações de processos até implementações mais profundas como ações no desenho do sistema.

2.2.15 Difusão e Aderência das Metodologias de Suporte Logístico Integrado (ILS)

Conforme abordado na introdução, Irigon (2020) em sua recente pesquisa observou a pouca aderência da indústria às boas práticas e metodologias relacionadas ao Suporte Logístico Integrado. Inclusive ele sugeriu tal pesquisa como trabalhos futuros de forma a diminuir o hiato entre essas metodologias e a sua aplicação prática no âmbito das organizações.

Abrahão *et al.*, (2019) também cita em seu artigo algumas afirmações acerca desse fenômeno como o fato da indústria em sua grande maioria ignorar as questões relativas a suportabilidade até que o problema se torne muito grave. Nesse ponto, o prejuízo acaba sendo compartilhado com os operadores do sistema. Essa é uma das razões de se efetuar a presente pesquisa. Além disso também destaca as falhas da gestão do conhecimento e a dupla responsabilidade quando a área acadêmica também ignora essa área do conhecimento ao não abordar de forma ampla tais assuntos em suas grades curriculares. Cabe também ressaltar que o domínio dessas técnicas de aplicação da metodologia da suportabilidade por parte da indústria acabam por se tornar um diferencial estratégico e talvez esse também seja um motivo de pouca difusão desse assunto no que tange a sua aplicação prática (ABRAHÃO, 2017a; ABRAHÃO *et al.*, 2019).

Talvez essas questões abordadas por Abrahão *et al.*, (2019) e Irigon (2020) sejam a razão da escassez de publicações dessa natureza.

2.3 Indicadores e Métricas de Suportabilidade

Ao longo do amadurecimento das metodologias sobre a suportabilidade de sistemas complexos, foram desenvolvidas diversas formas de se mensurar sua aplicação. A mais comum é o estabelecimento de métricas. Isso se apoia tanto na necessidade de medir a suportabilidade em um sistema, como também tornar mais palpável a percepção de sua aplicação.

Nesse contexto, das diversas formas de se medir a suportabilidade, nesse trabalho serão destacadas três: a confiabilidade, a disponibilidade e a manutenibilidade.

O destaque para as referidas métricas encontra amparo no guia do DoD para alcançar Confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade (do inglês *DoD Guide for Achieving Reliability, Availability and Maintainability - 2005*) onde se argumenta em seu prefácio que essas três medidas de desempenho são essenciais para a capacidade de missão do sistema, em especial a capacidade operacional. Os investimentos para elevar os níveis dessas três métricas trouxeram resultados positivos ao longo do ciclo de vida dos sistemas complexos de defesa (UNITED STATES, 2005).

Além disso, ações nos elementos do ILS (também nominado como IPS do inglês *Integrated Product Support* pela DAU) refletem diretamente nessas métricas. Isso transparece a relevância dessas medidas e relação de dependência entre elas e os elementos do ILS (ABRAHÃO *et al.*, 2019; BLANCHARD, 2004).

Esse conjunto de métricas é conhecido pelo acrônimo RAM, do inglês *Reliability, Availability e Maintainability*, sendo abordadas em diversas literaturas juntas como no guia supracitado ou separadas (ABRAHÃO, 2017a; BLANCHARD, 2004; UNITED STATES, 2005).

Vale destacar que embora sejam métricas com sua natureza específica e bem definidas, eles não independentes entre si. A disponibilidade sofre influencia direta das duas outras, pois enquanto a baixa confiabilidade de um componente pode gerar frequências maiores de indisponibilidade, processos complexos e demorados de manutenção aumentam o tempo dessas paradas. Sendo assim, uma boa confiabilidade não significa que resultará em bons resultados das outras métricas. Uma análise adequada deve levar em consideração seus desempenhos isolados e combinados dentro do cenário de aplicação do sistema.

2.3.1 Confiabilidade

A confiabilidade, segundo BLANCHARD (2004), pode ser definida simplesmente pela probabilidade de um sistema operar de maneira satisfatória por um período determinado de tempo e dentro das condições para as quais ele foi especificado.

BLANCHARD ainda dá ênfase aos quatro elementos que a referida definição traz em seu bojo, sendo elas:

- Probabilidade,
- Tempo,

- Operação satisfatória; e
- Condições especificadas.

O primeiro passo para o entendimento dessa métrica é referente a probabilidade, que nada mais é a relação de ocorrências de um determinado acontecimento dentro de uma série de ocorrências de um mesmo evento. Eminentemente aleatória, a probabilidade é citada nesse conceito tendo em vista a relação entre o número de vezes que o evento “operação” ocorreu de maneira satisfatória em relação a todas as vezes que o sistema operou.

A confiabilidade pode ser expressa por um valor entre 0 e 1, ou de forma percentual. A equação 2.1 é uma das formas de expressar essa métrica (BLANCHARD, 2004) onde:

- R : Confiabilidade (do inglês *Reliability*);
- t : tempo de operação do sistema;
- e : Base do logaritmo natural (2,7183); e
- λ : Inverso do MTBF (do inglês *Mean Time Between Failure*).

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.1)$$

Dentro da confiabilidade também nasce o conceito de MTBF, ou tempo médio entre falhas (do inglês *Mean Time Between Failure*). O MTBF é a razão entre o tempo total de operação do sistema e o número de falhas ocorridas.

2.3.2 Disponibilidade

A disponibilidade é conceitualmente definida pela capacidade de pronta resposta de um sistema. Em outras palavras, é a relação entre a necessidade de usar o sistema e a capacidade de atender a essa necessidade de emprego.

Ela é usualmente medida pela relação entre o tempo que o sistema ficou disponível para operação e o tempo que ele ficou indisponível.

A literatura divide em três tipos de disponibilidade (BLANCHARD, 2004; UNITED STATES, 2005):

- Disponibilidade Inerente (A_i): A relação entre o tempo disponível e o tempo que o sistema passou em manutenções corretivas. A Equação 2.2 apresenta essa relação

por meio da razão entre $MTBF$ e a soma do $MTBF$ e o tempo em Manutenção corretiva ($\bar{M}ct$).

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + \bar{M}ct} \quad (2.2)$$

- Disponibilidade Atingida (A_a): A relação entre o tempo médio entre manutenções ($MTBM$) e a soma do $MTBM$ com o tempo efetivamente em manutenção, somando corretivas e preventivas (\bar{M}). A Equação 2.3 apresenta tal relação.

$$A_a = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}} \quad (2.3)$$

- Disponibilidade Operacional (A_o): É a relação entre o $MTBM$ e o tempo total de indisponibilidade do sistema (MDT), somando os atrasos por peças etc. É expressada conforme a Equação 2.4.

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (2.4)$$

2.3.3 Manutenibilidade

A manutenibilidade é uma métrica ligada característica do sistema, a qual atribui facilidade, precisão, segurança e economia nas atividades de manutenção do sistema.

Das três medidas de desempenho, a manutenibilidade é a mais difícil de se medir pois deve ser avaliada por intermédio de outras medidas. Ela está intimamente relacionada com soluções que privilegiem o processo de manutenção, introduzidas durante a fase de concepção e desenvolvimento do sistema. Ademais ainda acaba refletindo nas outras medidas pois a facilidade de manutenção reflete em períodos de indisponibilidade mais curtos, aumentando a disponibilidade como consequência.

A Equação 2.5 representa o tempo médio de manutenção (corretiva e preventiva) necessário para restaurar a capacidade de prontidão de um sistema (BLANCHARD; VERMA; PETERSON, 1995).

- $\bar{M}ct$: Tempo médio de manutenções corretivas;
- $\bar{M}pt$: Tempo médio de manutenções preventivas;
- fpt : Frequência de manutenções preventivas; e

- λ : Quantidade de falhas durante determinado período de operação do sistema.

$$\bar{M} = \frac{(\lambda)(\bar{M}ct) + (fpt)(\bar{M}pt)}{\lambda + fpt} \quad (2.5)$$

2.4 O Processo de Aquisição e Seleção de Sistemas Complexos de Defesa

Com o objetivo de nortear as ações das Forças Singulares no Brasil na direção dos seus objetivos estratégicos, o Ministério da Defesa estabelece por meio das documentações normativas desse órgão as capacidades que julga necessárias para alcançar tais objetivos (AMARANTE, 2012; BOHN, 2014; BRASIL, 2012).

Conforme abordado no Capítulo 1, os sistemas complexos de defesa possuem íntima relação com composição das capacidades (Fig. 2.7), sendo no contexto de sua formação um de seus integrantes. Sendo assim, os processos de obtenção de sistemas complexos de defesa ocupam um papel preponderante na geração e manutenção de capacidades (BRASIL, 2019).

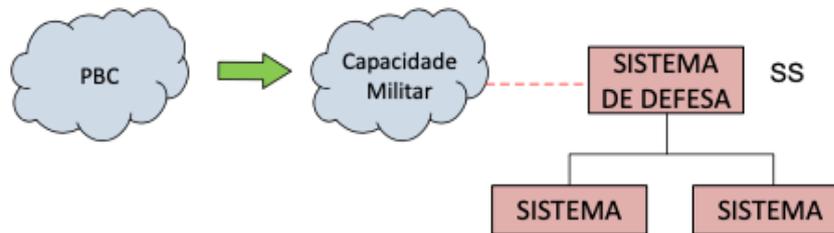


Figura 2.7 – Relação entre a Capacidade e os Sistemas de Defesa (BRASIL, 2019).

Em face disso, as nações investem consideráveis valores em suas Forças Armadas com a finalidade de garantir os seus níveis de prontidão e capacidade de resposta para a preservação da soberania e de seus interesses. É o que mostram as pesquisas realizadas pelo Instituto Internacional de Pesquisa para a Paz de Estocolmo (*Stockholm International Peace Research Institute – SIPRI*), em seu periódico anual onde são expostos os gastos dos países com defesa.

Os gastos globais com defesa somaram em 2019 valores em torno de US\$ 1,917 Trilhão, tendo como primeiro lugar os Estados Unidos da América (EUA) com US\$ 732 Bilhões, correspondendo a 38% dos gastos globais e seguido pela China, Índia, Rússia e Arábia Saudita.

O Brasil figura em 11º lugar global, como pode-se observar na Figura 2.8, e primeiro lugar na América do Sul com investimentos na ordem de US\$ 27,5 Bilhões, apresentando uma certa regularidade nesses gastos com tendência a aumento ao longo dos últimos 5 anos (DEFESANET.COM.BR, 2020; PERLO-FREEMAN *et al.*, 2013).

Posto isso, observa-se a grande relevância que o assunto figura em relação à defesa. Em face do envolvimento em aspectos complexos como questões políticas e estratégicas, Os processos de obtenção de sistemas de defesa acabam se tornando também complexos do ponto de vista de seu planejamento e execução (AMARO, 2012).

Cada nação possui seu processo de obtenção de sistemas complexos de defesa dentro de seu contexto. Em geral, existe uma convergência para o alinhamento de suas necessidades, capacidades e objetivos estratégicos com suas características administrativas e arcabouço legal (SCHIMIDT; ASSIS, 2013).

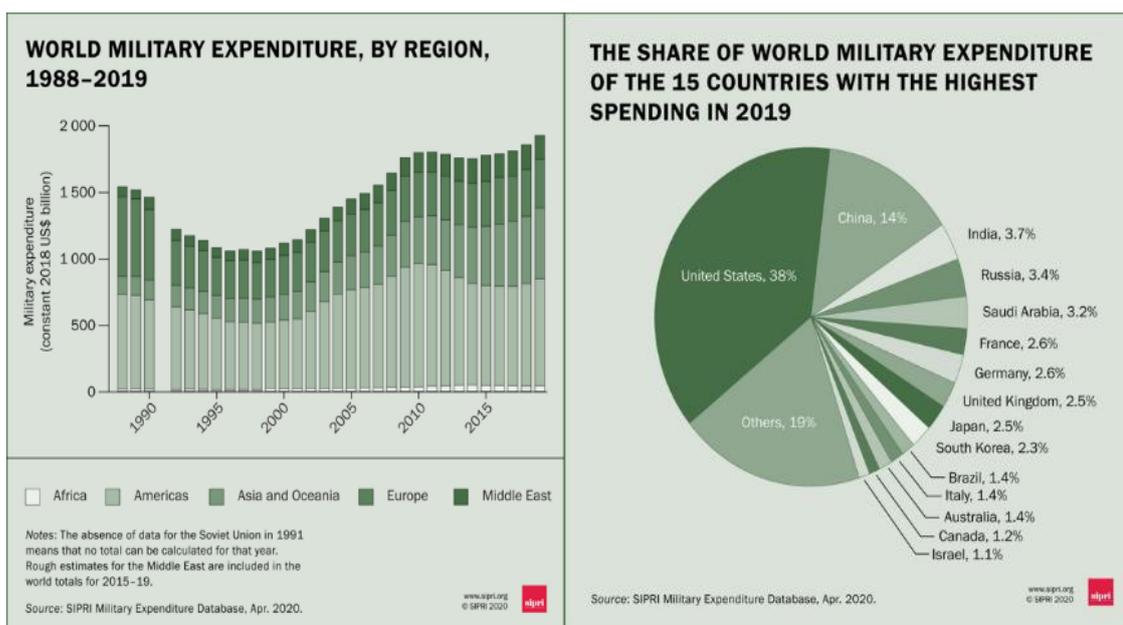


Figura 2.8 Gastos militares globais por ano e por países em 2019 (SIPRI, 2020).

A necessidade de se ter um processo específico para essa finalidade é devido as significativas características presentes nesses sistemas. Relembrando algumas peculiaridades já citadas no capítulo 1 e adicionando outras, destacam-se as seguintes particularidades tanto do sistema como do cenário de aquisições (AMARO, 2012; BRICK, 2016; SCHIMIDT; ASSIS, 2013):

- A pequena variedade tanto de fornecedores como de compradores, sendo em alguns casos o país no qual o fornecedor está estabelecido seu único cliente.

- A produção em geral ocorre somente por demanda, sendo elas pequenas e com baixa frequência. Não existe rotina e, como consequência não há ganhos de escala.
- Natureza intensiva em tecnologia envolvida. Elevando a complexidade tanto do manuseio como do suporte.
- Alto valor monetário agregado.
- Longo ciclo de vida.
- Podem existir políticas de sigilo com relação ao projeto, características, etc.
- Aplicação exclusiva à finalidade de defesa. (sendo essa última o desafio atual de valorizar a capacidade de emprego dual onde um produto pode ser usado completamente, ou em parte, em atividades civis).

Em face das peculiaridades dos sistemas em tela e de sua aplicação finalística, o processo também se torna mais rebuscado, se diferenciando em muito de compras tradicionais de produtos utilizados na rotina administrativa.

O *DoD* estabeleceu o que o processo de aquisições de defesa englobam um conjunto de atividades que incluem a conceituação, design, desenvolvimento, teste, contratação, produção, implantação, suporte integrado do produto, modificação e descarte de armas e outros sistemas afim de satisfazer as necessidades desse órgão (UNITED STATES, 2020).

2.4.1 Processo de Aquisição no Brasil

No Brasil, os processos de aquisição em geral realizados pela União são regidos pela Lei nº 8.666 de 1993. Nessa lei, são estabelecidos formalmente os ritos processuais, objetivos, definições e atividades para a licitações executadas por qualquer órgão no âmbito da esfera pública não importando a natureza ou porte, eliminando liberdades e flexibilidades nas compras, contratações ou qualquer atividade ligada a gastos de recursos públicos. Por esse motivo, essa Lei é amplamente considerada um arcabouço legal rigoroso para tais atividades.

Por definição, a licitação é o processo administrativo utilizado pelos órgãos da união como instrumento para analisar e avaliar comparativamente as ofertadas dos proponentes, com o objetivo de selecionar a opção mais vantajosa para a Administração Pública. Ainda visa propiciar isonomia entre os concorrentes, provendo igualdade em termos de oportunidades aos que desejarem ser fornecedores ou prestadores de serviço ao Poder Público.

O principal objetivo é garantir que a condução dos processos seja pautada na **Legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência** conforme preconiza o Art.37 da Constituição Federal Brasileira de 1988.

Entretanto, as especificidades dos sistemas de defesa e do contexto brasileiro trazem outras condicionantes para a construção desse cenário como citado por Brick *et al.*, (2018) a seguir:

- Restrições Orçamentárias que obrigam a uma melhor eficiência na alocação dos recursos financeiros disponíveis;
- Necessidade de adequação da Estrutura de Defesa à postura estratégica do país, definida pelo poder político;
- Inovação no campo das ciências da administração, resultando em maior eficácia e eficiência na gestão das empresas e órgãos públicos;
- Aceleração do desenvolvimento tecnológico, causando, por um lado, a obsolescência precoce de sistemas de defesa e, por outro lado, propiciando o aparecimento de tecnologias de defesa capazes de influir decisivamente em cenários de provável aplicação; e
- Aumento contínuo do custo dos sistemas de defesa.

Essas condicionantes delimitam o cenário de atuação dos Órgãos envolvidos na obtenção de sistemas complexos de defesa.

Embora a Lei 8.666 de 1993 possuir dispositivos legais que tratem das necessidades e peculiaridades de produtos e sistemas complexos de defesa, foi necessária a criação de uma Lei que possibilitasse um tratamento mais específico para tal assunto. A lei 12.598 de 2012 trouxe uma evolução para o processo de aquisição e desenvolvimento de produtos e sistemas de defesa, estabelecendo disposições específicas para o objeto em questão e, além disso, propiciou a adoção de um regime tributário especial para as empresas consideradas de interesse estratégico para a defesa.

A aquisição em si é executada no Brasil por meio do procedimento licitatório, ou mais comumente chamado de licitação. Esse procedimento é consagrado pelo inciso XXI do Art. 37 da CF/88. Esse dispositivo legal retira o caráter personalista dos processos de aquisição onde o agente da administração pública não possui a liberdade de contratar diretamente um fornecedor de sua livre escolha. Até mesmo os processos embasados em hipóteses de dispensa

e inexigibilidade previstas na Lei 8.666 de 1993, devem possuir em seu corpo um rol de argumentos que subsidiaram sua escolha.

A licitação tem a principal missão de garantir a busca e escolha da proposta mais vantajosa para a administração pública, estimulando a concorrência em condições isonômicas, desde que atendidos todos os requisitos estabelecidos em um instrumento (documento) formal e de caráter convocatório que, via de regra é intitulado como **edital**.

O edital acaba reunindo todo o compêndio de objetivos, regras e todo o rito processual que ditará os próximos passos do processo licitatório. Em resumo, a vinculação ao edital que, em seu bojo, expressa lei interna do processo licitatório, destaca a relevância e o alcance desse instrumento para todo o processo de aquisição.

Os processos licitatórios podem ser do tipo “menor preço”, “melhor técnica”, “técnica e preço”, “maior lance” e “maior oferta”. Para aquisições de defesa cabem os três primeiros. A escolha vai depender do tipo de enfoque na aquisição.

Além disso, quanto a modalidade, as licitações podem se dar por meio de “concorrência”, “tomada de preços”, “convite”, “concurso”, “leilão” e “pregão”. Em face do valor envolvido, da amplitude e do caráter rigoroso que seus procedimentos demandam, a concorrência é a modalidade mais comum para os processos de aquisição de defesa.

Considerando que o presente trabalho está limitado ao apoio à decisão, oferecendo um tratamento sistemático dos dados presentes no processo, sob a ótica da suportabilidade, não será dada maior atenção ao processo licitatório em si.

Voltando a atenção ao processo de aquisições de sistemas de defesa, observa-se que ele se inicia por meio da identificação de uma necessidade ou óbice detectado pelos estudos no nível estratégico das forças singulares e do Ministério da Defesa. Cada Ente possui um processo para identificação dessas necessidades. A FAB adota a nomenclatura de “necessidade operacional” para a motivação do processo de aquisição. O Ministério da Defesa (MD), órgão que congrega as três Forças Singulares Brasileiras (Marinha do Brasil, Exército Brasileiro e Força Aérea Brasileira) está implantando a metodologia do Planejamento Baseado em Capacidades (PBC) no qual existe a identificação de uma capacidade necessária para o cumprimento das missões previstas para as Forças Singulares utilizando análises comparativas baseadas em cenários de emprego e processos quantitativos e qualitativos para avaliação de capacidades existentes (LESSA, 2006).

Em face da identificação das demandas por capacidades, é iniciado o processo para aquisição das mesmas, sendo um dos caminhos a aquisição de sistemas caso seja necessário. A figura 2.7, retirada do manual de boas práticas para gestão do ciclo de vida de sistemas de defesa - MD40-M-01, traduz essa relação entre capacidades e sistemas.

A literatura aponta que o processo de aquisição de sistemas complexos de defesa, em comparação ao ciclo de vida desses sistemas (utilizando o ciclo de vida definido pelo guia SX000i), se inicia na fase de preparação, com a definição de todo arcabouço de requisitos que vão delinear o que se espera do sistema a ser obtido. Caso seja decidido a aquisição com o desenvolvimento do sistema, também percorre a fase de desenvolvimento e produção com uma detalhada carga de subfases e marcos contratuais. O alvo do presente trabalho é a aquisição de sistemas disponíveis no mercado como já delimitado no Capítulo 1. Nesse caso não existe participação no desenvolvimento do sistema, no máximo é possível acompanhar a fabricação do mesmo. Esse ciclo se encerra no início da fase de serviço com uma série de compromissos contratuais como a validação de requisitos, testes de aceitação em campo, etc. A Figura 2.9 oferece um comparativo entre os ciclos de aquisição e vida do sistema.

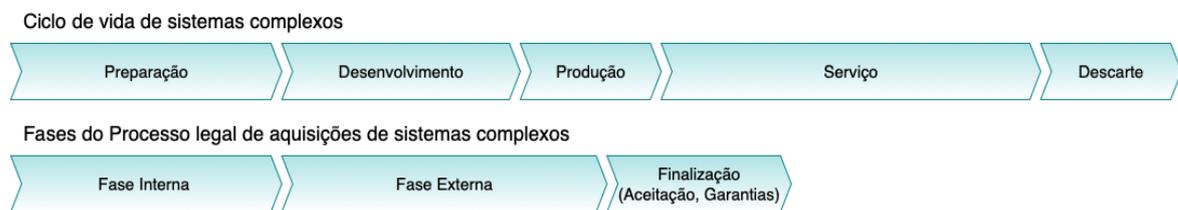


Figura 2.9 – Comparativo entre os ciclos de vida do sistema e de aquisições.

O ciclo de aquisição é dividido em três fases. A fase inicial é nominada como **interna** e nela são conduzidos os estudos preliminares de formulação do desenho do sistema sob o ponto de vista da expectativa dos principais interessados (*stakeholders*). As atividades envolvidas nessa fase estão descritos na Figura 2.10. Nessa fase, os detalhamentos sobre os sistemas são aprofundados e se delinham todas as funções esperadas. Essas atividades são muito bem descritas em guias como a compilação das melhores práticas oferecida pelo Conselho Internacional para Engenharia de Sistemas (*International Council on Systems Engineering – INCOSE*) chamado SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK. Com a arquitetura delineada, inicia-se uma etapa de busca de soluções desde tecnologias disponíveis até sistemas já desenvolvidos, com a intenção de delinear os próximos passos.

Uma ferramenta muito usual é a pesquisa de mercado por meio de consultas e pedidos de informações, conhecidos nesse universo também pela sigla RFI (do inglês *Request For*

Information). São expedidos documentos com a intensão não só de coletar informações sobre as ofertas disponíveis no mercado em termos de equipamentos como também identificar possíveis fornecedores interessados em oferecer produtos.

O RFI também pode funcionar como um meio de identificar os possíveis fornecedores que serão capazes de fornecer o sistema em questão. Como o mercado de defesa é reduzido por característica, a identificação dos principais possíveis fornecedores é facilitada. Entretanto aspectos políticos, estratégicos e de mercado podem influenciar nesse rol de fornecedores. Diante disso, é possível estreitar o número de candidatos para uma lista mais selecionada, a qual é comumente apelidada de *Short-List* no mercado.

Das análises após todos os dados coletados, são geradas informações de suporte a decisão como estudos de viabilidade entre aquisição com desenvolvimento ou disponíveis no mercado, disponibilidade de sistemas que atendam a capacidade demanda, limitadores ou “batentes” em termos de tecnologia, dentre outras saídas. Tudo isso será insumo para a decisão de como conduzir o processo de aquisição desse ponto em diante. Como o foco do presente trabalho é a aquisição de sistemas já desenvolvidos, do tipo COTS, considerar-se-á o fluxo de atividades para esse tipo de sistema.

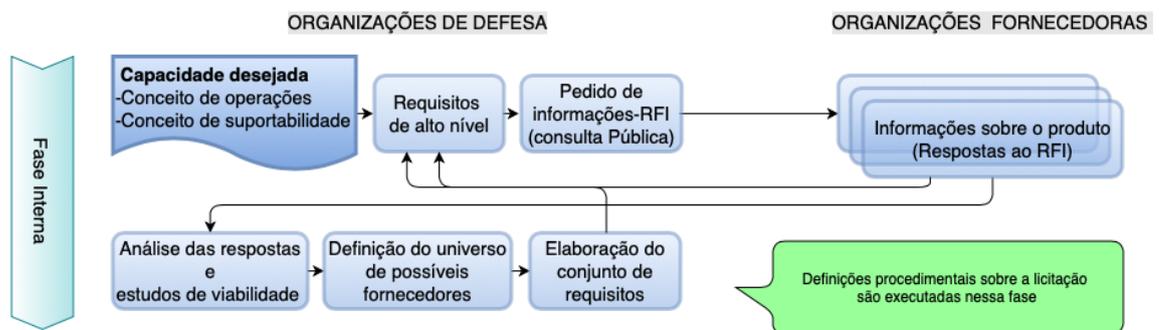


Figura 2.10 – Fase interna da aquisição (Adaptado de VIEIRA; ÁLVARES, 2017).

Na literatura, o processo de traduzir e compilar o conjunto de necessidades, expectativas e restrições relativas a um sistema para a linguagem de requisitos é nominada como **elicitação de requisitos** (ALEXANDER; BEUS-DUKIC, 2009). Sendo assim, ao final da elicitação dos requisitos do sistema, é possível inferir que se tem um conjunto de características definidas por meio de atributos e propriedades claras, objetivas e de fácil entendimento comum. Importante ressaltar a necessidade de um trabalho interdisciplinar com a participação dos especialistas nas áreas de conhecimento relevantes nessa fase, com destaque para a engenharia e a administração pública com domínio sobre a área de licitações e

contratos. A partir desse momento, é possível iniciar a elaboração do principal documento referente ao processo de aquisição, o edital da licitação.

Como já recentemente descrito, o edital representa a lei do processo licitatório. Concentra em si o objeto (no caso desse trabalho refere-se à aquisição de um sistema) com sua descrição pormenorizada, as regras tanto processuais como de análise e classificação (peso de cada quesito ou conjunto de quesitos), todos os passos, limites e permissões durante o certame.

Assim a fase externa é iniciada com a divulgação do edital em caráter amplo e irrestrito atendendo ao princípio da publicidade e transparência dos processos públicos. Cabe destacar que essa fase é a mais sensível tendo em vista a responsabilidade jurídica por parte dos representantes da Administração Pública em face do envolvimento de tratativas e negociações com entes externos à união. Todas as ações devem ser pautadas nos princípios da Administração Pública já citados anteriormente.

O edital também funciona como um instrumento de uso corrente no mercado denominado Pedido de Oferta ou conhecido pela sigla RFP (*do inglês Request For Proposal*).

A partir da emissão do edital para possíveis participantes do certame e ampla divulgação pública, é feita a habilitação dos participantes, conferindo se os interessados atendem aos quesitos estabelecidos em edital e na legislação.

A resposta dos fornecedores concorrentes se dá, em geral, por meio de uma Proposta comercial. Em princípio, essas propostas contém todas as informações sobre o sistema ofertado conforme o solicitado em edital.

Entretanto, podem ocorrer falhas de entendimento no tocante a detalhes, principalmente sobre subsistemas periféricos e aspectos relevantes para operação como, por exemplo, os aspectos relativos a suportabilidade do sistema. Devido a amplitude e complexidade que se envolve um sistema complexo de defesa, nessa fase são iniciadas as análises e, em paralelo, um ciclo de questionamentos, detalhamentos e clarificações de ambas as partes. O objetivo são essas atividades que deixam tanto a intenção do comprador como a do ofertante, muito claras. Além disso, atendendo ao princípio da transparência, todas as dúvidas respondidas a um dos concorrentes são disponibilizadas a todos os outros.

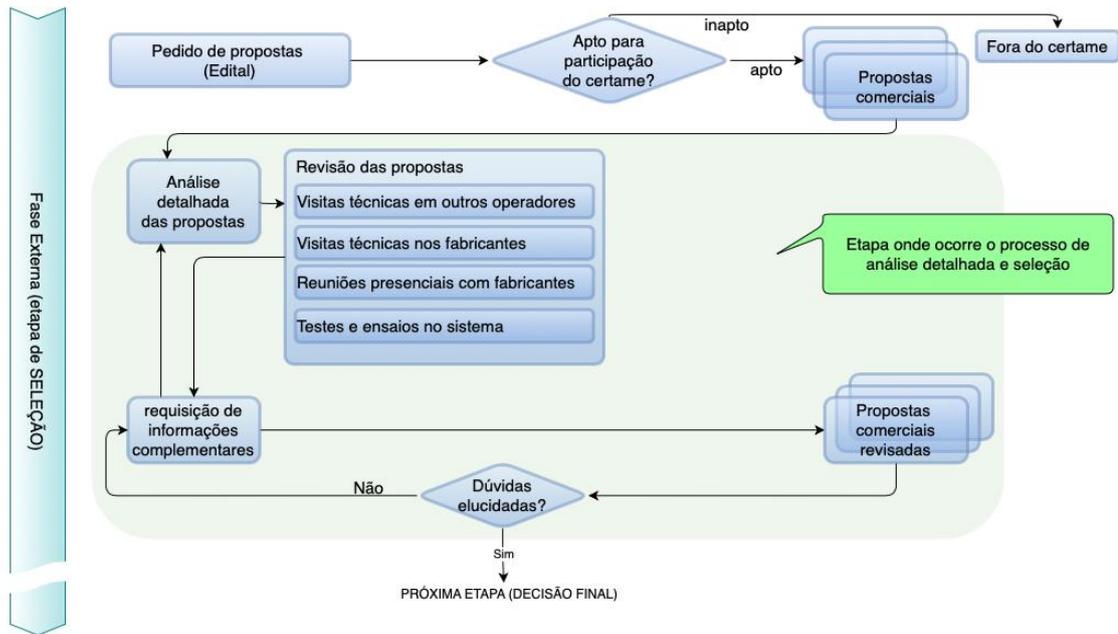


Figura 2.11 – Fase externa com destaque para a etapa de seleção (Adaptado de VIEIRA; ÁLVARES, 2017).

Também pode ser facultada aos concorrentes a visita aos locais onde o sistema vai operar com objetivo de lapidar as suas propostas, oferecendo uma solução alinhada com as necessidades do comprador. Em termos logísticos essa prática é muito atraente tendo em vista a íntima relação de toda modelagem da suportabilidade relacionada ao perfil de operação do sistema no contexto do operador e não da concepção do sistema pelo fabricante.

A etapa de seleção é tão importante quanto a formulação do edital, pois ela concentra os seguintes aspectos:

- O entendimento profundo de cada sistema ofertado em sua amplitude, confrontando as possibilidades e limitações de cada um com as necessidades da organização.
- A identificação de algum óbice ou vício no processo que possa incorrer na aquisição de um sistema que não atenda as necessidades primárias identificadas no início do processo ou, até mesmo, gerar implicações jurídicas para os responsáveis pela condução do certame.
- A classificação das propostas dentro dos critérios especificados em edital e baseados nas rodadas de análise e retirada de dúvidas.

Para tal, é importante que os responsáveis por essa etapa lancem mão de todos os recursos necessários para clarificar da melhor forma todas as nuances presentes nessa etapa. Existem diversas formas de se explorar essa fase, dentre elas se destacam:

- Reuniões presenciais com o fabricante.
- Visitas técnicas.
- Visitas a outros operadores do sistema.
- Avaliações em campo com o sistema.
- Simulações.

Ao final da etapa de seleção, existe um certo diálogo com os concorrentes de forma que ocorra um refinamento das propostas. Esse refinamento vai até a atividade denominada na Figura 2.12 como informações finais, onde foram esgotadas todas as dúvidas e os concorrentes tem a oportunidade final de preparar suas ofertas para a próxima atividade que já faz parte da etapa de decisão.

Essa etapa integra todas as análises parciais realizadas pelas equipes responsáveis por cada área. Como se trata de uma decisão onde existem diversos objetivos a serem atendidos como a dimensão operacional, logística, técnica, industrial, dentre outros, todos os resultados serão integrados para que ocorra uma decisão final sobre o sistema selecionado.

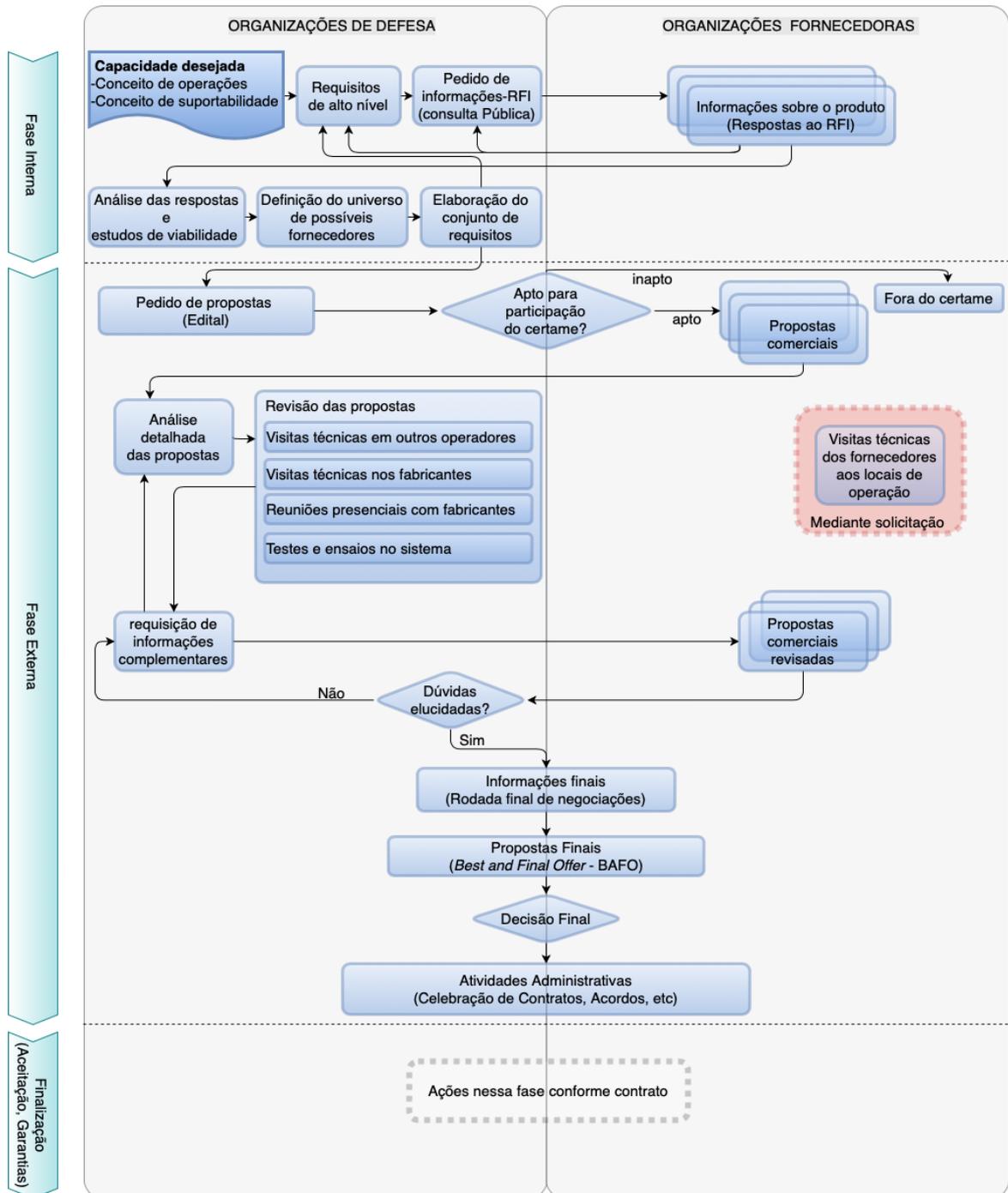


Figura 2.12 – Visão de um processo de aquisição (Adaptado de VIEIRA; ÁLVARES, 2017).

2.5 Os Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD)

A presença de múltiplos critérios e alternativas no processo decisório de uma aquisição de sistemas complexos requer a utilização de métodos que tratem especificamente dessa condição peculiar. Para isso será apresentado nessa revisão um breve apanhado sobre a finalidade do AMD.

Métodos de Apoio multicritério à decisão são definidos como um apanhado de métodos e técnicas que tem a finalidade de auxiliar pessoas e/ou organizações no decorrer de um processo decisório, onde existem uma diversidade de critérios podendo ser até mesmo conflitantes entre si (NASCIMENTO, 2010).

Essas metodologias surgiram na década de 70 e são um ramo do campo da Pesquisa Operacional. O surgimento dessa área de pesquisa trouxe grandes avanços aos processos de tomada de decisão (NASCIMENTO, 2012).

A necessidade de se aplicar AMD vem das características de alguns cenários de decisão. Quando se toma uma decisão baseada em um único critério de comparação, a complexidade se encontra somente em avaliar cada alternativa sob a ótica de um único ponto de comparação. Ao se aliar mais critérios, muitas das vezes divergentes entre si, o processo de construção da decisão já se torna mais desafiador. A complexidade de combinar todos os critérios e as alternativas mostrou que a decisão muitas vezes não pode ser considerada um processo mecânico (SAATY, 2008).

Nesse contexto, a utilização de modelos, conceitos e sistemáticas para auxiliar na construção da decisão trouxe maior robustez e transparência a todo o processo.

Pode-se destacar alguns aspectos relevantes na utilização dessas metodologias como:

- A possibilidade de diálogo com todos os envolvidos no processo;
- A possibilidade de se trabalhar com aspectos subjetivos e incertezas; e
- Busca por uma solução que atenda a todos os pontos de vista dentro dos critérios e pesos elicitados durante o processo.

Importante ressaltar que o AMD não vai dar por si só uma resposta correta. Ele vai fornecer uma resposta coerente com o processo de atribuição de pesos e comparações conduzido pelo facilitador junto aos tomadores de decisão.

Dos diversos AMD apresentados pela literatura, no presente trabalho utilizar-se-á o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) tendo em vista dois motivos. O primeiro é que não é o foco desse trabalho avaliar qual é o método mais adequado para a classificação e decisão multicritério. O segundo é que a literatura reconhece o AHP como um AMD adequado para essa aplicação (FERREIRA, 2011; NASCIMENTO, 2010)

2.5.1 O Analytic Hierarchy Process – AHP

O Método AHP é um dos mais difundidos para aplicação em processos de solução de problemas que envolvem decisões multicritério. Ele foi idealizado por Thomas L. Saaty com a proposta de prover uma estrutura para modelagem de problemas não estruturados (SAATY, 2008).

O AHP está estruturado sob a premissa de que comparações par a par são mais fáceis de serem conduzidas pelo ser humano ao invés de comparações lineares envolvendo todos os critérios simultaneamente. Esse sequenciamento de comparações par a par, utilizando uma escala intuitiva de importância, facilita a condução do processo a partir do momento que decompõe as comparações em partes menores, facilitando assim a construção do problema de decisão. A comparação par a par sob uma escala numérica também permite que seja atribuída importância com uma valoração tangível a elementos intangíveis ou subjetivos. Isso permite a inclusão de elementos não tão facilmente quantificáveis (SAATY, 2008).

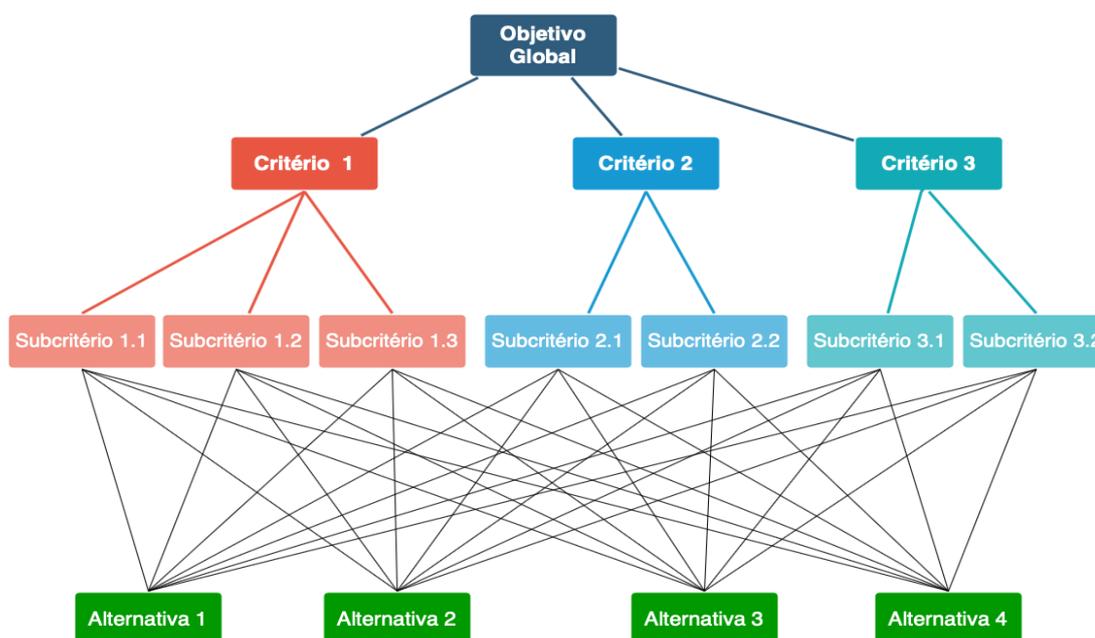


Figura 2.13 – Estrutura hierárquica do AHP (Adaptado de SAATY, 2008).

O AHP é organizado em uma estrutura similar a uma árvore onde se divide em níveis hierárquicos. Isso facilita a compreensão conferindo visualmente uma clareza ao método. No topo se encontra o objetivo global, foco da decisão. A partir desse ponto inicial, ocorre a primeira divisão em um nível abaixo onde são colocados os múltiplos critérios. Esses critérios podem se ramificar em subcritérios e assim sucessivamente como pode-se observar na Figura 2.2. No nível mais baixo, encontram-se as alternativas de decisão. Pode-se observar na figura

É importante ressaltar a relação de comparação na matriz onde o valor atribuído a A_{ij} é o inverso de A_{ji} , obedecendo a uma lógica matemática do processo de comparação par a par.

Os valores atribuídos nas comparações são extraídos da escala fundamental de Saaty conforme pode-se observar na Tabela 2.3.

As matrizes de comparação serão formadas pelos critérios à luz do objetivo global e, caso algum critério possua subcritérios, será realizada uma matriz dos seus subcritérios a luz do critério que os enquadra.

No caso das alternativas, será montada a matriz de comparação entre as alternativas a luz de cada critério ou os seus subcritérios (caso possua). As alternativas serão comparadas entre si, par a par, dentro de cada critério para que se possa formular uma comparação detalhada e específica.

Ao final, de posse dos pesos de cada critério/subcritério e das alternativas a luz dos critérios no contexto global do problema de decisão, é possível construir uma matriz onde serão condensadas as prioridades de cada critério e das alternativas em uma única matriz que fornecerá o vetor prioridade das alternativas à luz dos critérios, obtendo assim a ordenação da prioridade das alternativas.

Tabela 2.3 – Escala fundamental do AHP (Adaptado de SAATY, 2008).

Grau de importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Ambas as atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Pequena importância de uma sobre a outra	Uma atividade contribui ligeiramente mais que a outra para alcançar o objetivo.
5	Importância forte ou essencial	Uma atividade é julgada fortemente favorável ao objetivo em relação à outra.
7	Importância demonstrada	Forte dominância de uma atividade em relação à outra demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	O favorecimento de uma atividade frente a outra é a mais alta possível.
2, 4, 6, 8	Valores de compromisso	Necessidade de expressar valores intermediários entre duas intensidades pré-definidas.

Durante a operação matricial, devem ser realizadas as normalizações de forma que as prioridades permaneçam com a soma igual a 1 para se preservar a característica da soma de todas as prioridades locais ser igual a 100% (ou 1).

Se a matriz obedecer ao princípio da reciprocidade (sendo $A_{ij} = 1/A_{ji}$), pode-se considerar que a matriz é consistente. Entretanto, a extensão das comparações par a par e as possibilidades de falhas por parte do decisor, que fornece as notas atribuídas aos elementos comparados, traz a necessidade de se avaliar a consistência dessas matrizes de comparação.

Para uma matriz quadrada de ordem n , onde “ n ” é o número de elementos a serem comparados, o valor que apontará se a matriz está totalmente consistente é se $\lambda_{max} = n$. No caso de n ser maior que λ_{max} , a diferença entre eles demonstrará o grau de inconsistência da matriz.

O cálculo da inconsistência se inicia com a obtenção do λ_{max} que é o maior autovalor da matriz de julgamentos. Esse procedimento é executado para cada matriz de julgamento. O valor de λ_{max} se dá pelo somatório do produto de cada total da coluna j da matriz de julgamentos original por cada elemento na posição j do vetor de prioridade, considerando j a coluna da matriz de julgamento variando de 1 até n . Esse cálculo é representado pela Equação 2.7 (RIBEIRO; ALVES, 2016):

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n T_j \times P_j \quad (2.7)$$

Onde T_j é o somatório da coluna j da matriz e P_j é a prioridade calculada para o critério localizado na linha j .

De posse de λ_{max} é possível passar ao próximo passo e calcular o índice de consistência (IC) da matriz dado pela Equação 2.8:

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (2.8)$$

Com o valor do IC, utilizasse o índice randômico (Tabela 2.4) fornecido por Saaty (2008) e desenvolvido no laboratório Oak Ridge, na Equação 2.9 para se obter a razão de consistência, valor que definirá se o nível de inconsistência nos julgamentos é aceitável ou não (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009):

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2.9)$$

O resultado aceitável para o valor da razão de consistência segundo Saaty (2008) deve estar abaixo de 0,10 (ou 10%). Em casos de extensas comparações par a par, inconsistências entre comparações podem ocorrer e esse valor resguarda o facilitador quanto a validade do resultado obtido.

Caso o valor fique acima de 0,10, será necessário reavaliar as comparações par a par e ajustar os resultados para obter a coerência nas comparações (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009).

Tabela 2.4 – Índice Randômico para cálculo de inconsistência (SAATY, 2008).

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>IR</i>	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

2.6 O Conceito do Gêmeo Digital

As publicações acadêmicas acerca do conceito de Gêmeos digitais tem apresentado expressivo crescimento nos últimos anos evidenciando a relevância do assunto (JONES *et al.*, 2020; QI *et al.*, 2019).

O conceito se baseia na relação entre um ente físico (real) e um ente virtual que é a representação total ou parcial desse ente físico. Essa arquitetura é o motivador da designação de gêmeos, tendo alguns autores se referindo ao ente virtual como “espelho” do ente real (QI *et al.*, 2019).

A ligação entre eles se dá por meio da troca de dados e informações, onde o ente real alimenta o ente virtual com esses dados que podem ser relativas ao seu desempenho, condição, comportamento, dentre outras (KRITZINGER *et al.*, 2018). Essa transferência de dados se tornou mais factível e profunda a medida que os sistemas puderam ser abastecidos com sensores que possibilitaram a captação e transmissão de tais dados. O ente virtual recebe os dados e simula o comportamento do ente real ao nível de realismo que os dados fornecidos permitam.

A partir desse ponto, já é possível uma série de análises e interpretações dos resultados obtidos no ambiente virtual. A modelagem do comportamento do ente real no ambiente virtual possibilita a projeção das condições, permitindo até mesmo o cruzamento com dados

já disponíveis de desempenho, como durabilidade e resistência a fadiga de componentes embarcados. Assim a análise pode gerar informações relevantes para apoiar decisões sobre o sistema. Algumas dessas decisões podem ser transmitidas rapidamente ao ente real, modificando até mesmo o seu perfil de operação em uma diminuta fração de tempo contida entre o fornecimento do dado e a informação modificadora do comportamento. Essas informações podem ser desde novas configurações até dados mais críticos de operação. A Figura 2.13 exemplifica essa relação entre o ente real e o virtual (TAO *et al.*, 2019; WERNER; ZIMMERMANN; LENTES, 2019).



Figura 2.14 – Representação do Gêmeo Digital (Adaptado de TAO *et al.*, 2019).

Essa estratégia gera um sem numero de aplicações como a projeção de cenários de sistemas complexos como veículos, linhas de produção, sistemas de controle de tráfego, dentre outros, e tem provocado uma revolução atualmente na indústria se somando ao advento da indústria 4.0 (QI *et al.*, 2019; TAO *et al.*, 2019).

A indústria 4.0 tem como característica a inserção de sistemas e ferramentas que possuem uma certa inteligência embarcada. Muito dedicada ao aprendizado de máquina, essa inteligência utiliza diversos sensores que fornecem todas as informações necessárias a adaptação de seu funcionamento individualmente ou dentro de um contexto maior, como uma

linha de produção por exemplo. Essa diversidade de sensores abriu a porta para o desenvolvimento do conceito de Gêmeos Digitais.

Para reforçar toda a potencialidade desse conceito relativamente novo no campo da simulação, os Gêmeos Digitais foram considerados em 2019 uma das maiores tendências em tecnologias estratégicas (JONES *et al.*, 2020).

2.6.1 Histórico

A primeira referência sobre o conceito de Gêmeos Digitais remete a 2003. Ela é atribuída a Michel Grieves por meio de um trabalho desenvolvido com John Vickers pertencente a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). No trabalho apresentado por Grieves sobre gestão do ciclo de vida de sistemas, foi explorado o conceito de que um modelo virtual de um produto real forneceria os alicerces para o gerenciamento do seu ciclo de vida, apesar de descrever também as dificuldades relativas a aquisição de dados e a virtualização de um modelo com os meios disponíveis naquela época (JONES *et al.*, 2020; QI *et al.*, 2019). Essa lacuna destacada por Grieves facilita o entendimento do crescimento das pesquisas sobre Gêmeos Digitais como o advento da indústria 4.0.

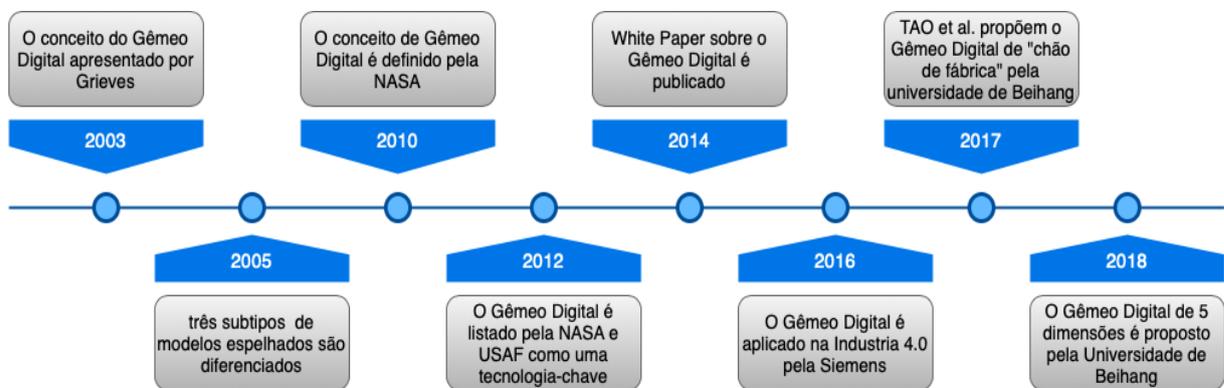


Figura 2.15 – Evolução do conceito de Gêmeos Digitais (Adaptado de QI *et al.*, 2019).

A Figura 2.14 apresenta a linha do tempo do conceito dos Gêmeos Digitais, desde a primeira referência feita por Grieves até a proposta de implementação na indústria 4.0 e posterior proposição do Gêmeo Digital de 5 dimensões. É interessante ressaltar que o crescimento mais expressivo do conceito se deu a partir de 2010, corroborando com QI *et al.*, (2019) sobre o crescimento exponencial das pesquisas nos dias atuais.

2.6.2 Características

As principais características de Gêmeos Digitais estão listadas no Artigo acadêmico de Jones *et al.*, (2020), onde os autores apresentam uma revisão sistemática da literatura sobre esse conceito. São elas:

- A existência de um ente físico (real) e um ente virtual que é seu espelho completamente ou em parte;
- A troca de dados para que o ente virtual possa reproduzir o comportamento do ente físico;
- A interação entre os gêmeos por meio do fornecimento de informações do modelo virtual para o modelo físico
- O tratamento e interpretação dos dados gerando aprendizado e podendo provocar ações (decisões) que podem ser transmitidas ao ente físico.

2.6.3 Aplicações

O conceito de Gêmeo Digital tem se difundido para diversas áreas. Áreas como a indústria tem aproveitado os Gêmeos Digitais em fábricas, principalmente em suas linhas de produção, para gerar diagnósticos relativos a operação e prognósticos como análises de tendências e simulações de comportamento para aumento de escala da produção, mudanças no tipo de produto manufaturado, dentre outras possibilidades (MA *et al.*, 2019; UHLEMANN; LEHMANN; STEINHILPER, 2017; WANG, 2020).

As principais Aplicações de Gêmeos digitais estão relacionadas a monitoramento, diagnósticos, prognósticos otimização. Além disso, ele pode ser associado a ferramentas de aprendizado de máquina que ampliam essas capacidades já nominadas (QI *et al.*, 2019).

Até mesmo a medicina já encontrou aplicações para os Gêmeos Digitais com a aplicação para tratamento de imensa quantidade de dados. A virtualização de populações fazendo o papel do “ente digital” possibilita a condução de análises mais robustas com relação a saúde pública, evolução de doenças, etc (BRUYNSEELS; DE SIO; VAN DEN HOVEN, 2018).

Como a principal característica de um gêmeo digital é o profundo relacionamento com o seu ente físico ao ponto de se gerar “espelhos” virtualizados do ente real que reproduzem com fidelidade o seu comportamento, a aplicações dessa tecnologia podem se expandir para

as mais inusitadas áreas. Onde existe a necessidade de se modelar no menor prazo de tempo possível com a finalidade de se tomar decisões e os erros podem gerar grandes prejuízos, existe espaço para aplicação do conceito de Gêmeos Digitais.

No caso específico das aquisições de sistemas complexos de defesa, a necessidade de se entender profundamente o desempenho e as características de cada sistema concorrente, analisando qual se adequa melhor as necessidades elencadas durante as atividades da fase interna da aquisição, agrega complexidade e trás elevada carga de trabalho. Ainda deve ser considerado o risco de se passar algo despercebido em face de múltiplos aspectos (suas interfaces e interações) a serem analisados.

Além disso, como citado na introdução, ainda existe a questão dos aspectos relativos a suportabilidade serem comumente relegados a segundo plano, permitindo a aquisição de sistemas sem a devida análise em profundidade das características logísticas do sistema e sua adequação a realidade (e possibilidades) da organização. Em especial, a suportabilidade agrega complexidades como a interação com outros entes como fornecedores, mantenedores e outros prestadores de serviço/fornecedores, que possuem também diversos aspectos que influenciam sua operação. A combinação de tais elementos ilustra o nível de profundidade que a análise sob a ótica da suportabilidade deve mergulhar.

O conceito de Gêmeos Digitais trás a ideia da capacidade de modelar em um ambiente virtual o desempenho de um sistema considerando o seu ambiente de operação focado no resultado final, ou seja, o comportamento do sistema. Se essa percepção se transportar para o campo da suportabilidade de sistemas complexos, é possível observar um sistema não só pelas suas características como é tradicional em uma aquisição onde o proponente fornece as especificações de seu sistema, mas também sob o seu desempenho em um cenário.

A simulação ou os testes operacionais podem ser considerados até comuns, inclusive para sistemas mais simples como a aquisição de um veículo onde se faz um “*TestDrive*”. Contudo, a simulação de uma rede logística “operando” em função da suportabilidade de uma frota é algo muito complexo de enxergar e, por consequência, se avaliar.

A possibilidade de modelar cenários de acordo com o emprego do sistema trás outra dimensão a análise e seleção de sistemas durante o processo de aquisição, bem como provoca um profundo entendimento da organização e da finalidade de aplicação do sistema em si, pavimentando as ações subsequentes no tocante a implantação do novo sistema e na sua gestão ao longo do ciclo de vida. Além disso, a questão do aprendizado de máquina presente

em Gêmeos Digitais também facilita o aperfeiçoamento do processo de aquisições onde é possível a interação de espelhos virtuais de sistemas em operação e sistemas ainda virtuais espelhando as necessidades levantadas nas fases iniciais de uma aquisição.

Assim, observa-se a possibilidade de utilização do conceito de Gêmeos Digitais em processos de aquisições de defesa.

2.7 Considerações Finais do Capítulo

Nesse Capítulo foram explorados os assuntos relevantes para construção desse trabalho de pesquisa, tratando com a profundidade necessária para a compreensão do contexto, do problema de pesquisa e da hipótese sugerida.

Desse modo, a temática sobre sistemas complexos foi trabalhada por meio da apresentação das abordagens presentes na literatura acadêmica sobre o seu ciclo de vida com destaque para a suportabilidade e os custos do sistema em seu ciclo de vida.

A suportabilidade recebeu especial atenção, percorrendo sua influência no ciclo de vida, as principais abordagens acadêmicas, seus principais indicadores de desempenho e seus efeitos em um sistema complexo.

Ampliando a visão geral do contexto, discutiu-se sobre o processo de aquisição de um sistema complexo de defesa, considerando suas modalidades, principais protagonistas no cenário de defesa e suas práticas, finalizando com os desafios da aplicação dos conceitos de suportabilidade em um processo de aquisição desse tipo.

Finalmente, é apresentado o conceito dos gêmeos digitais, destacando suas características, aplicações atuais e possibilidades futuras.

Encerrando, é possível ter uma visão mais clara das questões relativas ao papel da suportabilidade em um sistema complexo, seu impacto para o desempenho como para o custo do ciclo de vida e as dificuldades de sua abordagem em processos de aquisição de defesa.

3 Metodologia

Com a finalização dos Capítulos 1 e 2, inicia-se a parte onde são abordados os procedimentos metodológicos referentes ao presente trabalho de pesquisa.

Nesse Capítulo será apresentada a estratégia desenhada para lidar com o problema de pesquisa e a elaboração da solução apontada no objetivo geral desse trabalho apresentado no Capítulo 1.

3.1 Classificação da Pesquisa

A presente pesquisa se ampara nas formas clássicas de classificação e metodologias de pesquisa científicas, utilizando como base a abordagem de Silva e Menezes (2005) para condução desse trabalho.

De acordo apresentado por Silva e Menezes (2005) essa pesquisa pode ser classificada quanto a sua natureza, pela forma como aborda a problemática a ser tratado e ainda, segundo Gil (2002), em face de seus objetivos e procedimentos técnicos adotados.

Quanto à natureza, pode-se considerar que é uma pesquisa aplicada tendo em vista que seu objetivo geral está apontando para uma aplicação prática, visando a solução de problemas reais no contexto do processo de aquisições de defesa (SILVA; MENEZES, 2005).

Em relação aos objetivos, pode-se afirmar que trata-se de uma pesquisa exploratória pois buscar subsídios para construção do arcabouço de conhecimento por meio da pesquisa bibliográfica, nas áreas correlatas a temática da pesquisa, e a colaboração de especialistas no tema como os integrantes do Laboratório de Engenharia logística (AeroLogLAB) do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), com a finalidade de aumentar a familiaridade com o assunto e a clareza sobre o problema de pesquisa (GIL, 2002).

Sob a ótica da abordagem do problema, embora apresente cálculos e tratamento de dados, essa é uma pesquisa qualitativa pois o foco está na interpretação subjetiva dos dados (SILVA; MENEZES, 2005) (MIGUEL *et al.*, 2018).

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos utilizados no decorrer da pesquisa, estão presentes a pesquisa bibliográfica e a pesquisa documental.

Tabela 3.1 – Classificação da pesquisa acadêmica.

Natureza	Objetivos	Abordagem do Problema	Procedimentos Técnicos
Básica Aplicada	Exploratória Descritiva Explicativa	Quantitativa Qualitativa Combinada	Pesquisa Bibliográfica Pesquisa Documental Pesquisa Experimental Levantamento (Survey) Modelagem e simulação Estudo de caso Pesquisa Expost-Facto Pesquisa-Ação Pesquisa Participante

A pesquisa bibliográfica é caracterizada pelo levantamento bibliográfico citado anteriormente. Já a pesquisa documental se torna evidente, tendo em vista que foram utilizados uma série de documentos oriundos dos órgãos de defesa do Brasil e do exterior (manuais, relatórios e documentos), da administração pública (leis, decretos, normas, etc) de entidades de formação e pesquisa.

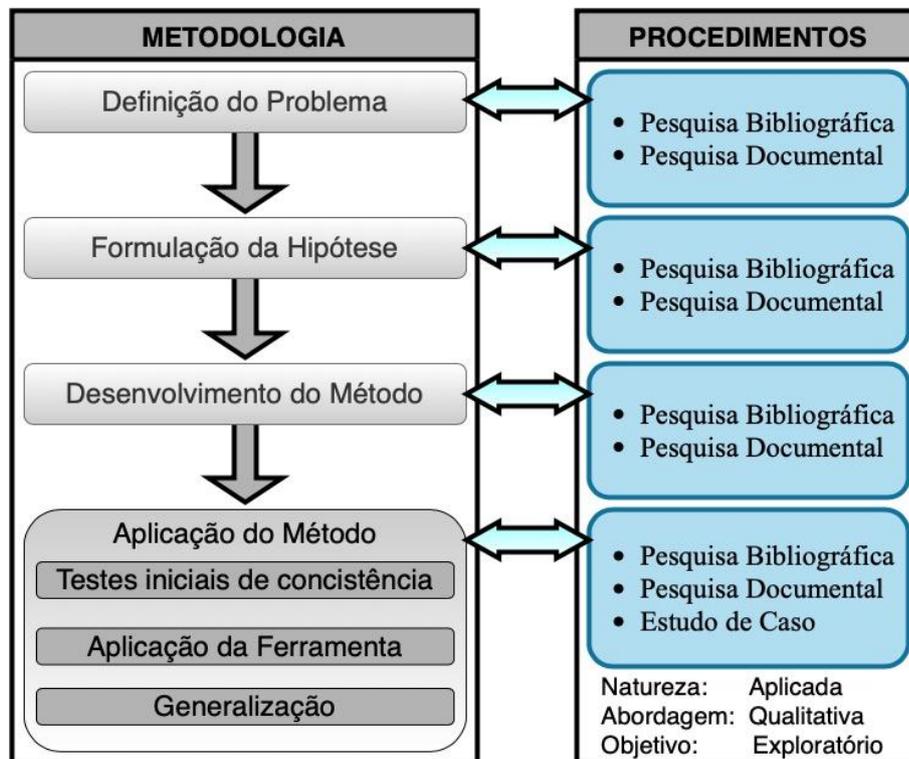


Figura 3.1 – Procedimentos associados aos passos da metodologia.

3.2 A Metodologia

A metodologia apresentada a seguir descreve os passos dados para conseguir alcançar os objetivos traçados no Capítulo 1, partindo da identificação do problema e da formulação da hipótese, passando por cada etapa até a conclusão.

O primeiro passo constituiu-se numa varredura pela literatura acadêmica sobre os processos de aquisições de defesa com objetivo de aumentar a compreensão dessa área do conhecimento.

O aprofundamento da compreensão sobre o assunto permitiu a construção de um modelo esquemático do processo de aquisições de defesa, conforme pode-se observar na Figura 2.12, servindo de alicerce para a formulação do Modelo de Referência proposto nessa pesquisa. Esse modelo esquemático, presente no Capítulo 2, está baseado na publicação de Vieira e Álvares (2017). Em face da relevância das questões legais para os processos de aquisições de defesa, houve a necessidade de se validar o modelo construído. Então, o artefato construído foi submetido a avaliação do autor da obra de referência, tendo em vista que o mesmo é especialista em aquisições de defesa. Nessa validação foi constatada a aderência do modelo às legislações em vigor.

O segundo passo foi o aprofundamento na compreensão da suportabilidade dos sistemas complexos de defesa e como ela pode influenciar no seu desempenho.

Utilizando o arcabouço de conhecimento da Engenharia Logística, mais especificamente a metodologia do Suporte Logístico Integrado (do inglês *Integrated Logistics Support* - ILS) foi possível compreender com mais propriedade suas implicações no ciclo de vida dos sistemas complexos de defesa, principalmente no que se aplica a fase de operação e suporte. Além disso, entender sua aplicação por meio da divisão em áreas de atuação chamadas de elementos do ILS. Especial atenção foi dispensada às métricas de RAM, por entender que elas quantificam o desempenho logístico de sistema como um todo. Bons índices dessas métricas traduzem um bom desempenho logístico do sistema e demonstram a união de boas soluções implementadas na concepção do sistema e a capacidade de prover toda a suportabilidade ao sistema quando em operação (UNITED STATES, 2005).

Após a compreensão da suportabilidade, em especial a metodologia do Suporte Logístico Integrado, ficou clara a necessidade da sua aplicação em sistemas complexos de defesa. Como o ILS é parte integrante do sistema, é necessário que o processo de aquisição

consiga analisar e selecionar as melhores opções entre os concorrentes com base nessa metodologia.

Como consequência, seguiu-se para um terceiro passo com o entendimento dos conceitos envolvendo Gêmeos Digitais. A revisão da literatura possibilitou perceber as possíveis aplicações de um modelo baseado nos conceitos de Gêmeos Digitais para o contexto de aquisições de defesa (MADNI; MADNI; LUCERO, 2019).

Uma vez que os Gêmeos Digitais são “espelhos” de entidades físicas e, por estarem conectados a estas por meio de alimentação bidirecional de dados, possibilitam uma série de análises e simulações complexas demais para serem “testadas” com as respectivas entidades físicas (fábricas, foguetes, veículos de alto desempenho, etc) (KRÜGER; BORSATO, 2019), a aplicação de uma ferramenta baseada em métricas e modelos de suportabilidade, consolidadas dentro do conceito de um Gêmeo Digital, especialmente desenvolvido para esse fim e contextualizado nos cenários de emprego do sistema, levaria a melhores decisões e reflexões sobre a suportabilidade de sistemas complexos de defesa durante os processos de aquisição.

O quarto passo é a construção de um artefato utilizando o conceito de aquisição de dados e análise de desempenho de suporte em um modelo virtual.

Para tanto, o processo de seleção e o modelo de suportabilidade (ILSP) é utilizado como base física (real) para o “espelhamento” no modelo virtual.

O modelo virtual conta com um módulo de aquisição de dados baseado nas etapas previstas em processos de aquisição de sistemas complexos de defesa. Este módulo está organizado de forma que os dados possam ser utilizados em aprendizado, classificações, simulações, projeções, análises de comportamento e planejamentos.

Os dados estão organizados com base nos componentes de um ILSP, fatores de RAM, fatores de custo, requisitos legais, de operação, de suporte e ritos processuais.

O modelo concebido realiza 04 atividades distintas, contudo integradas e interconectadas, onde a saída de uma atividade pode ser aproveitada como entrada da próxima e das demais.

As atividades são representadas no modelo virtual por processos e que resultam em um relatório físico/virtual (o entregável de cada processo funcional).

No modelo, essas 04 atividades recebem o nome de Processo funcional (PF) e são identificadas pela descrição de sua finalidade conforme a seguir:

PF-1: Avaliação logística de propostas concorrentes.

PF-2: Aprendizado logístico para implantação do sistema selecionado.

PF-3: Aprendizado logístico para acompanhamento do sistema selecionado durante a fase de serviço.

PF-4: Aprendizado logístico para futuras aquisições de sistemas.

Como dito anteriormente, os Processos Funcionais geram relatórios que serão reutilizados no processo de aquisição em fases posteriores ou em outros processos como no caso do PF-4. A Figura 3.2 apresenta a relação entre os PF e seus respectivos entregáveis em formato de relatório.



Figura 3.2 – Os entregáveis dos Processos Funcionais do modelo.

Com a modelo finalizado, o passo seguinte foi avaliar suas funcionalidades. Uma sequência de atividades é realizada com o modelo, mais especificamente com o PF-1 onde existem processos matemáticos envolvidos.

O ideal para se comprovar a eficácia do modelo proposto seria a sua implementação em um processo real de aquisição de um sistema complexo, possibilitando a coleta dos resultados e comparação com resultados anteriores.

Considerando ser incompatível um processo de validação dessa envergadura com o período disponível para conclusão da pesquisa, optou-se por dois tipos de verificação.

O primeiro, de teor quantitativo, foi a validação de funcionamento da ferramenta, onde foi realizada a sua configuração e alguns testes de funcionamento.

O segundo, de teor qualitativo, foi validação com especialistas das áreas correlatas a presente pesquisa.

Além das duas atividades de verificação do modelo, um estudo de caso ilustra o funcionamento do modelo por meio do PF-1.

Com base na etapa anterior, foi conduzida a análise dos resultados e uma discussão sobre todo o conjunto.

A Pesquisa foi encerrada com a conclusão, onde é feito um apanhado geral abordando a resposta da pergunta da pesquisa e o atendimento dos objetivos presentes no Capítulo 1.

Também são apresentadas as contribuições do trabalho e propostas de trabalhos futuros.

Com o objetivo de sintetizar a estrutura da pesquisa desenvolvida e a metodologia descrita até essa etapa, a Figura 3.3 apresenta de forma esquemática as etapas percorridas e descritas nessa sessão.

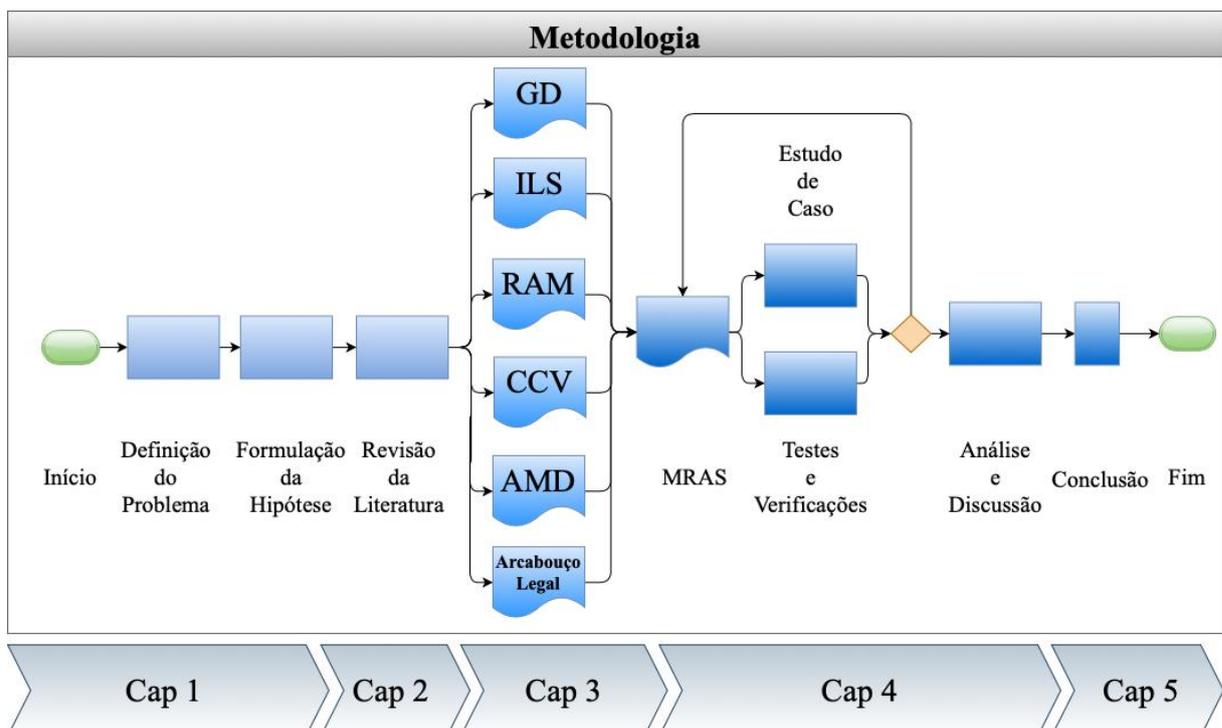


Figura 3.3 – Estrutura da dissertação envolvendo a metodologia da pesquisa.

3.3 Considerações Finais do Capítulo

O terceiro Capítulo apresenta a classificação da pesquisa utilizando as referências mais difundidas no meio acadêmico para a Metodologia da Pesquisa Científica.

Além disso, descreve os passos percorridos para construção da pesquisa com os principais marcos e aspectos que encadearam o pensamento sistêmico necessário para elaboração do presente trabalho.

Para alinhar o processo metodológico, foi apresentada a ferramenta em linhas gerais, comentando sobre suas funcionalidades e saídas.

A partir daqui o próximo capítulo trata da ferramenta em detalhes, por meio da apresentação de seus processos internos, entradas e saídas.

4 Aplicação da Metodologia, Apresentação dos Resultados e Discussão

Esse Capítulo trata da aplicação da metodologia, tendo como resultado o desenvolvimento do Modelo de Referência para Avaliação da Suportabilidade (MRAS) em aquisições de sistemas complexos de defesa.

Após a aplicação da metodologia que culminou no MRAS, uma série de testes e verificações são conduzidas para confirmar as funcionalidades do modelo.

Em seguida, é apresentado um Estudo de Caso e a avaliação do modelo por especialistas no setor de aquisições de defesa.

O Capítulo é encerrado com a discussão sobre a aplicação do modelo e os resultados obtidos nas avaliações.

4.1 O Modelo de Referência Proposto

Romano (2003) definiu modelo como uma representação física da forma de pensar, abordar e lidar com questões problemáticas ou complexas em contextos organizacionais. Esses modelos ainda assumem um papel de referência no que diz respeito a práticas e procedimentos. Além disso podem ser aplicados em diversos contextos, desde o desenvolvimento de produtos até, processos organizacionais de gestão e decisão (ROMANO, 2003).

Um modelo de referência pode ser utilizado como alicerce para o desenvolvimento de processos reais. A partir de visão holística e generalista provida por esses modelos, sendo essa uma das características desse tipo de arquitetura, é possível planejar condutas em processos mais específicos (ROMANO, 2003; VERNADAT, 1996).

Além disso, (ROMANO, 2003, *apud* VEMADAT, 1996) ainda destaca que os modelos de referência auxiliam a:

- Obter uma melhor percepção sobre o processo em estudo;
- Adquirir e incorporar conhecimentos;
- Estabelecer um entendimento comum na organização;
- Estabelecer uma rotina de melhorias nos processos; e
- Definir uma base mais segura para tomada de decisões.

Cabe ressaltar que o desenvolvimento de modelos de referência auxilia na compreensão do ciclo de vida de um produto, coopera para redução de falhas, economia de recursos e gestão da informação (AMARO, 2012).

Romano (2003) ainda definiu passos metodológicos para construção de um modelo de referência adaptado de Vernadat (1996), dos quais se enquadram nessa pesquisa os seguintes:

- Definição da estrutura;
- Definição de fases;
- Definição de saídas e entradas;
- Definição das áreas do conhecimento abrangidas;
- Definição das atividades;
- Definição as informações; e
- Verificação da consistência do modelo.

Sendo assim, entende-se que um modelo de referência é a forma mais adequada nesse contexto para construção do processo almejado por esse trabalho.

Para a concepção do modelo proposto nessa pesquisa, foram observados os princípios sugeridos por (VERNADAT, 1996) descritos na Figura 4.1.

Princípio	Descrição
Separação de conceitos	Processos devem ser modelados em partes, representando as áreas funcionais separadamente ou o domínio do problema.
Decomposição funcional	O processo deve ser modelado de modo a abranger hierarquicamente todas as funções, decompondo-as num conjunto de subfunções até a descrição das funções mais específicas (fases, atividades, tarefas).
Modularidade	Para facilitar as alterações, o modelo deve ser modular, de modo que possa ser atualizado e melhorado continuamente.
Generalização	A modelagem deve possibilitar a criação de blocos padrão (classes genéricas) que agrupem os objetos cujas propriedades sejam similares.
Reusabilidade	Para reduzir o esforço de modelagem e aumentar a modularidade, deve-se utilizar blocos predefinidos ou reutilizar modelos parciais ⁶⁷ configurados para atender a necessidades específicas, reduzindo o tempo de desenvolvimento do modelo.
Separação entre procedimentos e funcionalidade	Procedimentos (como fazer – método) não podem ser confundidos com as funcionalidades (o que deve ser feito – atividades) quando se busca flexibilidade organizacional, permitindo modificações em um sem impacto ao outro, e vice-versa.
Separação entre processos e recursos	Similarmente ao princípio anterior, deve-se separar o que deve ser feito dos recursos para fazê-lo, preservando a flexibilidade operacional.
Conformidade	Relacionado à exatidão sintática e semântica da representação (clareza, consistência, não redundância) no domínio da aplicação do modelo.
Visualização	A modelagem deve apresentar uma linguagem de representação gráfica de fácil comunicação e entendimento.
Simplicidade <i>versus</i> adequação	A linguagem de modelagem deve expressar o que precisa ser expresso, de modo mais simples possível, sem que haja perda na adequação ao propósito do modelo.

Figura 4.1 – Princípios gerais para elaboração (Adaptado de ROMANO, 2003 *apud* VERNADAT, 1996).

Posto isso, propõem-se um modelo de referência, definido em uma arquitetura mais abrangente, com a finalidade de apoio a decisão durante o processo de aquisição de um sistema complexo de defesa mantendo-se focado exclusivamente em seus aspectos de suportabilidade.

A melhora na aquisição, tratamento e disponibilização das informações logísticas aumenta a consciência situacional de todos os envolvidos e interessados no processo. Ainda possibilita estender a aplicação do conhecimento gerado em uma determinada etapa, para outras fases do processo de aquisição e, até mesmo, para outros processos.

Sendo assim, compreendendo que o processo de aquisição de sistemas complexos de defesa tem uma abrangência que vai desde as fases iniciais de formulação conceitual até uma etapa inicial da fase de serviço do sistema, o modelo explorou as possibilidades de robustecimento da decisão com saídas que aproveitassem ao máximo o arcabouço do conhecimento da metodologia do Suporte Logístico Integrado (ILS) e o arcabouço de conhecimento prático prospectado e gerado no processo como um todo.

Nessa direção, o modelo foi concebido com as funcionalidades descritas na Figura 4.2.

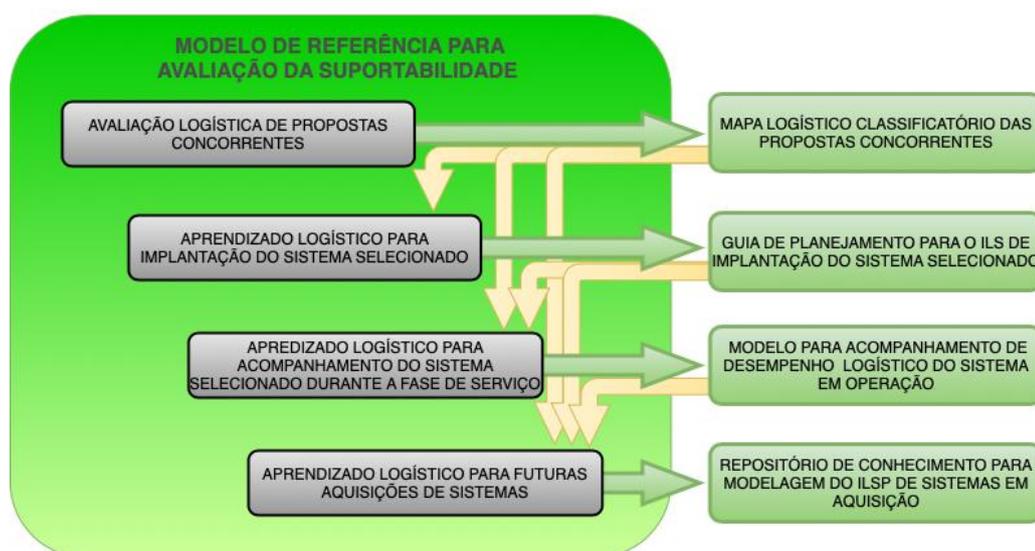


Figura 4.2 – Funcionalidades e entregáveis propostos pelo modelo.

Para o funcionamento adequado, o modelo precisa ser alimentado de dados. A arquitetura idealizada busca dados gerados no processo de aquisições conforme é apresentado na Figura 4.3. As integrações e interações propostas nessa arquitetura não estão claramente descritas nas documentações existentes que fazem referência aos processos de aquisição de sistemas complexos de defesa. Isso confere ao MRAS um caráter inovador ao interagir em

diversas etapas do processo e integrar informações dados fornecendo outras informações tratadas de acordo com a finalidade desejada. Essa aquisição e tratamento da informação possibilita simulações, projeções de cenário, análises de comportamento, dentre outras funcionalidades à exemplo de como funcionam os Gêmeos Digitais.

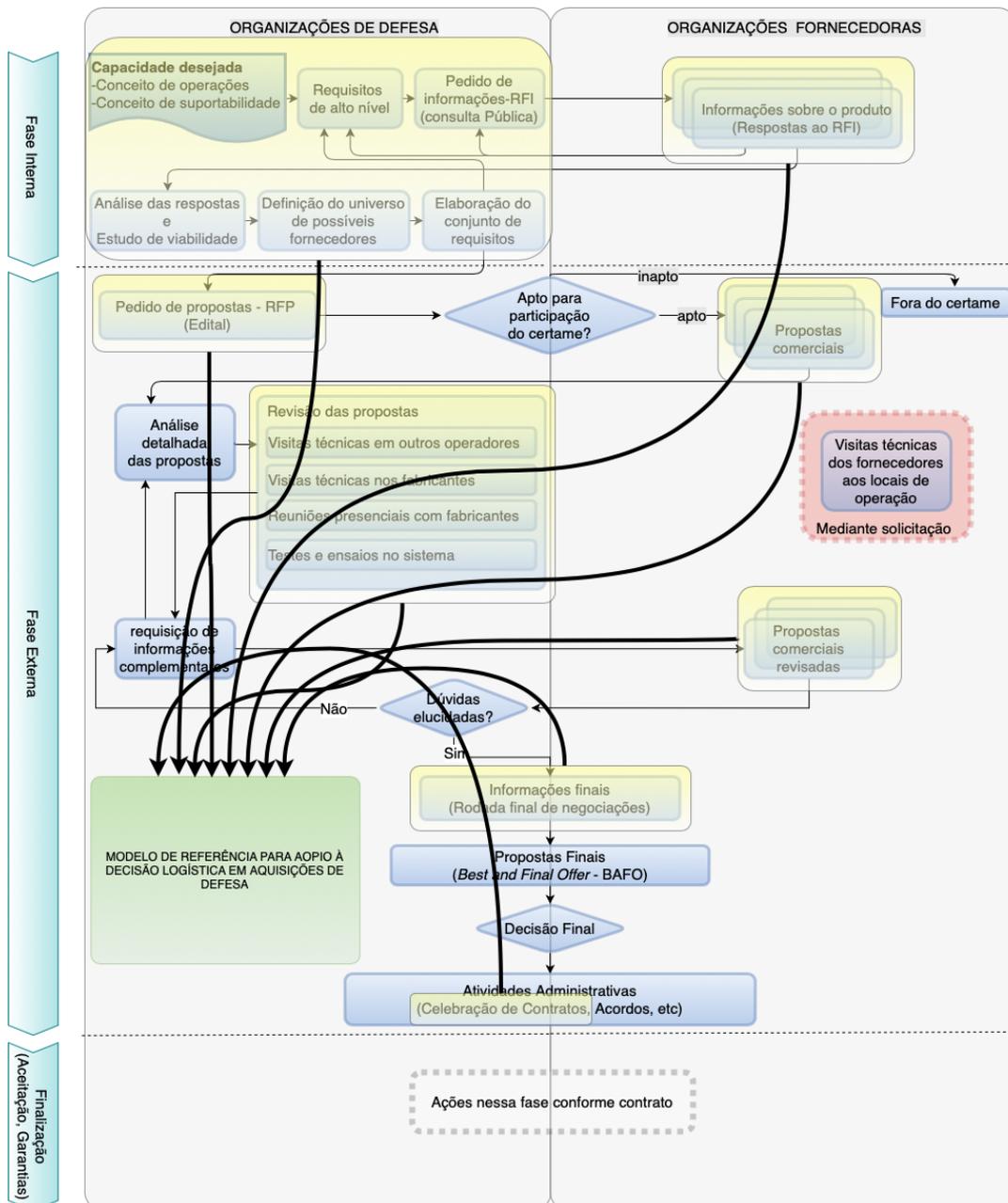


Figura 4.3 – Interface do Modelo proposto e o processo de aquisições de defesa.

4.2 Processos Funcionais (PF) do Modelo

Após o entendimento global da aplicação do modelo e suas interfaces com o processo de aquisições de sistemas complexos de defesa, é descrito a seguir cada processo interno

contido nele. Para efeito desse trabalho essas funcionalidades serão chamadas de Processos funcionais, tendo em vista que apontam para a função principal do modelo.

4.2.1 PF-1: Avaliação Logística de Propostas Concorrentes

A etapa de análise e seleção é uma das mais sensíveis no processo de aquisição pois exige o profundo entendimento de cada sistema oferecido, das necessidades da organização expressas em edital e norteiam a decisão de escolha do sistema. Além disso, a quantidade de critérios e seus respectivos subcritérios agregam especial complexidade ao processo por se tratarem de aspectos de naturezas diversas dificultando o processo comparativo.

Esse Processo inicia com a aquisição dos elementos presentes em edital, como pode ser observado na Figura 4.4.

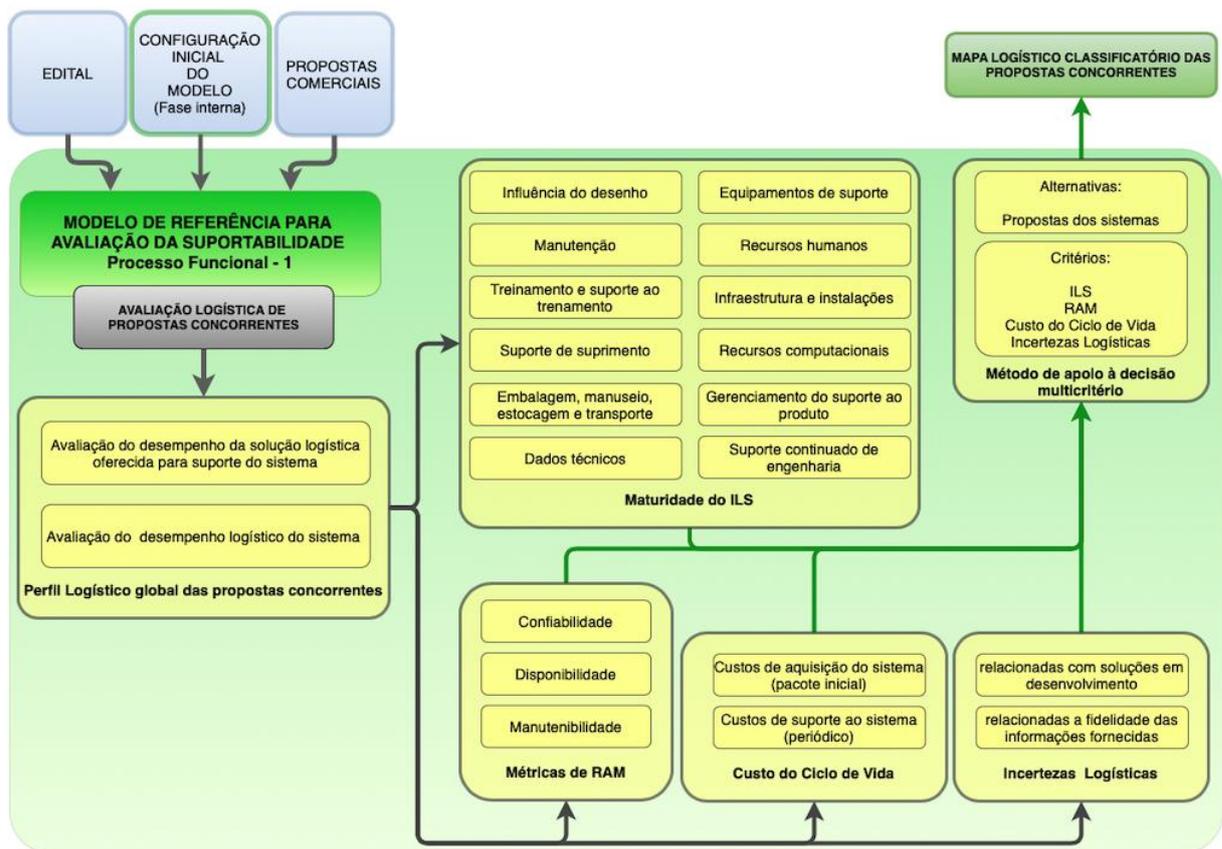


Figura 4.4 – Processo funcional de avaliação logística de propostas concorrentes.

O seu conteúdo expressa toda a regra do processo como abordado no Capítulo 2. Com isso, os critérios são computados nesse processo para que o mesmo possa começar a avaliação das propostas concorrentes, sendo essa a segunda entrada do processo.

Alguns apontamentos são relevantes nessa entrada. O primeiro se trata das regras presentes em edital. Durante a fase interna, é necessário que se defina o método utilizado para a classificação das propostas concorrentes. No Capítulo 2 discorreu-se sobre os métodos de apoio multicritério à decisão e sua relevância para esse tipo de decisão. O processo de aquisição em si pode ser encarado como um problema de decisão complexo onde os Métodos de apoio multicritério à decisão (AMD) se encaixam adequadamente. Sendo assim, é necessário que se estabeleça anteriormente a definição dos pesos de cada critério do processo decisório afim de permitir a aplicação de um AMD.

Também é interessante que se estabeleça um cenário para a modelagem do suporte com objetivo de facilitar o processo tanto de comparação como de estruturação dos dados. As variáveis de decisão como disponibilidade e custo do suporte podem ser impactadas dependendo do cenário. Fatores como distância entre oficinas e operadores, localização de estoques, podem influenciar e dar falsas impressões aos avaliadores. Aliada a complexidade da decisão anteriormente citada, essas condições podem levar a avaliações equivocadas.

O terceiro apontamento é que para efeito de ilustração do subprocesso classificação será utilizado o AHP, conforme explicado no Capítulo 2. Entretanto, outros métodos podem ser utilizados, carecendo de uma análise adequada do contexto de seleção.

Ao se avaliar o processo de aquisição como um todo, a logística é um dos critérios da decisão final. A decisão macro pode envolver aspectos como estratégicos, políticos, econômicos, operacionais, técnicos, sendo a logística mais um critério da decisão (Figura 4.5).

Dentro da logística ocorre o mesmo efeito, provocando uma série de desdobramentos em subcritérios considerando que os passos anteriores foram bem estruturados.

A metodologia desenvolvida usa a abordagem metodológica do suporte logístico integrado (ILS). Isso já sugere a organização dos requisitos de suporte em seus 12 elementos (ou áreas de atuação da logística). Aliado a isso também se desdobraram as três métricas de RAM, duas ligadas ao custo do ciclo de vida e duas ligadas a incertezas logísticas.

Com base nesses apontamentos, uma atividade paralela a **elaboração do conjunto de requisitos** deve ser executada para permitir o funcionamento adequado desse **Processo Funcional**. Essa atividade é chamada **configuração inicial do modelo**. Essa configuração inicial estabelece os pesos, os critérios e a escala de pontuação que serão aplicados ao longo do processo. Os pesos dizem respeito a atribuição de valores para diferenciar (ou escalar) a

prioridade em termos de importância de cada critério, podendo se desdobrar para os níveis subsequentes.

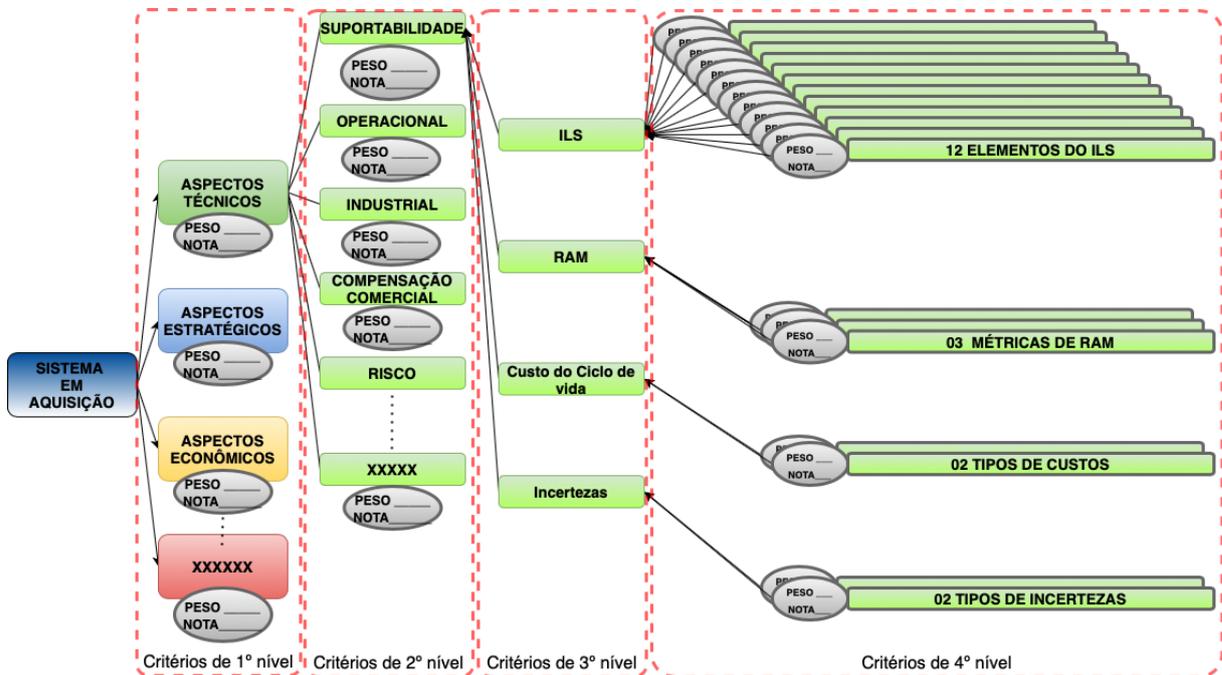


Figura 4.5 – Arvore de critérios do MRAS presente no PF-1.

Essa configuração deve estar alinhada ao que se espera do objeto da aquisição. Por exemplo, a substituição de uma frota de veículos onde já exista a infraestrutura e instalações necessárias, o elemento do ILS “Infraestrutura e instalações”, pode ter o seu peso e critério de importância dimensionado ao mínimo.

Por final, a **configuração inicial do modelo** recebe a escala de pontuação que deve ser usada durante o processo. A Figura 4.6 é um exemplo de escala utilizada em processos dessa natureza. Note que a importância de cada requisito está estabelecida no peso a ele alocado. Dessa forma, a avaliação de cada requisito pode utilizar uma escala normalizada como a da figura. No exemplo apresentado na Figura 4.6, as notas abaixo de 0.5 denotam o não atendimento ao requisito.

Com todas as entradas definidas e o modelo ajustado por meio da definição de parâmetros e critérios, dá-se a primeira atividade do processo, sendo ela a **definição do perfil logístico global das propostas concorrentes**. Essa atividade tem a finalidade de destacar a diferença entre o sistema principal (blindado, aeronave, embarcação, etc) e todo o pacote de suporte ao sistema principal. No caso em questão é muito importante que se faça essa distinção pois isso pode enriquecer a avaliação da proposta.

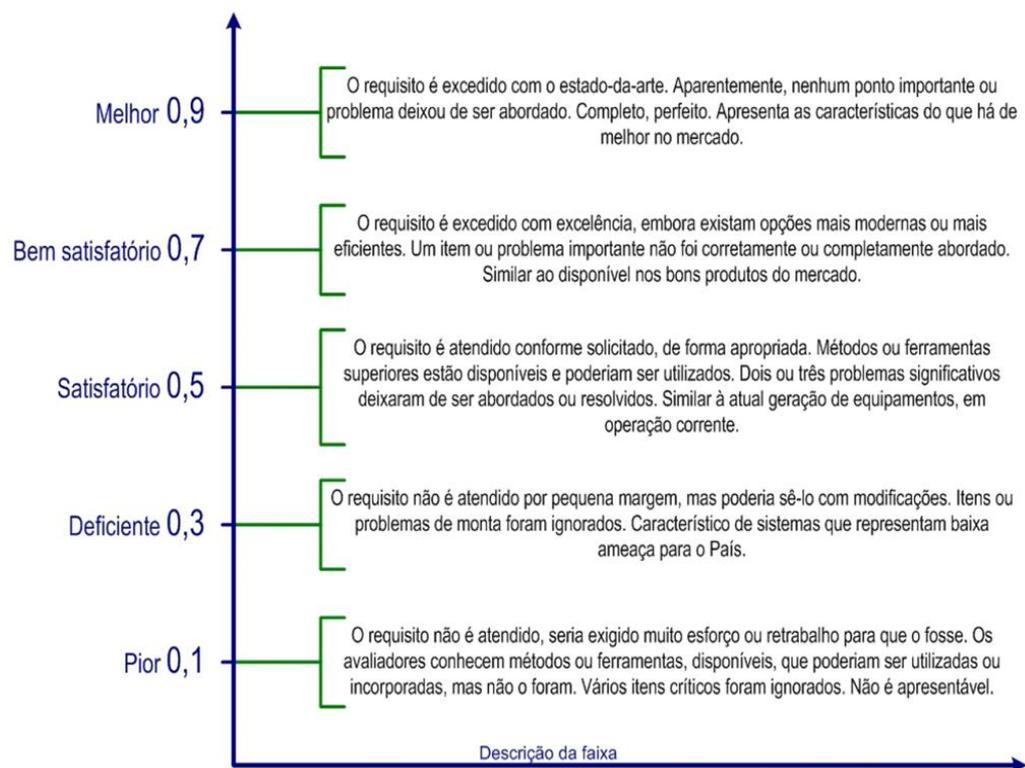


Figura 4.6 – Exemplo de escala de pontuação (ABRAHÃO, 2017).

Um aspecto muito relevante são as soluções incorporadas no projeto do sistema principal. O elemento **Influência no desenho** é o principal responsável por essas implementações no sistema principal. Por meio desse elemento, o conceito de manutenção e seu conteúdo traduzido em requisitos são modelados para se tornarem atributos de um sistema em desenvolvimento.

O suporte do sistema também pode possuir uma estrutura robusta, apresentando boas soluções de gestão, engenharia e qualidade. Entretanto, as soluções presentes no sistema principal têm um impacto muito expressivo no suporte e, em especial nos outros elementos e métricas utilizadas na suportabilidade. Sendo assim, é desejável que durante o processo de avaliação não se permita que o suporte ao sistema encubra aspectos de desenho do sistema.

Deve ficar claro que a avaliação dos atributos dentro dos elementos não deve dissociar o sistema principal de seu suporte, mas sim melhorar a percepção da relação entre eles em termos de maturidade logística.

Após isso, volta-se para a avaliação dentro das áreas presentes no modelo da Figura 4.3 as setas de saída da primeira atividade direcionam para 04 grupos tratados a seguir.

A Maturidade do ILS diz respeito a quão bem desenvolvida e estruturada é a proposta logística da oferta. A utilização dos elementos do ILS possibilita desmembrar em níveis onde

é possível pontuar aspectos passíveis de serem medidos. Da mesma forma isso acontece nas outras três áreas. A literatura acerca do ILS pode auxiliar no desdobramento em atributos quantificáveis, contudo cada processo de aquisição vai requerer um trabalho específico para isso. Em resumo, é praticamente impossível que um sistema tenha o mesmo rol de atributos quantificáveis que o outro, quer seja pela evolução tecnológica ou pelas suas funções.

Os custos também devem ser avaliados em duas dimensões. Uma dimensão é relativa aos custos de aquisição do sistema e de seu pacote inicial e a segunda é relativa ao custo de seu ciclo de vida. Conforme tratado na revisão da literatura sobre a distribuição do custo de um sistema complexo em seu ciclo de vida, o longo ciclo de vida trás um aumento no impacto dessa segunda dimensão.

Outra área relevante é relativa as incertezas logísticas. Para a presente pesquisa, utilizou-se a divisão em dois subcritérios. O primeiro é relacionado ao risco agregado em soluções que foram oferecidas, mas ainda estão em desenvolvimento. A literatura oferece uma rica fonte de metodologias para avaliação desses riscos. O segundo é relativo a fidelidade das informações fornecidas. A forma como se é perguntado (Edital) ou é respondido (Propostas comerciais) pode omitir ou dissimular aspectos relevantes para a avaliação da proposta. Considerando o certame ser uma disputa comercial entre concorrentes e também uma disputa entre fornecedor e comprador, onde todos podem possuir objetivos conflitantes, é relevante considerar a avaliação desse aspecto. Pode-se avaliar tal aspecto valorizando, por exemplo, propostas claras e completas onde todos os dados e pontos principais dos sistemas foram integralmente fornecidos. Devido a complexidade do tema, o assunto não será aprofundado nesse trabalho.

Essas 19 (17 sem as incertezas) áreas ou subcritérios, ocorrem durante a etapa de avaliação por meio de algumas atividades descritas no processo de aquisições como tratado no Capítulo 2. Pode-se citar como exemplos atividades como visitas técnicas ao fabricante e a outros operadores, caso existam. Enxergar o sistema sob a ótica de quem opera pode trazer muitas informações relevantes ao processo avaliação.

Após a consolidação de todas as avaliações é recomendável que ocorra um processo de nivelamento entre avaliadores para que as notas sejam emitidas com base nos mesmos parâmetros de valoração/comparação.

Com os dados consolidados e normalizados, é possível empregar um AMD como o AHP para se construir um mapa com todos os critérios devidamente quantificados com base na distribuição de pesos previamente definida.

Esse Mapa logístico classificatório das propostas concorrentes oferece ao tomador de decisão uma visão ampla e estruturada do panorama logístico de todas as propostas.

4.2.2 PF-2: Aprendizado Logístico para Implantação do Sistema Selecionado

Esse processo funcional não se inicia somente após a decisão final onde é definida a proposta selecionada. Como pode ser observado na Figura 4.7, a primeira entrada se dá pela aquisição de dados oriundos da fase interna, mais especificamente na etapa onde é realizada a análise das respostas e o estudo de viabilidade. Essa etapa é muito rica e muito importante para essa função pois fornece subsídios acerca da maturidade de ILS da organização. A implantação de um novo sistema demanda uma preparação da organização para o seu recebimento. Como a maior parte das aquisições traz um nível relevante de inovação em tecnologia, processos e materiais, a organização precisa se preparar para a absorção do sistema de forma proativa, se antecipando a ações como capacitação de recursos humanos, preparação de instalações, dentre outras possíveis ações.

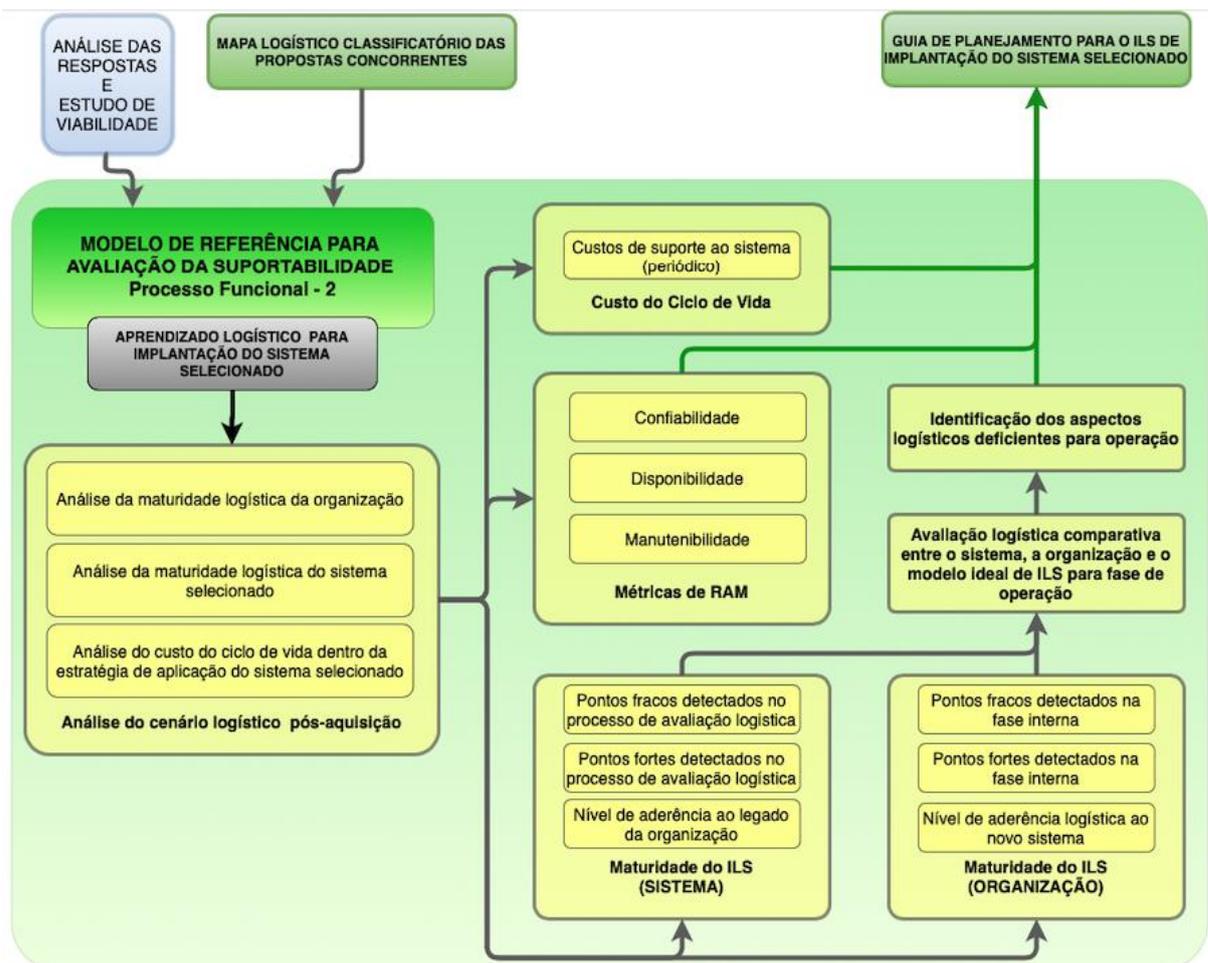


Figura 4.7 – Processo Funcional de Aprendizado logístico para implantação do sistema selecionado.

O mapa logístico oferece um panorama detalhado da arquitetura do suporte ao sistema oferecida pelos concorrentes. Isso permite que se conduzam análises de mais aprofundadas no tocante a implantação do sistema qualquer seja ele, pois considerando a natureza similar do sistema a ser adquirido (objeto da aquisição), existe um certo grau de comunalidade tanto em relação ao suporte quanto a necessidades de adequação da organização.

Nesse modelo também é abordado o refinamento das estimativas de custo do ciclo de vida do sistema. O Estudo de Viabilidade deve conter um panorama maduro de aplicação do sistema. Com já citado no processo funcional anterior, variáveis do cenário como distância de fornecedores, centros de manutenção, alocação de estoques, peculiaridades climáticas (gelo, salinidade, etc) podem influenciar expressivamente planejamentos de manutenção, custos logísticos, dentre outros fatores relevantes para o cálculo do custo do ciclo de vida em serviço.

Ao final, é possível se obter um panorama geral do ponto de vista logístico tanto da organização quanto do sistema, em especial das deficiências de ambas. É uma possibilidade traçar níveis de alerta relacionado a combinações de deficiências das duas partes. Isso permite que ações proativas sejam implementadas com a finalidade de minimizar impactos negativos durante a implantação do sistema.

Em relação a esse ponto, é muito importante frisar que nem sempre a melhor proposta do ponto de vista logístico é a ganhadora. A decisão levando em conta fatores multicritérios, onde um deles é a suportabilidade, pode levar à aquisição de um sistema que seja até mesmo o pior logisticamente. Isso reforça a importância desse processo de análise crítica para delinear o melhor Plano de Suporte Logístico Integrado (ILSP) contemplando ações efetivas para gerenciar tais óbices e permitir a exploração do sistema em sua plenitude.

4.2.3 PF-3: Aprendizado Logístico para Operação do Sistema

O amadurecimento dos aspectos logísticos, por meio da construção de um conjunto de informações consistentes advindas dos processos funcionais anteriores, possibilita o início desse processo funcional, descrito na Figura 4.8.

Primeiramente é necessário esclarecer que a principal função desse modelo é prover um comparativo do ciclo de vida estimado pela avaliação logística e pelo contrato com o desempenho real do sistema.

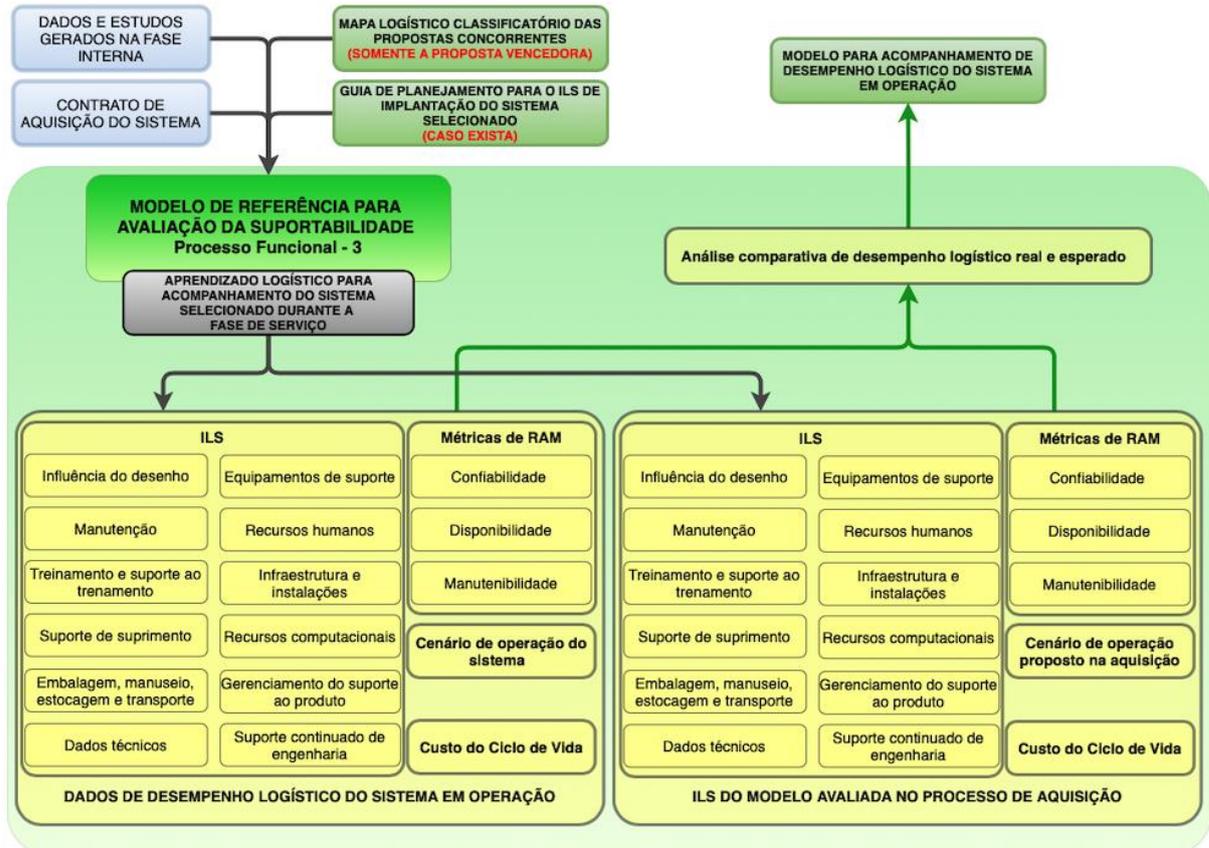


Figura 4.8 – Processo funcional de aprendizado logístico para acompanhamento do sistema selecionado durante a fase de serviço.

Esse parâmetro de comparação pode ser utilizado para o refinamento do planejamento de custo do ciclo de vida e discussões contratuais caso tenham sido estabelecidas métricas de desempenho relacionadas com esse aspecto.

4.2.4 PF-4: Aprendizado Logístico para Futuras Aquisições

O fato da recorrência de processos de aquisições de sistemas já foi citado ao longo desse trabalho. Inclusive, uma das justificativas para aquisição de sistemas similares para a substituição do sistema defasados é a necessidade de manutenção capacidades estratégicas das Forças Armadas. Pode-se citar como exemplo a substituição de aeronaves de caça por aeronaves mais modernas, porém com a mesma missão finalística.

Isso ilustra a relevância de se aproveitar toda a experiência, boas práticas e conhecimento gerado em um processo com tal complexidade, tendo em vista futuras aquisições.

Sendo assim, a gestão desse ativo, transformando todo o arcabouço de conhecimento gerado pelo processo de aquisição e a operação do sistema em patrimônio da organização, é fundamental para que o sistema evolua. A Figura 4.9 apresenta o PF-4, modelado para essa finalidade.

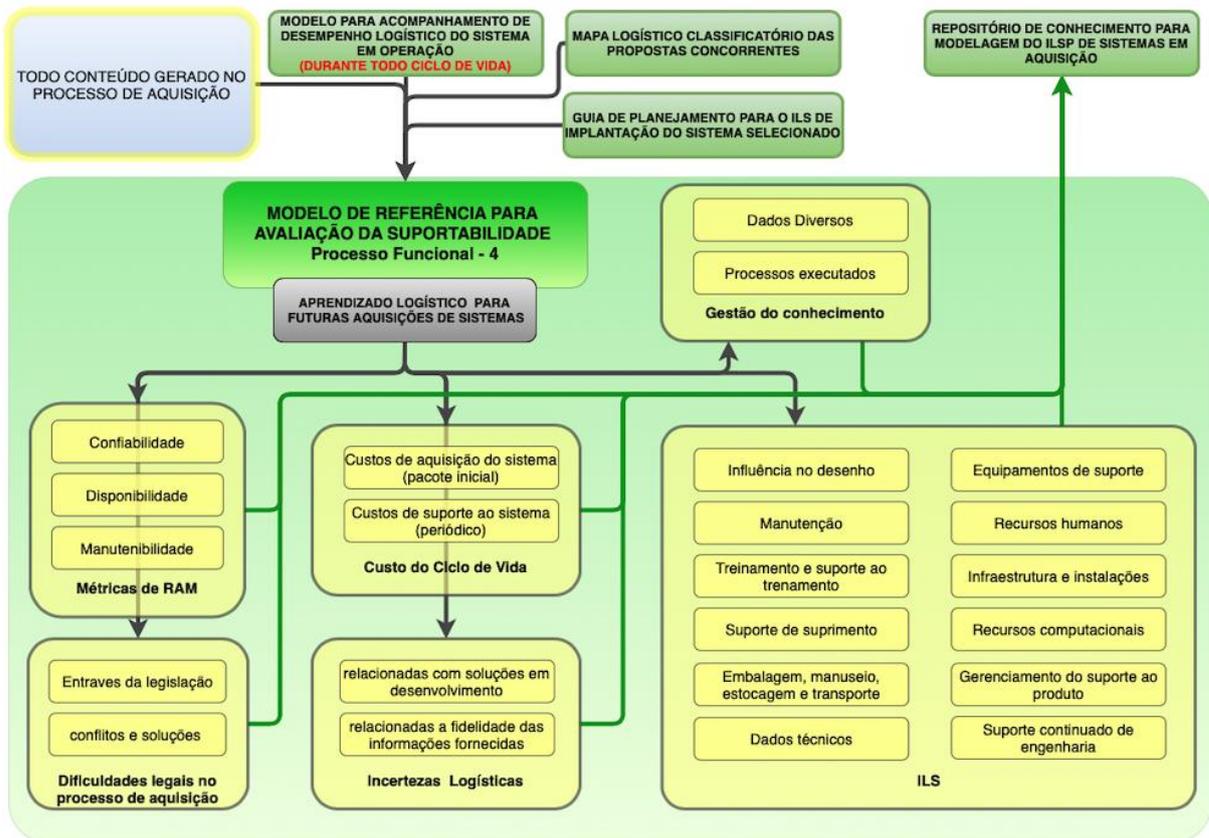


Figura 4.9 – Aprendizado logístico para futuras aquisições.

O PF-4 tem como objetivo compilar todo o conhecimento gerado e absorvido na aquisição de interesse da suportabilidade. Esse período compreende desde suas etapas iniciais até o final do processo, definido em cada tipo de aquisição podendo ser a entrega do último sistema ou final da garantia a título de exemplo.

Para cumprir seu objetivo, PF-4 é alimentado com os entregáveis de PF-1, PF-2 e PF-3, em forma de um compêndio que deve ser gerado pelas equipes envolvidas no processo, reunindo todas as informações pertinentes para a suportabilidade constantes no processo.

É importante frisar que algumas informações relevantes para a suportabilidade podem não estar dentro dos processos desenvolvidos pelas equipes responsáveis por essa tarefa. Para isso, cabe destacar que tudo que possa gerar alguma consequência ou influência para ações e decisões logísticas devem fazer parte do compêndio. Em uma aquisição posterior, tal

informação pode permitir desenhar a “linha do tempo” de algumas decisões durante o processo, oferecendo a capacidade de rastrear o processo de forma mais consistente.

Para facilitar a organização da informação, utiliza-se os quatro blocos tradicionais, sendo eles:

- Suporte Logístico Integrado (ILS);
- Métricas de RAM;
- Custo do Ciclo de Vida; e
- Incertezas logísticas.

Entretanto informações relevantes, mas que não se encaixam nos blocos citados acima, poderiam ser relegadas. Sendo assim, mais dois blocos foram adicionados. São eles:

- Dificuldades legais no processo de aquisição; e
- Gestão do Conhecimento.

O primeiro é direcionado aos aspectos legais. A complexidade legal envolvida em um processo desse vulto pode fornecer um manancial de conhecimento para futuras aquisições. O segundo é para reunir tudo que não se encaixa nos outros blocos. Pode-se citar como exemplo especificidades em avaliações, técnicas de coleta de dados ou soluções desenvolvidas durante o processo.

Ao final, esse repositório gerado será a grande fonte de conhecimento para processos posteriores e poderá se tornar um mecanismo “vivo”, adquirindo um caráter colaborativo onde os integrantes de processos possam contribuir e refinar a efetividade dos processos posteriores.

4.3 Verificação do Modelo

Após a concepção do modelo com todas as suas partes componentes descritas na sessão anterior, o próximo passo é a condução de uma série de testes para garantir que o modelo está funcionando de acordo com o esperado.

Como tratado no Capítulo 3, a validação ideal seria por meio de implementação em um processo real de aquisição para a coleta de dados e comparação com outro processo similar. Entretanto, a inviabilidade em virtude do tempo exíguo leva ao emprego de outras estratégias com a finalidade de verificar o modelo construído.

Como o modelo possui processos que podem ser verificados de forma quantitativa e qualitativa, a estratégia adotada dividiu em duas etapas essa atividade. Na primeira, simular-se-á a utilização do módulo de classificação e seleção do modelo presente em PF-1. Algumas verificações e testes serão conduzidos para verificar se todas as funcionalidades pretendidas estão de acordo. Um Estudo de caso hipotético também é realizado com dados de três sistemas.

Na segunda etapa, uma pesquisa qualitativa com especialistas colhe as opiniões de pessoas com notório saber sobre o assunto e as áreas de conhecimento abrangidas pela pesquisa.

4.3.1 Teste de Abrangência

O primeiro teste é referente a abrangência da ferramenta.

Essa verificação, de cunho qualitativa, garante que a avaliação conduzida é abrangente em termos logísticos.

Do ponto de vista legal, caso esse artefato não cubra todos os aspectos relativos a suportabilidade, poderão ocorrer omissões no processo induzindo os usuários dessa aplicação a falsa sensação de que tudo que é relevante para a suportabilidade de um sistema complexo durante o seu ciclo de vida estava abarcado caso cumprisse os passos previstos no modelo.

Sendo assim, para afastar esse risco, a seguinte análise é apresentada.

O artefato usa como base a divisão em elementos do Suporta Logístico Integrado que abrange todas as áreas do conhecimento necessárias para a aquisição de um sistema suportável do ponto de vista logístico.

Além disso, o artefato destaca as Métricas de RAM tratando como um critério a parte, independente do fato de que a maturidade do ILS é refletida em bons índices de RAM.

O módulo ainda trata de custos separadamente a despeito do fato desse critério seguir a mesma lógica de RAM pois um ILS maduro preza pelos custos de suportabilidade, mantendo-o em níveis aceitáveis ao operador.

Tratar o custo separadamente e, dividido entre custos relativos a aquisição e a fase de serviço, auxilia a detectar futuros gastos que possam superar o montante de recursos destinados para seu suporte. Um sistema pode ser maduro em termos de ILS e oferecer uma

ótima relação de índices de RAM, contudo um elevado custo para manter a arquitetura desenha para o seu suporte poder inviabilizar a operação do sistema ao longo de sua vida útil.

Assim, com base na argumentação apresentada, a utilização da metodologia do ILS e o recobrimento dado por tratar separadamente métricas de RAM e custo, confere ao modelo robustez e abrangência.

4.3.2 Verificação Funcional

A verificação funcional é iniciada com a configuração inicial do modelo. Essa etapa tem a finalidade de ajustar o modelo para começar o processo de avaliação e classificação.

Como apresentado na Sessão 4.2.1, essa configuração vem por meio da alimentação de dois parâmetros do modelo:

- Peso dos critérios; e
- Escala de notas para avaliação.

O peso de cada critério provoca o escalonamento entre eles e, como consequência, a valorização de um critério em detrimento do outro mesmo que recebam a mesma pontuação.

Isso é uma prática comum levando-se em conta que um critério pode estar mais alinhado aos objetivos que provocaram a aquisição que outros presentes no conjunto.

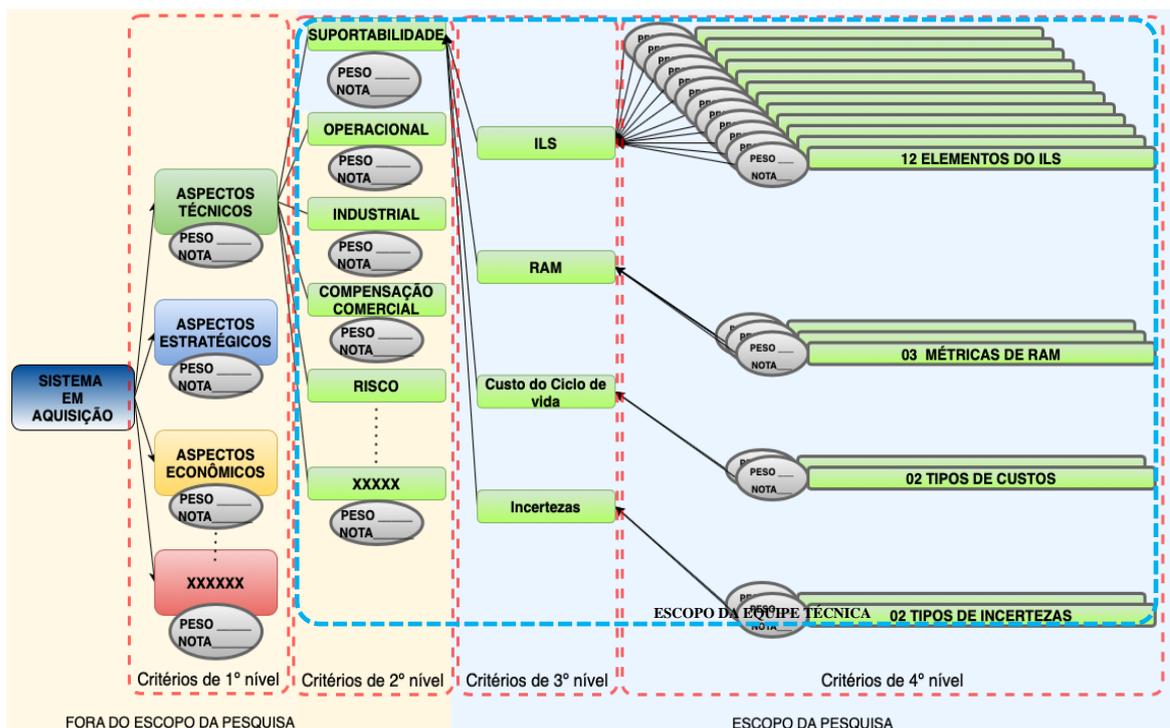


Figura 4.10 – Exemplo de desdobramento dos critérios com seus respectivos pesos.

Em organizações como as Forças Armadas, o Alto Escalão pode fornecer os pesos, ao menos, do primeiro nível apresentado na Figura 4.10. Isso tem por objetivo garantir o alinhamento da aquisição aos objetivos estratégicos do Ministério da Defesa e suas Forças Singulares.

Nesse trabalho executaremos todos os passos utilizando uma aplicação desenvolvida em paralelo com a presente pesquisa. O AeroLogLabTool[®] (Figura 4.11) é uma ferramenta colaborativa, em desenvolvimento no Laboratório de Engenharia Logística do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Sua finalidade é apoiar profissionais envolvidos na temática de aquisições de defesa (acadêmicos, profissionais da área, gestores, dentre outros) para o planejamento da suportabilidade de sistemas complexos com base em boas práticas e no arcabouço de conhecimento existente na área da engenharia logística.

AeroLogLabTOOL[®]: A collaborative tool for the logistic support planning of complex systems.

Login to your account

Username

Password

Enter

Register an account for you

Username

First name

Last name

E-mail

Password

Confirm password

Register

A collaborative tool for the logistic support planning of complex systems.

The Integrated Logistics Support Plan (ILSP) establishes the essential information required to initiate and maintain a through-life integrated logistics support (ILS) program for any complex system.

The AeroLogLab-ITA encourages you to keep and maintain your projects data updated in AeroLogLabTool[®]. The advantage is that the evolution of your ILSPs will be always available.

The ILSP will serve as a working document for those activities responsible for the planning, management, and execution of the ILS program.

The ILSP supports system integration and testing production phases, with related planning to support a seamless transition to the In Service phase.

The ILSP addresses and documents: data gathering and analysis, tasks execution and management, and an interface with the ILS program tasks with systems and specialized engineering.

- Users
- Life Cycle Phases
- ILS elements
- Requirements
- 1. Systems
- 2. Projects
- 3. ILS Plans
- 4. ILS tasks
- FAQ
- Semantics
- Statistics
- WikiLog
- Free stuff
- Tools
- Research
- Forum
- Knowledge
- Readiness Level
- Sliders
- Process
- Acquisition
- v1.1

Figura 4.11 – Página de abertura do AeroLogLabTOOL[®] (<https://tool.aerologlab.ita.br>).

O AeroLogLabTOOL[®] conta com uma página dedicada para a etapa de Avaliação multicritério representada no PF-1 e apresentada na Figura 4.4. Nela estão os campos para o preenchimento dos dados conforme a árvore de critérios da Figura 4.10, em uma interface

baseada no AHP. Contudo, é importante destacar que a escolha do método deve ser em face do tipo de decisão a ser tomada, ou seja, deve ser conduzida uma análise tanto do contexto do problema de decisão como tipo de sistema para a escolha do melhor método. A seguir, a Figura 4.12 exibe a tela de inserção dos dados iniciais.

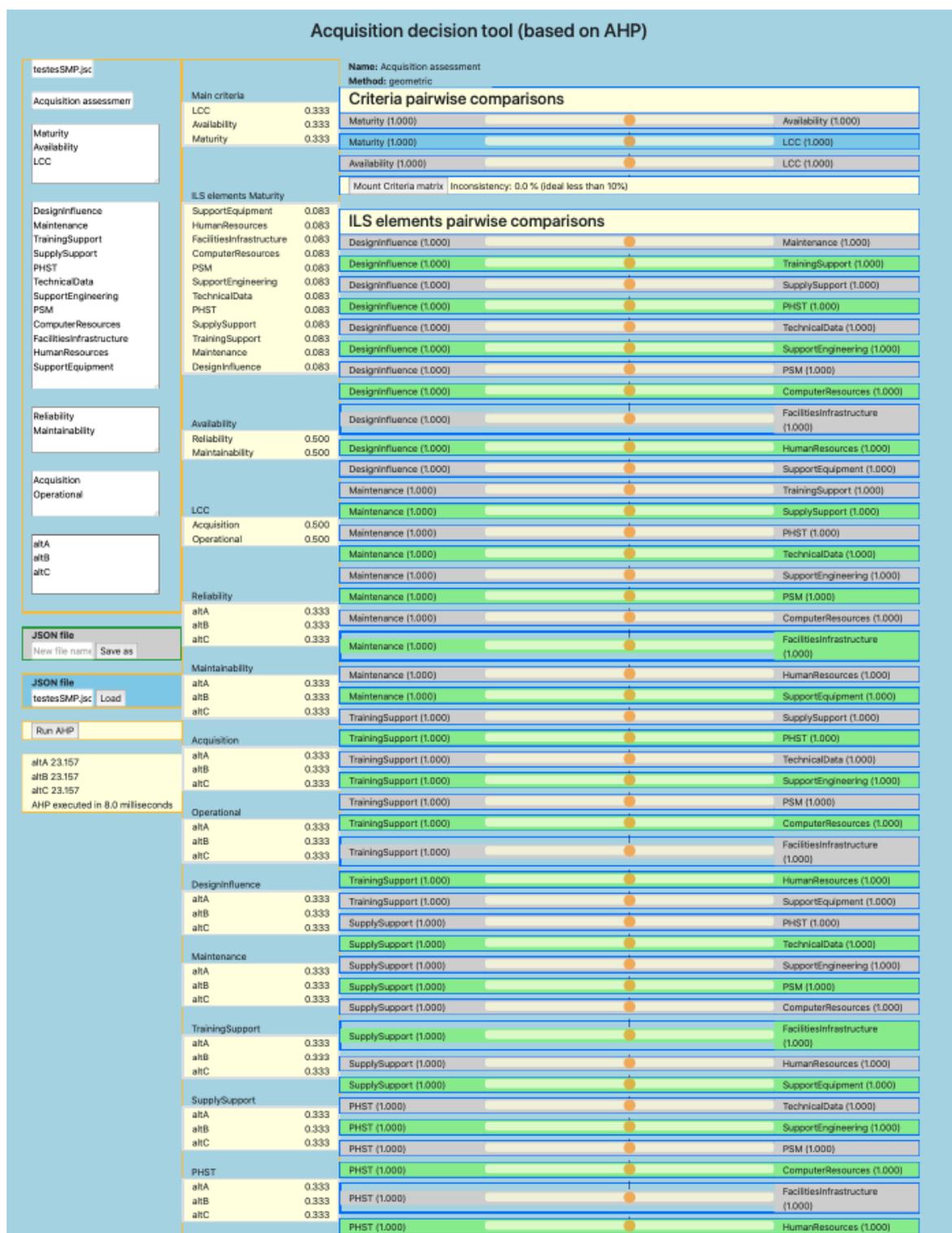


Figura 4.12 – Interface do módulo de avaliação da suportabilidade.

Para acessar o módulo de avaliação da suportabilidade, basta clicar na palavra **Acquisition** no menu à direita da tela inicial conforme pode ser observado na Figura 4.11.

Como esse módulo foi modelado para aplicação do método de apoio multicritério à decisão AHP, por uma questão de comprovada validade acadêmica desse método para esse fim, observa-se na Figura 4.12 as comparações paritárias dos critérios conforme previsto no método. Essas comparações estão representadas pelas barras horizontais e os critérios (ou subcritérios) nas extremidades como é destacado na Figura 4.13.

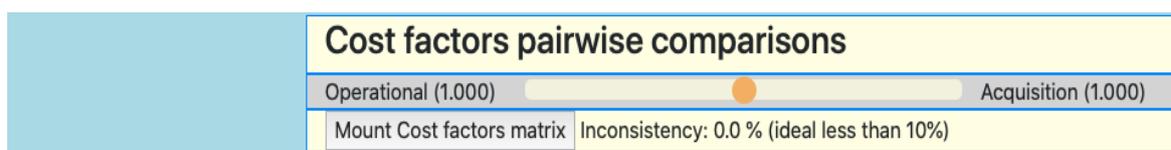


Figura 4.13 – Exemplo de comparação par a par entre os dois tipos de custos.

Todos os parâmetros envolvidos (critérios, subcritérios e alternativas) estão nas caixas com fundo branco à esquerda da tela de interface do módulo e desdobradas nas comparações paritárias ao longo da tela. A Figura 4.12 exibe uma parte das comparações.

Posto isso, o primeiro teste é realizado variando somente as comparações de critérios e subcritérios. Como as notas ainda não foram atribuídas, o valor da classificação entre sistemas concorrentes deve ser igual. Mais uma vez remete-se a Figura 4.12 que apresenta a distribuição de prioridades entre os subcritérios de ILS e os valores de classificação dos sistemas A,B e C continuam idênticos. A Figura 4.14 destaca o resultado idêntico para os três sistemas.

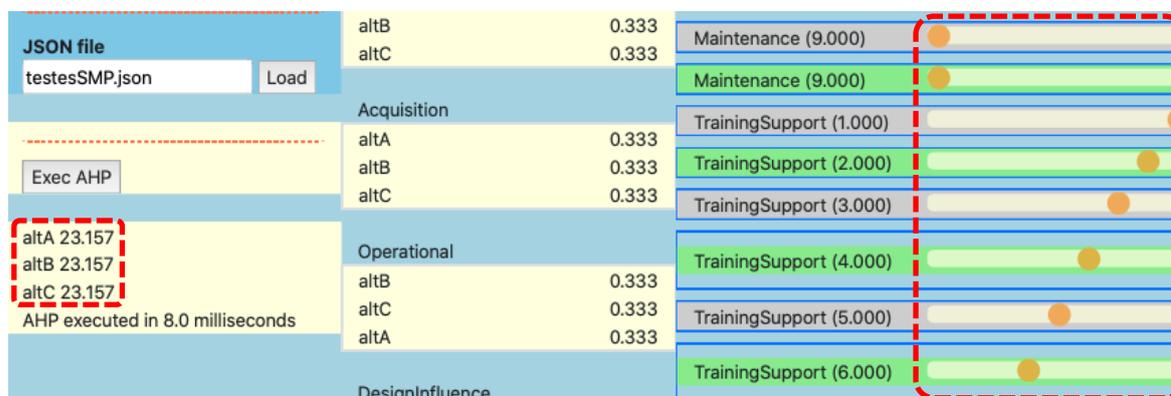


Figura 4.14 – Variação dos critérios sem a variação da ordem classificatória entre os sistemas.

O segundo teste de funcionamento é se a variação das alternativas concorrentes com todos os critérios e subcritérios equilibrados entre si (sem prioridades) gerando uma ordem

classificatória entre eles. A variação da ordem classificatória foi coerente com as notas atribuídas aos sistemas concorrentes (alternativas A, B e C).

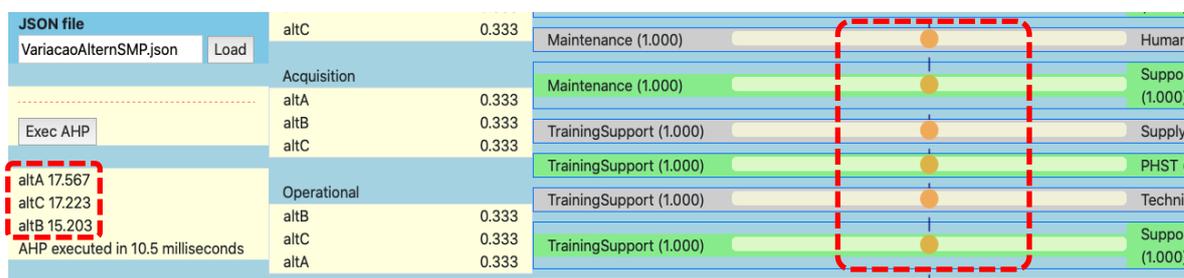


Figura 4.15 – Variação de ordem classificatória em função da variação de notas das alternativas.

Encerrados os testes de funcionamento, segue-se para o teste com a simulação da aquisição de um sistema complexo sob a ótica do modelo proposto.

4.3.3 Estudo de Caso

O Estudo de caso em tela trata da simulação do processo de aquisição de um sistema complexo com três concorrentes, utilizando o **módulo de avaliação da suportabilidade** presente no AeroLogLabTOOL[®]. A finalidade dessa etapa é a verificação funcional do módulo quando aplicado em um cenário hipotético, contudo compatível com a realidade dos processos de aquisições de sistemas complexos de defesa realizados no Brasil.

Nesse cenário, os sistemas A, B e C são concorrentes em um processo de aquisição conduzido pela Força Armada X.

O escalão responsável pelo planejamento da aquisição estabelece os pesos dos critérios técnicos, com a suportabilidade recebendo o Peso 0,3.

A partir disso, O Estado-Maior de X (EMX) determina que as equipes técnicas de cada aspecto (2º nível) conduzam suas atividades para:

- Determinar os pesos de cada subcritério (3º e 4º nível);
- Avaliar cada sistema e pontuar de acordo com a escala fornecida (Figura 4.6); e
- Determinassem a classificação dos concorrentes como melhor opção para aquisição sob o ponto de vista de suas áreas.

Com base nessa diretriz, a equipe técnica da suportabilidade conduz a definição de prioridades entre os subcritérios da suportabilidade.

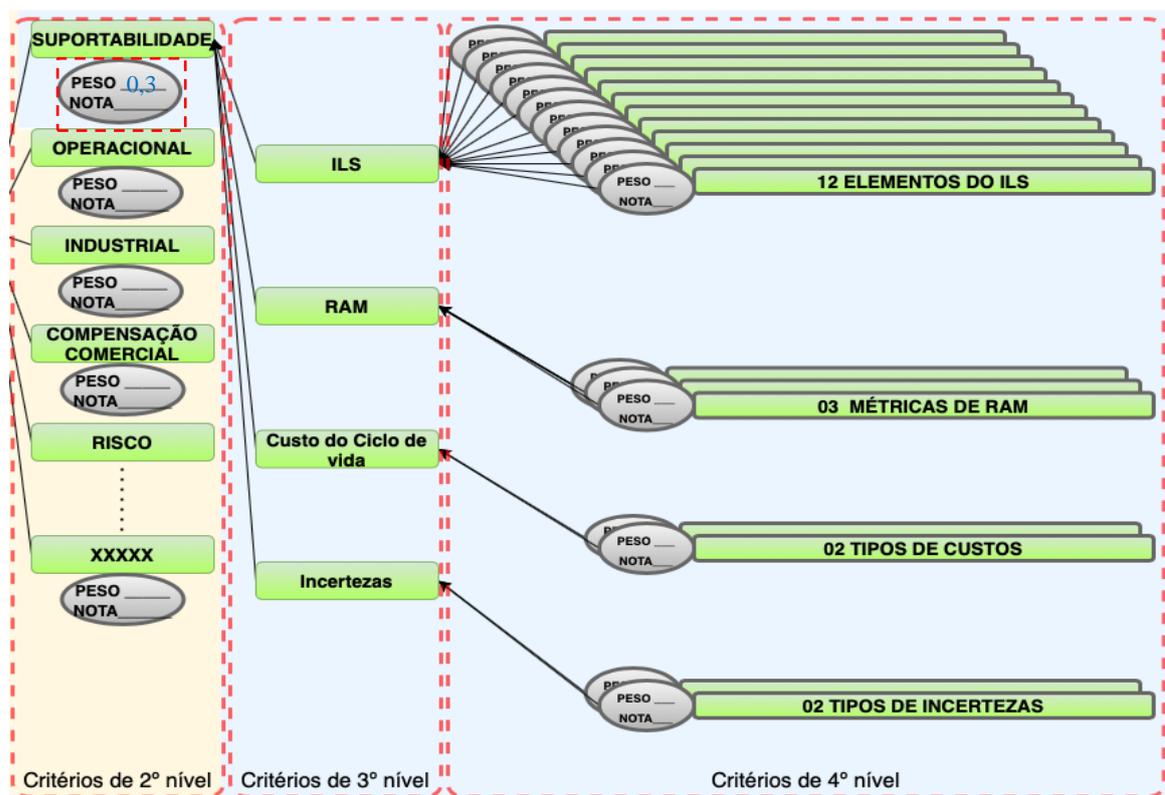


Figura 4.16 – 2º, 3º e 4º níveis de critérios com a nota de suportabilidade.

Utilizando o **módulo de avaliação da suportabilidade** a equipe aproveita a expertise de representantes dos setores da Força X que tem interface, interação ou fazem parte das atividades relativas a suportabilidade dentro da força para determinar os pesos através de comparação paritárias. Serão três grupos de comparação e cada um com seus à saber (com a nomenclatura do módulo):

- 3º nível: Maturidade do ILS (*maturity*);
 - 4º nível: Influência do desenho (*Design influence*);
 - 4º nível: Manutenção (*Maintenance*);
 - 4º nível: Suporte ao treinamento (*Training Support*);
 - 4º nível: Suporte de suprimento (*Supply Support*);
 - 4º nível: Embalagem, manuseio, estocagem e transporte (*PHST*);
 - 4º nível: Dados técnicos (*Technical Data*);
 - 4º nível: Suporte contínuo de engenharia (*Support Engineering*);
 - 4º nível: Gerenciamento do suporte ao produto (*PSM*);
 - 4º nível: Recursos computacionais (*Computer Resources*);

- 4º nível: Facilidades e infraestrutura (*Facilities Infrastructure*);
- 4º nível: Recursos humanos (*Human resources*);
- 4º nível: Equipamentos de suporte (*Support equipment*);
- 3º nível: Disponibilidade (no módulo é chamado de *Availability*);
 - 4º nível: Confiabilidade (*Reliability*);
 - 4º nível: Manutenibilidade (*Maintainability*);
- 3º nível: Custos (no módulo é chamado de *LCC*);
 - 4º nível: Aquisição (*Acquisition*);
 - 4º nível: Operação e suporte (*Operational*);

Após a comparação utilizando o **módulo de avaliação da suportabilidade** o resultado dos pesos dentro do critério técnico Suportabilidade é apresentado na Tabela 4.1:

Tabela 4.1 – Distribuição de pesos na ordem classificatória de prioridades no 3º e 4º níveis.

Ordem de prioridades dentro do critério técnico SUPORTABILIDADE					
2º nível de critérios					
		Suportabilidade	30%		
3º nível de critérios					
Maturidade do ILS	32,4%	Disponibilidade	58,7%	Custo do ciclo de vida	8,9%
4º nível de critérios					
Influência do desenho	23,3%	Confiabilidade	75%	Aquisição	80%
Manutenção	19,1%	Manutenibilidade	25%	Operação e suporte	20%
Suporte ao treinamento	14,9%				
Suporte de suprimento	11,3%				
Embalagem, manuseio, estocagem e transporte	8,5%				
Dados técnicos	6,5%				
Suporte contínuo de engenharia	4,9%				
Gerenciamento do suporte ao produto	3,6%				
Recursos computacionais	2,7%				
Facilidades e infraestrutura	2,1%				
Recursos humanos	1,6%				
Equipamentos de suporte	1,4%				

Na Figura 4.17, é apresentado um extrato dos resultados da tabela acima no **módulo de avaliação da suportabilidade**, com destaque para a avaliação por pares dos critérios de 3º nível.

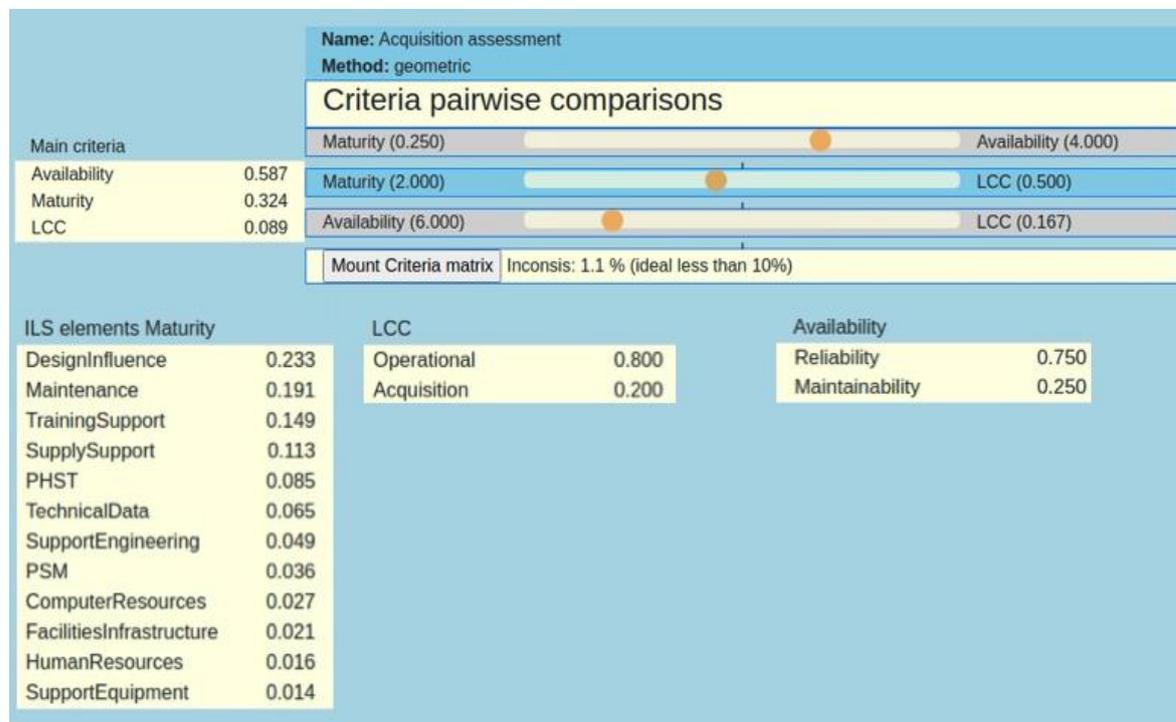


Figura 4.17 – Ordem classificatórias dos critérios de 3º e 4º nível.

De posse da distribuição dos pesos e a classificação de prioridade, é possível confrontar esses dados com a avaliação dos critérios de 4º nível e obter a ordem de prioridade dos sistemas concorrentes.

A seguir, a Tabela 4.2 apresenta o resultado compilado das avaliações dos critérios de 4º nível dos sistemas A, B e C, os pesos e a nota final de cada sistema.

As notas então são atribuídas aos sistemas, dentro de cada critério de 4º nível, conforme uma escala arbitrada pelo EMX. Nesse estudo de caso, utiliza-se a escala da Figura 4.6 como referência.

Também existe a opção no **módulo de avaliação da suportabilidade** de atribuir a classificação entre os concorrentes por meio da comparação par a par disponível para a priorização dos critérios, como pode ser observado na Figura 4.18.

Tabela 4.2 – Notas dos sistemas A, B e C no 2º, 3º e 4º níveis.

	Prioridade	Nota		Nota		Nota	
		inicial	priorizada	inicial	priorizada	inicial	priorizada
Maturidade do ILS	0,324	Sistema A		Sistema B		Sistema C	
Influência do desenho	0,233	0,843	0,196	0,622	0,145	0,674	0,157
Manutenção	0,191	0,845	0,161	0,653	0,125	0,832	0,159
Suporte ao treinamento	0,149	0,600	0,089	0,879	0,131	0,563	0,084
Suporte de suprimento	0,113	0,500	0,065	0,639	0,083	0,772	0,100
Embalagem, manuseio, estocagem e transporte	0,085	0,700	0,060	0,648	0,055	0,638	0,054
Dados técnicos	0,065	0,734	0,048	0,613	0,040	0,727	0,047
Suporte continuado de engenharia	0,049	0,793	0,039	0,650	0,032	0,610	0,030
Gerenciamento do suporte ao produto	0,036	0,843	0,030	0,514	0,019	0,649	0,023
Recursos computacionais	0,027	0,747	0,020	0,827	0,022	0,400	0,011
Facilidades e infraestrutura	0,021	0,535	0,011	0,569	0,012	0,958	0,020
Recursos humanos	0,016	0,780	0,012	0,583	0,009	0,574	0,009
Equipamentos de suporte	0,014	0,835	0,012	0,541	0,008	0,600	0,008
Score Total		A	0,736	B	0,669	C	0,690
Score Total Priorizado			0,238		0,217		0,202
Disponibilidade	0,587	Sistema A		Sistema B		Sistema C	
Confiabilidade	0,750	0,727	0,545	0,658	0,494	0,516	0,387
Manutenibilidade	0,250	0,552	0,138	0,818	0,205	0,808	0,202
Score Total		A	0,683	B	0,698	C	0,589
Score Total Priorizado			0,401		0,410		0,346
Custos	0,089	Sistema A		Sistema B		Sistema C	
Aquisição	0,200	0,732	0,146	0,639	0,128	0,702	0,140
Operação e suporte	0,800	0,673	0,539	0,730	0,584	0,598	0,478
Score Total		A	0,685	B	0,712	C	0,619
Score Total Priorizado			0,061		0,584		0,478
SUPPORTABILIDADE		Sistema A		Sistema B		Sistema C	
Score Total final		A	0,700	B	0,690	C	0,624

A avaliação dos critérios de 4º nível deve ser conduzida por especialistas de cada área. É desejável que essa equipe seja composta por profissionais que detenham o máximo de conhecimento e experiência na área que está sendo avaliada, com o objetivo de atribuir um grau pautado em argumentos técnicos.

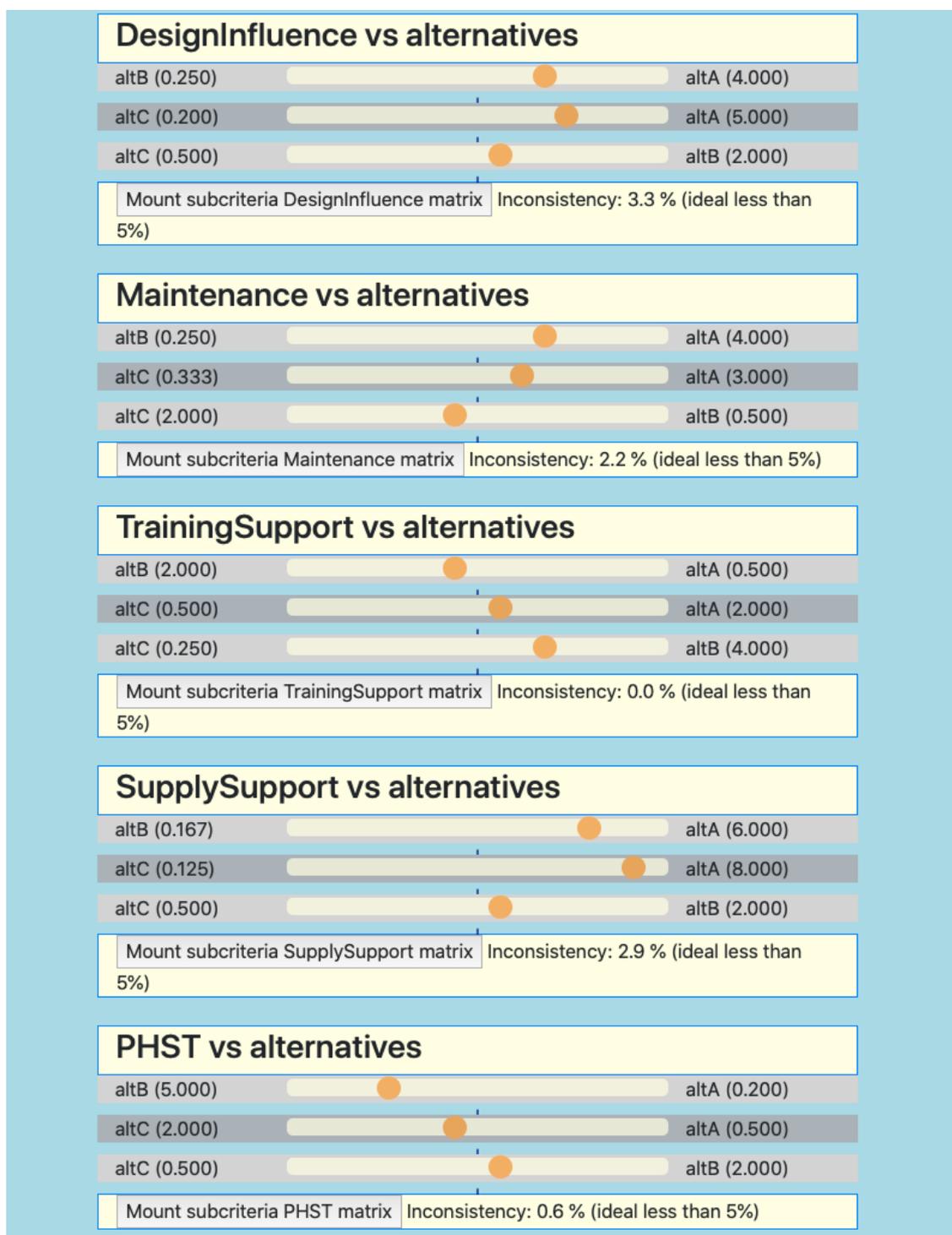


Figura 4.18 – Classificação das alternativas pela comparação par a par.

Após as avaliações, caso algum critério tenha sido avaliado por avaliadores diferentes, é desejável que se faça uma normalização das notas. Entre avaliadores podem ocorrer diferenças de percepção que podem influenciar a atribuição dos graus. A consequência disso é que ao final do processo pode existir um item melhor que outro, segundo aspectos técnicos, contudo recebeu uma nota pior. Assim, o item melhor ficará abaixo do item pior, prejudicando a precisão do processo de seleção.

Além disso, para efeito de transparência por parte da Administração Pública, é desejável que se registre o(s) motivo(s) que subsidiaram a aplicação da nota. Isso permite tanto uma auditoria posterior no processo, facilitando justificativas caso ocorram questionamentos por parte dos concorrentes, como também facilita a normalização das avaliações.

Cabe lembrar que notas inferiores a 0,5 podem desclassificar o concorrente, entretanto isso deve estar previsto em Edital.

O Estudo de Caso apresentado permitiu utilizar o **módulo de avaliação da suportabilidade** em um contexto similar ao real, possibilitando acompanhar suas operações e a evolução do processo de avaliação e classificação de sistemas concorrentes.

A próxima etapa da verificação segue com uma abordagem qualitativa utilizando palavras-chaves como forma de avaliar características do MRAS.

4.3.4 Verificação com Especialistas

A segunda etapa para verificar o MRAS foi a sua avaliação por meio de um questionário preenchido por especialistas.

A finalidade desse documento foi submeter o modelo desenvolvido à avaliação de pessoas com comprovado conhecimento sobre os assuntos abordados e experiência na área, possibilitando a apreciação desse artefato com mais propriedade. As especificidades exigidas reduziram sobremaneira o universos de participantes. As áreas selecionadas foram as seguintes:

- **Aquisições de defesa;**
- **Logística de sistemas complexos de defesa;**
- **Gestão de sistemas complexos de defesa;**
- **Desenvolvimento de sistemas complexos de defesa.**

O instrumento utilizado foi concebido de forma a quantificar aspectos relevantes de forma que permitisse estimar a relevância do modelo. Para isso, foram formuladas perguntas objetivas que avaliassem o grau de completude do ponto questionado.

Os seguintes parâmetros balizaram a formulação das perguntas:

- **Conformidade com as legislações**

A inadequação do modelo ao arcabouço legal inviabiliza sua aplicação real;

- **Estrutura do modelo**

O modelo deve apresentar estrutura clara e de fácil entendimento por pessoas com conhecimento na área;

- **Abrangência**

O modelo deve abarcar o arcabouço de conhecimento acerca do Suporte Logístico Integrado de forma a robustecer o processo;

- **Coerência**

O modelo deve apresentar coerência com relação ao processo;

- **Aplicabilidade**

Além de ser aderente a legislação, o modelo deve ser aplicável;

- **Relevância**

O modelo deve contribuir para o aprimoramento do processo de aquisições de sistemas complexos de defesa.

A partir do direcionamento dos parâmetros citados, as perguntas foram formuladas e disponibilizadas em uma base digital para consulta e preenchimento on-line.

A razão de se utilizar tal recurso é possibilitar que o avaliador não seja induzido pelo pesquisador. Os modelos foram disponibilizados por meio digital e cada avaliador selecionado pôde registrar suas impressões sobre o modelo.

As perguntas foram divididas em duas partes. A primeira parte com indagações objetivas variando de 1 a 5, sendo o grau 1 para “discordo totalmente” e o grau 5 para “concordo plenamente”. Algumas perguntas, por uma questão de semântica tiveram de sofrer variações desses termos. A segunda constituía-se de um campo para que o avaliador se sentisse livre para expressar suas impressões. No total foram 7 participantes na pesquisa.

A seguir, serão apresentadas as Figuras retiradas do relatório gerado com as perguntas e as respostas objetivas em forma de gráfico. Na sequência, ocorrerá uma breve análise das respostas objetivas e os comentários mais pertinentes serão abordados. Comentários do tipo “não tenho dúvidas, “sem comentários” ou algo do gênero não foram transcritos.

Antes de iniciar as perguntas sobre o modelo, duas perguntas registraram a área de conhecimento/experiência e o grau de escolaridade dos avaliadores.

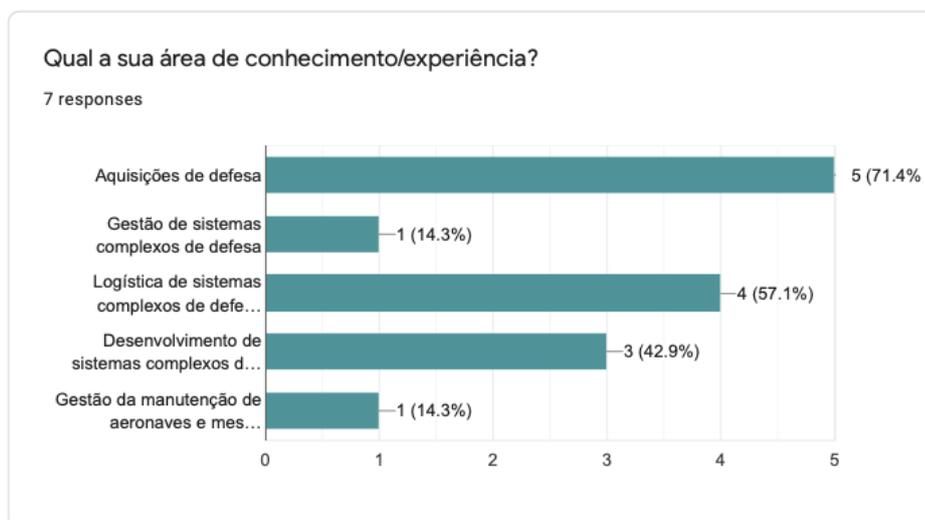


Figura 4.19 – Pergunta 1 do questionário.

As respostas delineiam que a grande maioria tem envolvimento com a área abordada na presente pesquisa. Alguns ainda registraram mais de uma área de conhecimento enriquecendo ainda mais o peso da avaliação.

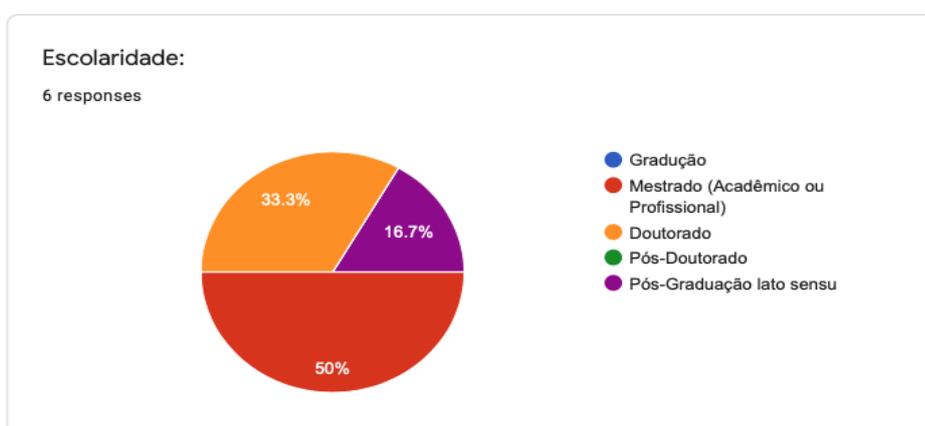


Figura 4.20 – Pergunta 2 do questionário.

As respostas da segunda questão revelam que a maioria dos participantes tem nível escolaridade acima de mestrado.

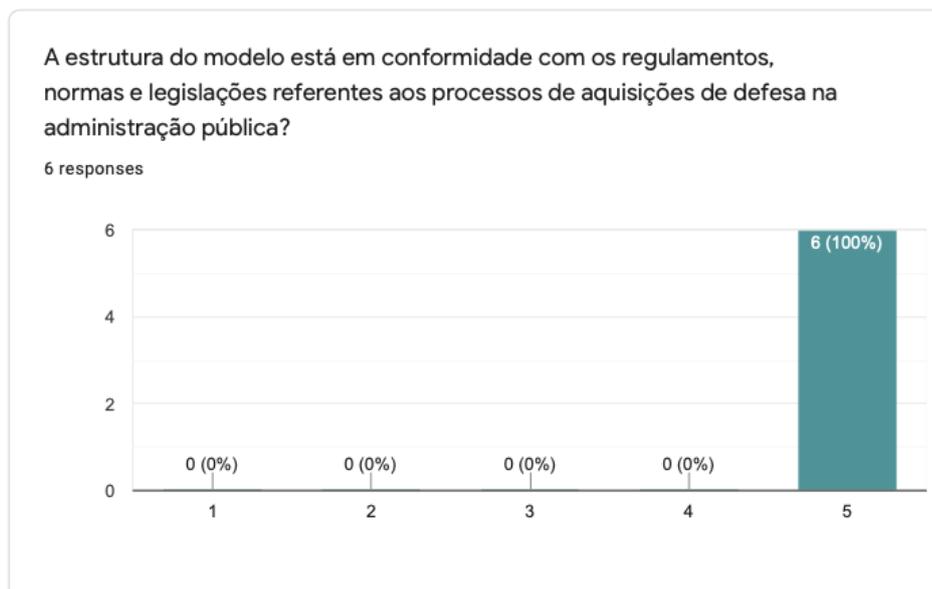


Figura 4.21 – Pergunta 3 do questionário.

Todos os participantes foram unânimes em concordar plenamente com a pergunta.

Os comentários relatam que o modelo está de acordo com as legislações, contudo precisar ser adaptado a algumas normas internas das forças. Também está em sintonia com as visões mais recentes.

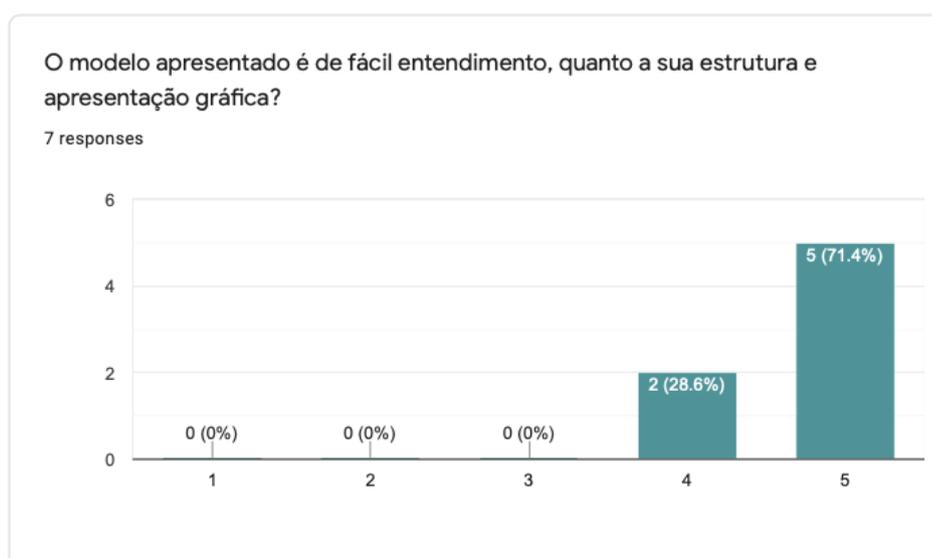


Figura 4.22 – Pergunta 4 do questionário.

As respostas atendem ao objetivo do trabalho no tocante a clareza do modelo pois todas foram positivas e a grande maioria no nível máximo.

Os comentários ressaltam que o modelo está coerente e sua complexidade é decorrente da própria complexidade dos sistemas de defesa.

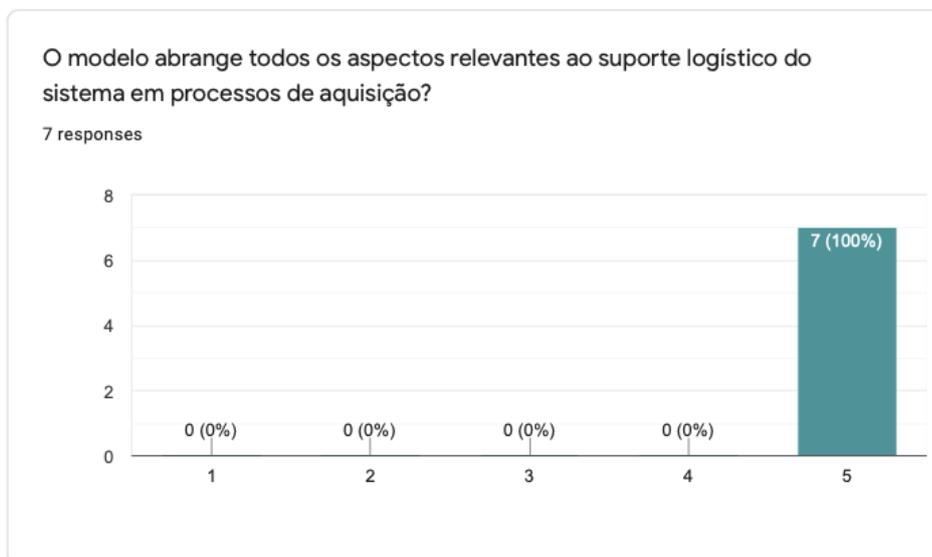


Figura 4.23 – Pergunta 5 do questionário.

Houve consenso por partes dos participantes que o modelo é abrangente quanto ao alcance da aplicação da metodologia do Suporte Logístico Integrado no processo de aquisições de defesa, sendo esse um dos grandes objetivos do modelo.

Os comentários relatam que no campo prático o modelo apresentado é inovador quando comparado às práticas atuais.

Outro participante citou que um modelo dessa natureza, focado em decisões sob o aspecto da logística nas aquisições de defesa é totalmente útil.

O modelo vai auxiliar os elaboradores de requisitos logísticos, técnicos e industriais em saber o que se deve atender sob a ótica da logística em uma aquisição de um produto de defesa.

Também foi ressaltada a questão da preocupação com a alocação do sistema tendo em vista o clima local. Isso pode acelerar o desgaste do material. Essa questão é pertinente e a adoção do estudo de cenários na Fase Interna do processo de aquisição auxilia a evitar problemas com tal situação.

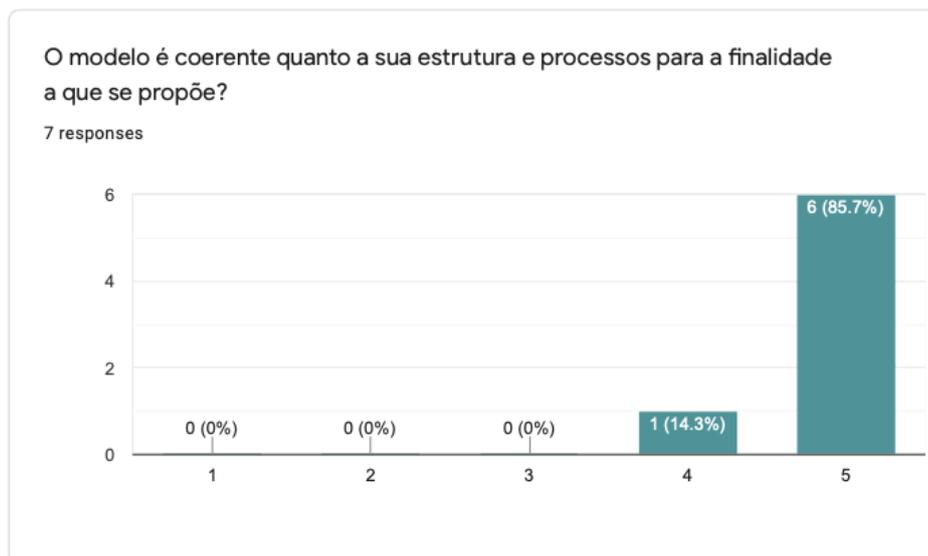


Figura 4.24 – Pergunta 6 do questionário.

Nessa pergunta também houve uma grande concordância por parte dos participantes.

Um deles destaca que a estruturação adotada e o fato de ter sido decomposto em diversos processos, cada um com uma lógica própria a partir de um estágio anterior, auxiliou na compreensão do modelo como um todo.

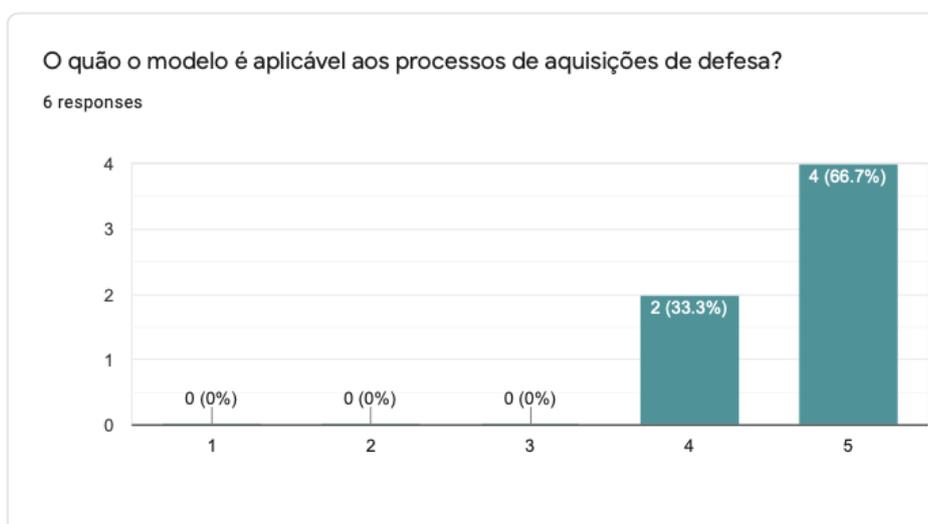


Figura 4.25 – Pergunta 7 do questionário.

As respostas e os comentários fazem referência a necessidade de adequar o modelo a cada organização. Como o modelo tem um caráter generalista, razão de ser denominado como “modelo de referência”, cada setor deve adaptar o modelo a especificidades de suas rotinas.

Outro participante disse que as aquisições de defesa requerem conhecimentos específicos para acompanhar as mudanças tecnológicas e de demandas operacionais, as quais

podem ocorrer de súbito em programas que envolvam produtos complexos. Sendo assim ele acredita que a grande contribuição dessa pesquisa é a capacidade fornecida pelo modelo de tornar a suportabilidade melhor gerenciável em face de mudanças repentinas de cenário.

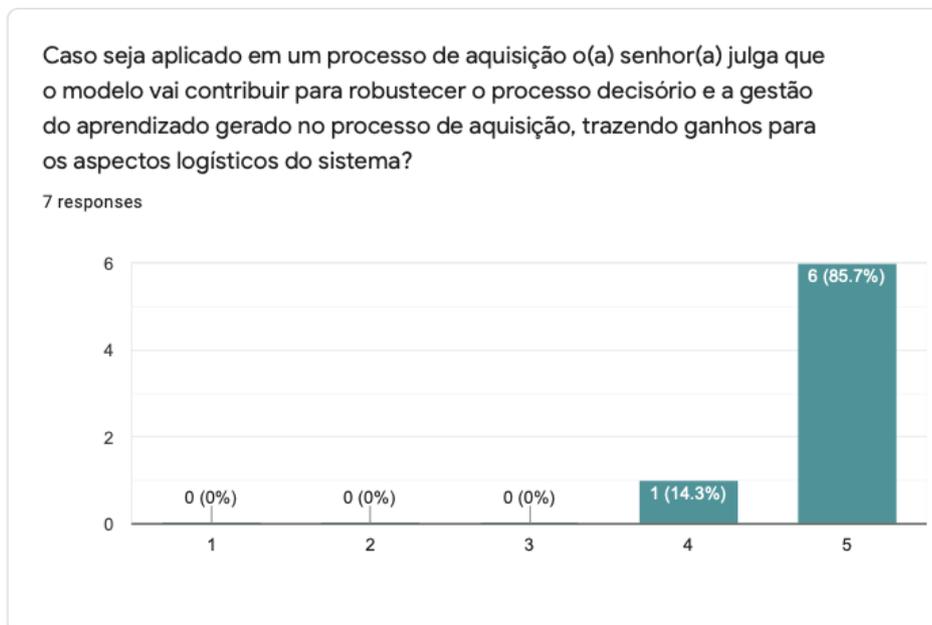


Figura 4.26 – Pergunta 8 do questionário.

Existe um consenso da maioria dos participantes no tocante a relevância do modelo.

Um participante destacou a questão da necessidade da gestão do conhecimento e outro a possibilidade do modelo se tornar um guia para o processo.

Outro participante relatou que em trabalhos anteriores não foi usado nenhuma modelagem como essa e que as existentes eram muito “pobres”. A percepção dele foi que o modelo viabilizou a formatação adequada e as análises para maximizar os ganhos em termos logísticos. Declarou ainda que sob o ponto de vista dele, é uma abordagem muito inovadora.

4.4 Discussão Sobre o MRAS

O modelo de referência para avaliação da suportabilidade (MRAS), desenvolvido nesse trabalho, faz a ponte entre o consolidado conceito do suporte logístico integrado e o complexo processo de aquisições de sistemas complexos de defesa.

O conceito de Gêmeos Digitais trouxe elementos que viabilizaram essa ponte, trazendo abordagens acerca da simulação de cenários para extrair tendências e comportamentos do sistema. Essa abordagem, quando aplicada no contexto da pesquisa,

permite duas vertentes de ganhos. A primeira é aprofundar o conhecimento sobre o desempenho logístico dos sistemas concorrentes.

A abordagem tradicional repousa na avaliação das propostas baseadas nos requisitos previstos em edital. Essa abordagem pode limitar os avaliadores a comparar sistemas somente com base nos aspectos previstos em edital, deixando de explorar as vantagens que um sistema pode oferecer quando vistos de forma global.

Sob o ponto de vista logístico, a complexidade do suporte para um sistema complexo torna complicado, aos olhos de profissionais que não tem um profundo conhecimento na área do Suporte Logístico Integrado, avaliar a maturidade de um Plano de Implantação ou execução de ILS somente por meio de um conjunto de características apresentadas em uma proposta comercial.

Assim, uma abordagem baseada em simular a aplicação do sistema em um cenário próximo da realidade, dá uma outra dimensão ao processo de avaliação. Nesse paradigma, sistemas com desenvolvimentos bem conduzidos podem expor todas as potencialidades obtidas por um projeto maduro. O contrário também é verdade pois sistemas com desenvolvimentos imaturos não conseguirão mostrar o resultado esperado.

Isso facilita a percepção por parte dos avaliadores de possíveis óbices ou limitações que o sistema pode ter e que poderiam passar despercebido tendo em vista a complexidade das combinações que um sistema complexo possui em seu suporte.

Aliado a isso, os processos do MRAS conduzem de forma quase prescritiva a avaliar os sistemas dentro dos elementos do ILS, Métricas de RAM, Custos e incertezas. Assim a junção do “entender o que deve ser visto” com a visão de “o que o sistema faz” (desempenho) e não o que é (características) aumenta a profundidade das avaliações dos sistemas.

Isso permite que um sistema, que é um conjunto de características, seja avaliado de forma global, e aspectos que não estavam presentes em edital, mas serão altamente vantajosos numa ótica global, sejam lavados em conta amparado no princípio da compra mais vantajosa para a união.

Por outro lado, a aplicação desse modelo, pode provocar nas organizações um amadurecimento de seus processos de aquisição pois traz à tona a necessidade de entendimento de sua estrutura, suas capacidades e limitações. A implantação bem-sucedida de um sistema complexo depende tanto da maturidade do ILS do sistema como da capacidade da organização em internalizar esse sistema. Dependendo do sistema a ser adquirido, a

necessidade de preparação por parte da organização com a construção de instalações, oficinas capacitação de pessoal, etc. o PF-2 auxilia nesse planejamento, evidenciando os principais tópicos que devem ser observados.

Contudo, é importante ressaltar que apesar do MRAS facilitar a aplicação das metodologias, ele não dispensa a participação no processo de pessoas capacitadas e com conhecimento na área. O processo permite um nível de otimização que pode ser incrementado quando aplicado por pessoas capacitadas.

A estruturação lógica dos processos com entradas e saídas definidas e aderente com a legislação, oferece uma grande vantagem quando se fala de compras públicas, a rastreabilidade.

O MRAS permeia do início ao fim um processo de aquisição quando aplicado em sua plenitude. Por meio dele um volume expressivo de dados é gerado e se combina com a metodologia do ILS para subsidiar decisões no processo. Isso confere ao processo transparência pois existem processos claros e rastreabilidade devido a capacidade de comprovar os passos com base em dados e aspectos técnicos que embasam as escolhas dos decisores.

Uma outra característica muito conveniente do MRAS é a capacidade de auxiliar as organizações no tocante a previsibilidade de gastos quando da aquisição de um sistema. O modelo provoca o estudo do ciclo de vida do sistema com o foco em seu custo ao longo de sua fase de operação e suporte. Além disso, alerta para gastos como a desmilitarização e descarte de sistemas ao final do ciclo de vida. Determinados sistemas podem exigir um elevado custo nessa fase final. Embarcações militares de grande porte são um exemplo de elevados custos para sua desmobilização.

Portanto, o MRAS aumenta a consciência situacional dos gestores, tomadores de decisão e planejadores com relação ao sistema como um todo, olhando não só para os custos de aquisição, mas para todas as implicações advindas da sua incorporação (ou substituição).

Continuando, o MRAS ainda pode ser adaptado para interagir com outras aplicações, como otimizadores de estoque, de manutenção, ferramentas de simulação, etc. A implementação dessas funcionalidades pode trazer resultados positivos tendo em vista a capacidade de refinar os processos e trabalhar melhor os dados presentes no MRAS. Essa arquitetura também é encontrada em Gêmeos Digitais, onde a ferramentas de inteligência

artificial são adicionadas para tratar especificamente de algum tipo e fornecendo elementos mais refinados para subsidiar ações (decisões).

As próprias ferramentas de simulação podem se tornar verdadeiras aliadas da modelagem do processo de aquisição. Ferramentas de realidade virtual, realidade aumentada ou realidade mista auxiliam a enxergar aspectos importantes como características de desenho da manutenibilidade, por exemplo processos de manutenção, inspeções e outros procedimentos que podem se tornar sérios gargalos durante a operação do sistema.

Aproveitando o gancho sobre os Gêmeos Digitais, é importante destacar a outra característica já citada no trabalho, a capacidade de aprendizado. O volume dados gerado no decorrer do processo e alocado em PF-4 permite que exista um processo de melhoria contínua pois o próximo processo já pode aproveitar toda a base de conhecimento gerada pelo anterior. Em organizações militares onde a rotatividade do pessoal é uma característica da força, tal característica auxilia a evitar descontinuidade na maturidade dos processos de aquisição.

A aplicação em um estudo de caso traz uma reflexão sobre a complexidade que recai sobre a aquisição de um sistema complexo de defesa. O desdobramento dos níveis de critérios até chegar em atributos que possam ser quantificados forma uma árvore de critérios/requisitos com uma dimensão considerável. Aliado a isso, se houver um número grande de alternativas, a combinação entre alternativas e critérios pode atingir dimensões difíceis de se gerenciar, correndo o risco de se incorrer em falhas durante a avaliação e seleção. Assim a aplicação de um processo de pré-seleção conhecido no mercado como *Short-list* auxilia a reduzir o número de participantes, deixando somente os que tem real potencial de atender a demanda.

4.5 Considerações Finais do Capítulo

Esse Capítulo coroou o presente trabalho com a aplicação da metodologia que culminou na concepção do Modelo de Referência para Avaliação da Suportabilidade (MRAS).

Em seguida, uma sequência de testes e verificações checaram as funcionalidades do módulo de avaliação da suportabilidade presente em PF-1.

Um estudo de caso com uma aplicação do módulo em um processo de avaliação hipotético e a avaliação de especialistas enriqueceram as verificações e possibilitaram ampliar as discussões sobre o trabalho encerrando o presente Capítulo e abrindo espaço para as conclusões finais que fecham o ciclo dessa pesquisa.

5 Conclusão

Encerrando o presente trabalho, esse Capítulo trata das considerações finais acerca de todo o caminho percorrido ao longo da pesquisa aqui apresentada.

Inicia retornando aos questionamentos do Capítulo 1 por meio da pergunta da pesquisa e dos objetivos elencados, de forma a delinear os passos percorridos durante a pesquisa, finalizando com as contribuições geradas e propostas de trabalho futuros identificadas.

5.1 Pergunta da Pesquisa

No Capítulo 1, a contextualização do problema levou a seguinte pergunta:

“Como melhorar o processo de avaliação, classificação e seleção das melhores propostas sob o ponto de vista da suportabilidade, aplicando a metodologia do suporte logístico integrado de forma sintética, possibilitando ao tomador de decisão uma visão geral do custo do sistema e seu desempenho logístico ao longo do ciclo de vida?”

Para responder essa pergunta, foram traçados os Objetivos Específicos de forma a auxiliar na execução desse trabalho de pesquisa.

O OE1 foi atingido na revisão da literatura executada no Capítulo 2 onde os conceitos de aquisição de defesa, do Ciclo de Vida e da suportabilidade de Sistemas Complexos, foram definidos e compreensão deles embasou o desenvolvimento da metodologia.

O OE2 também foi atingido quando explorou no Capítulo 2 o conceito dos Gêmeos Digitais e foram identificadas características possíveis de auxiliar na resolução do problema da pesquisa.

A metodologia foi apresentada no Capítulo 3, atingindo o OE3.

No Capítulo 4 a metodologia concebeu o modelo. Batizado pelo acrônimo de MRAS, o artefato foi submetido a uma série de testes e avaliações de forma a verificar aspectos como aderência, abrangência, aplicabilidade, clareza e consistência. Com isso atendeu-se ao que foi proposto em OE4.

Ao final do Capítulo 4, o Estudo de Caso e a avaliação com especialistas fomentou a discussão sobre o MRAS.

Encerrando a pesquisa, nesse Capítulo ficaram registradas as contribuições do MRAS, algumas limitações encontradas e possibilidades de pesquisas futuras identificadas no decorrer desse trabalho. Ao final, encerra-se o ciclo com o atendimento de OE5.

5.2 Contribuições

Do presente trabalho pode-se extrair três contribuições principais.

A primeira tem um caráter acadêmico pois organiza e estrutura todo o processo de seleção de sistemas complexos e sua suportabilidade de forma classificável e permitindo sua crítica e reavaliação contínua. Ainda dispõe o modelo de forma aderente a legislação e adaptável conforme a realidade tanto do tipo de aquisição como da organização.

A segunda tem um caráter gerencial, que não só descreve o que tem que ser feito em um processo de seleção do ponto de vista da suportabilidade do sistema ao longo do restante de seu ciclo de vida, mas também descreve e modela suas entradas e saídas para a continuidade do melhor suporte possível para o sistema em pauta.

A terceira se dá por apresentar um modelo que permite total rastreabilidade do processo (aditável). O modelo foi implementado como ferramenta em desenvolvimento no AeroLoglabTOOL[®] com a utilização de um algoritmo baseado no método AHP como ferramenta de seleção.

5.3 Limitações e Sugestões de Trabalhos Futuros

Algumas limitações foram identificadas ao longo desse trabalho, sendo a primeira delas sobre a limitação de pesquisas na área de estruturação de problemas complexos com a finalidade de modelar o problema da aquisição de sistemas complexos de defesa. Durante o trabalho foi comentado sobre a questão do entendimento de óbices e carências na organização que poderiam vir a se tornar problemas durante a implantação de um sistema. Isso sugere a necessidade de se aprofundar os estudos nessa área do conhecimento.

Além disso, A limitação para produtos prontos, disponíveis no mercado, se dá a complexidade de se tratar com a questão da comprar com desenvolvimento. Entretanto esse é o próximo passo quando se tem em vista o fortalecimento da Base Industrial de Defesa (BID). Sendo assim esse é um problema que deve ser atacado.

A questão do risco ilustrado pelo termo “incertezas logísticas” no decorrer do trabalho, é complexo tendo em vista a união de aspectos qualitativos e quantitativos para sua

identificação e valoração. Em face das recentes exigências da união com relação ao gerenciamento do risco em contratações executadas por órgãos públicos, esse assunto merece ser melhor explorado.

O detalhamento das atividades dentro de cada elemento do ILS e dos demais tópicos presentes nos critérios de 4º nível também foi uma limitação tendo em vista a vastidão de aspectos presente em cada um deles. Durante as pesquisas observou-se que os requisitos gerados para aquisição de sistemas possuem um grande potencial para aplicação do conteúdo desses elementos.

Com base nos apontamentos destacados, as sugestões de pesquisas futuras são as seguintes:

- Pesquisas para estruturação do problema de aquisição com o foco no entendimento das necessidades e limitações da organização, buscando modelos que ajudem a compreender melhor esse contexto;
- Pesquisas que abordem a avaliação, classificação e seleção durante a aquisição de sistemas complexos de defesa com a possibilidade de desenvolvimento; e
- Pesquisas com o foco em elicitação de requisitos logísticos de sistemas complexos de defesa baseados na metodologia do ILS.
- Pesquisas sobre a aplicação de Gêmeos Digitais em sistemas complexos durante a fase de aquisição e operação.

Referências

- ABRAHÃO, FERNANDO T. M. **Tópico:** logística no desenvolvimento de sistemas complexos. São José dos Campos: ITA, 2017a. Notas de Aula 01 MB-249.
- ABRAHÃO, FERNANDO T. M. **Tópico:** Logística no Desenvolvimento de Sistemas Complexos. São José dos Campos: ITA, 2017b. Notas de Aula 04 MB-249.
- ABRAHÃO, FERNANDO T. M. *et al.* Development of the aerologlabtool. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL & LOGÍSTICA DA MARINHA*, 19., 2019, Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2019.
- ABREU, H. F. Apoio logístico integrado : peculiaridades da indústria de defesa e tecnologia. **Revista Brasileira de Estudos de Defesa**, v. 2, n. 1, 2015.
<https://doi.org/10.26792/rbed.v2n1.2015.51459>.
- ALEXANDER, I. F.; BEUS-DUKIC, L. **Discovering requirements: how to specify products and services**. West Sussex: John Willey & Sons, 2009.
- AMARANTE, J. C. A. do. A base industrial de defesa brasileira. **Texto para Discussão nº 1758**, v. 1, p. 1–45, 2012.
- AMARO, L. P. **Proposta de um modelo para a pré-aquisição de produtos de defesa em organizações das Forças Armadas nos primeiros níveis de maturidade**. 175f. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2012.
- AEROSPACE AND DEFENCE INDUSTRIES ASSOCIATION OF EUROPE. **International guide for the use of the S-Series Integrated Logistic Support (ILS) specifications**. [S.l.]: ASD, 2018.
- BABBITT, G. T. **An historical review of the integrated logistic support charter**. Fort Belvoir: Defense Systems Management School, 1976. Disponível em:<<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA026568.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2020.
- BARBALHO, F. A. **Rotinas, projetos e disseminação de inovações no governo eletrônico: o caso da E-PING**. 2009. 155 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.
- BLANCHARD, B. S. Cost effectiveness, system effectiveness, integrated logistics support, and maintainability. **IEEE Transactions on Reliability**, v. R-16, n. 3, p. 117-126, 1967.
- BLANCHARD, B. S. **Logistics engineering and management**. 6th ed. Londres: Pearson, 2004.
- BLANCHARD, B. S.; BLYLER, J. E. **System engineering management**. New York: John Wiley & Sons, 2016.
- BLANCHARD, B. S.; VERMA, D.; PETERSON, E. L. **Maintainability a key to effective serviceability and maintenance management**. New York: John Wiley & Sons, 1995.

BOHN, E. C. **Indústria de defesa e processos de aquisição de defesa no Brasil: uma sugestão de debate baseado em modelos para países em desenvolvimento**. 2014. Dissertação (Mestrado em Estudos Estratégicos Internacionais) - UFRGS, Porto Alegre, 2014.

BRASIL. **Decreto Nº 12.598, de 22 de março de 2012**. Brasília, DF: Ministério da Defesa, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/Decreto/D6703.htm>. Acesso em: 20 set. 2020.

BRASIL. Exército. Estado-Maior. **Catálogo de capacidades do Exército**. Rio de Janeiro: Exército, 2014.

BRASIL. Ministério da Defesa. Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas do Brasil. **Manual de boas práticas para a gestão do ciclo de vida de sistemas de defesa - Md40-M-01**. Brasília, DF: Ministério da Defesa, 2020. v. 1, 177p.

BRICK, E. S. Logística de defesa: Uma subárea do conhecimento de importância estratégica para as ciências de gestão. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 12, n. 2, p. 303-331, 2016.

BRUYNSEELS, K.; DE SIO, F. S.; VAN DEN HOVEN, J. Digital twins in health care: ethical implications of an emerging engineering paradigm. **Frontiers in Genetics**, v. 9, n. FEB, p. 1-11, 2018.

CUNHA, M. B.; AMARANTE, J. C. A. O livro branco e a base científica, tecnológica, industrial e logística de defesa. **Revista da Escola de Guerra Naval**, v. 17, n. 1, p. 11-32, 2011.

DALLOSTA, P. M.; SIMCIK, T. A. Designing for supportability. **Defense AT&L**, p. 34-38, April, 2012.

DEFENCE ACQUISITION UNIVERSITY. **Defense acquisition guidebook**. Fort Belvoir, 2020. Disponível em: <<https://www.dau.edu/tools/dag>>. Acesso em: 20 jul. 2020.

DEFESANET.COM.BR. **SIPRI: gastos militares globais alcançaram u\$ 1,9 trilhão em 2019**. 2020. Disponível em: <<https://www.defesenet.com.br/bid/noticia/36563/SIPRI---Gastos-Militares-Globais-alcancaram-U%24-1-9-Trilhao-em-2019/>>. Acesso em: 18 out. 2020.

DEITZ, D. *et al.* Improving program success through systems engineering tool in pre-milestone B Acquisition Phase. **Defense A R Journal**, v. 20, n. 3, p. 283-308, 2013.

DUARTE, A. H.; SANTOS, A. C. dos. A gestão do custo do ciclo de vida no desenvolvimento de produtos de defesa nas forças armadas brasileiras. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE INOVAÇÃO E GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 12., 2019, Brasília, DF. **Anais [...]** São Paulo: Blucher, 2019.

DUARTE, E. E. Tecnologia militar e desenvolvimento econômico: uma análise histórica. Érico Esteves Duarte 47. **Texto para discussão nº 1748**, v. 1748, 2012.

FERREIRA, E. Z. **Seleção de aeronave operacional da força aérea brasileira utilizando a metodologia multicritério de apoio à decisão - construtivista**. 2011. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2011.

- FREITAS, W. L. S. de. **Método de análise hierárquica**: estudo de caso na priorização de projetos. 2003. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2003.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4^a ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- HOBDAY, M. Product complexity, innovation and industrial organisation. **Research Policy**, v. 26, n. 6, p. 689-710, 1998.
- HOBDAY, M. The project-based organisation: an ideal form for managing complex products and systems? **Research Policy**, v. 29, n. 7-8, p. 871-893, 2000.
- INCOSE. **Systems engineering handbook**. New York: Wiley, 2015.
- IRIGON, A. D. **Model design recommendations for treating Rogue Units**. 2020. 170 f. Dissertation (Master's in science in the Program Space Sciences and Technologies) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2020.
- JONES, D. *et al.* Characterising the digital twin: a systematic literature review. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 29, p. 36-52, 2020.
- JONES, G. *et al.* Investigation into the ratio of operating and support costs to life-cycle costs for dod weapon systems. **Defense ARJ**, v. 21, n. 1, p. 442-464, 2014.
- KRITZINGER, W. *et al.* Digital twin in manufacturing: a categorical literature review and classification. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 1016-1022, 2018.
- KRÜGER, S.; BORSATO, M. Developing knowledge on digital manufacturing to Digital Twin: a bibliometric and systemic analysis. **Procedia Manufacturing**, v. 38, n. 2019, p. 1174-1180, 2019.
- LAMBERT, K. R. Insights into beyond-life complex systems suffering from obsolescence. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 29, n. 2, p. 65-73, 2018.
- LESSA, N. de O. **Uma proposta de metodologia de apoio ao planejamento estratégico das Forças Armadas baseado em capacidades**. 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2006.
- MA, X. *et al.* Digital twin enhanced human-machine interaction in product lifecycle. **Procedia CIRP**, v. 83, p. 789-793, 2019.
- MADNI, A.; MADNI, C.; LUCERO, S. Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering. **Systems**, v. 7, n. 1, p. 7, 2019.
- MARINHO, B. C.; CORRÊA, L. D. P.; ALVES, E. O. A inovação no setor de defesa e seus benefícios para a sociedade. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PROPRIEDADE INTELECTUAL, 3., 2017, Santo Ângelo. **Anais [...]**Aracaju: API, 2017. p. 64-71.
- MARINS, C. S.; SOUZA, D. DE O.; BARROS, M. DA S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) Na tomada de decisões gerenciais - um estudo. **Xli Sbpo**, p. 11, 2009.

MIGUEL, P. A. C. (Coord). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 4^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

NASCIMENTO, L. F. **Modelo multicritério de apoio à decisão para classificação de risco em operações com aeronaves embarcadas**. 2012. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2012.

NASCIMENTO, L. P. A. da S. **Aplicação do método AHP com as abordagens ratings e BOCR: o projeto F-X2**. 2010. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2010.

PAGAN, R. P.; DA SILVA, C. E. S.; MELLO, C. H. P. Projeto conceitual no processo de desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos: estudos de caso em empresas incubadas. **Revista Produção Online**, v. 13, n. 3, p. 1089, 2013.

PÂNGARO, E. L. de A. **Aquisição de sistemas militares complexos e o suporte logístico integrado: desenvolvendo um novo conceito**. Rio de Janeiro: Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, 2018.

PARNELL, G. S.; DRISCOLL, P. J.; HENDERSON, D. L. **Decision making in systems engineering and management**. 2nd ed. New Jersey : Wiley, 2010.

PERLO-FREEMAN, S. *et al.* Trends in world military expenditure, 2012. **SIPRI**, April, p. 1-8, 2013.

PRZMIENIECKI, J. S. **Acquisition of defense systems**. Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1993.

QI, Q. *et al.* Enabling technologies and tools for digital twin. **Journal of Manufacturing Systems**, n. October, 2019. Doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.10.001

RIBEIRO, M. C.; ALVES, A. DA S. Aplicação do método analytic hierarchy process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. **Sistemas & Gestão**, v. 11, n. 3, p. 270-281, 2016.

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina., Florianópolis, 2003.

ROZENFELD, H. *et al.* **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006. 542p.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SCHIMIDT, F. L.; ASSIS, L. R. S. A dinâmica recente do setor de Defesa no Brasil: análise das características e do envolvimento das firmas contratadas. **Texto para discussão IPEA**, v. 1878, p. 69, 2013.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4^a ed. Florianópolis: UFSC, 2005, 138p.

TAO, F. *et al.* Digital Twin in industry: state-of-the-art. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 15, n. 4, p. 2405-2415, 2019.

UHLEMANN, T. H. J.; LEHMANN, C.; STEINHILPER, R. The Digital Twin: realizing the cyber-physical production system for industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 61, p. 335-340, 2017.

UNITED STATES. Department of Defense. **DOD Directive 5135.02**. Whashington, DC: DoD, 2020.

UNITED STATES. Department of Defense. **DoD guide for achieving reliability, availability, and maintainability**. Whashington, DC: DoD, 2005.

UNITED STATES GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICES. **Weapon system sustainment selected Air Force and Navy Aircraft generally have not met availability goals, and DOD and Navy guidance need to be clarified**. Washington, D.C.: Report to Congressional Committees, 2018. GAO-18-678.

VERNADAT, F. B. **Enterprise modeling and integration: principles and applications**. Londres: Chapman & Hall, 1996.

VIEIRA, L. A. Inovação tecnológica e contratos de interesse da defesa nacional. **Revista Eletrônica de Direito do Estado**, n. 182, 2016.

WANG, Z. Digital Twin technology. *In*: BÁNYAI, Tamás (ed). **Industry 4.0: impact on intelligent logistics and manufacturing**. London: IntechOpen, 2020. p. 95-114.

WELLINGTON, C.; ALMEIDA, L. de. Mercado e defesa nacional: o papel das licitações públicas. **Revista do TCU**, n. 103, 2005.

WERNER, A.; ZIMMERMANN, N.; LENTES, J. Approach for a holistic predictive maintenance strategy by incorporating a digital Twin. **Procedia Manufacturing**, v. 39, p. 1743-1751, 2019.

Apêndice A – Curriculum Vitae dos Participantes da Pesquisa

A.1 Participante A

- Formado pela Academia Militar das Agulhas Negras (Serviço de Intendência);
- Graduado em Direito;
- Mestre em Direito em contratos envolvendo desenvolvimento de tecnologias pela Universidade de Coimbra;
- Doutorando em Acordos de compensação tecnológica pela Universidade de Coimbra;
- 02 Livros publicados na área de Acordos de compensação e contratos envolvendo tecnologia;
- Especialista em Aquisições de sistemas complexos de defesa;

Serviu durante 15 anos no Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro e ocupou as funções de assessor jurídico e especialistas em contratos. Ficou envolvido durante 10 anos no projeto estratégico Guarani do Exército.

A.1 Participante B

- Formado pela Academia Militar das Agulhas Negras (Serviço de Intendência);
- MBA em Finanças Públicas pela FGV;
- MBA em Gerenciamento de Projetos pela IBMEC;
- Pós-graduação em Gestão da Administração Pública – UCB/RJ;
- Diversos cursos de especialização na área de aquisições com o foco em contratos de sistemas em desenvolvimento;

Especialista em contratos de aquisição de sistemas complexos no Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro, tem mais de 10 anos nessa área. Atua em contratos de aquisições com o desenvolvimento tecnológico do sistema. Participa de processos de aquisição de diversos sistemas complexos do Exército Brasileiro.

A.1 Participante C

- Formado pela Academia Militar das Agulhas Negras (Comunicações);
- Mestrado na área de Engenharia de Sistemas pelo Instituto tecnológico de Aeronáutica;
- Doutorado na área Gestão tecnológica aeroespacial pelo Instituto tecnológico de Aeronáutica;

Especialista em gestão de sistemas complexos está a mais de 08 anos envolvido com o projeto SISFRON do Exército Brasileiro.

A.1 Participante D

- Formado pela Academia Militar das Agulhas Negras (Comunicações);
- Especialista em gestão de manutenção de frotas de aeronaves;
- Mestrado em gestão estratégica de defesa;

Especialista em manutenção de aeronaves com mais de 25 anos de experiência na área. Comandou a unidade responsável pelas revisões e inspeções gerais da frota de aeronaves do Exército Brasileiro. Já foi o representante do Brasil na França junto a Airbus Helicópteros e atualmente é o assessor do Comandante Logístico do Exército Brasileiro.

A.1 Participante E

- Formado pela Academia Militar das Agulhas Negras (Serviço de Intendência);
- Especialista em Gestão de manutenção de frotas de aeronaves;
- MBA em Gestão e Administração Pública;

Especialista em manutenção de aeronaves com mais de 30 anos de experiência na área. Já ocupou funções de chefe de todo o depósito aeronáutico da Aviação do Exército, gestor de contratos de manutenção aeronáutica e integrou a equipe de modernização das aeronaves da Aviação do Exército. Comandou a unidade responsável pela logística da 5ª Divisão de Exército. Exército Brasileiro.

A.1 Participante F

- Graduação em Engenharia da Computação;
- Mestrado em Engenharia de Sistemas Aeroespaciais no INPE;

- Doutorado pelo ITA e MIT em Sistemas aeroespaciais;

Possui mais de 10 anos de experiência em Engenharia de sistemas e 5 anos em desenvolvimento de nano satélites.

A.1 Participante G

- Tecnólogo em manutenção de aeronaves;
- Graduação e Engenharia mecânica;
- Especialização em Programação e desenvolvimento de sistemas;
- Mestrado em Computação pela USP;
- Doutorando pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica;

Mais de 20 anos de experiência em manutenção e gestão de manutenção de aeronaves.

Mais de 15 ano de experiência na área de contratos envolvendo sistemas complexos.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

^{1.} CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">DM</p>	^{2.} DATA <p style="text-align: center;">18 de janeiro de 2021</p>	^{3.} REGISTRO N° <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/DM-094/2020</p>	^{4.} N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">129</p>
^{5.} TÍTULO E SUBTÍTULO: <p>Modelo de referência para avaliação de suportabilidade em processos de aquisição de sistemas complexos de defesa, inspirado no conceito de gêmeos digitais</p>			
^{6.} AUTOR(ES): <p>Leandro da Fonseca Assumpção</p>			
^{7.} INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): <p>Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA</p>			
^{8.} PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: <p>Suporte Logístico Integrado, Aquisições de Defesa, Sistemas Complexos</p>			
^{9.} PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: <p>Suporte logístico integrado; Sistemas complexos; Produtos de defesa; Modelos de decisão; Engenharia.</p>			
^{10.} APRESENTAÇÃO: (X) Nacional () Internacional <p>ITA, São José dos Campos. Curso de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais. Área de Gestão Tecnológica. Orientador: Prof. Dr. Cel. Av. Fernando Teixeira Mendes Abrahão. Defesa em 16/12/2020. Publicada em 2020.</p>			
^{11.} RESUMO: <p>Este trabalho de pesquisa trata do problema de Suporte Logístico Integrado envolvendo frotas de sistemas complexos. Mais especificamente, trata do processo de aquisição, ponto crucial que resulta em boa parte da suportabilidade definida para esse tipo de sistemas quando adquiridos prontos, comumente chamado de COTS (do inglês <i>Commercial of the Shelf</i>). O processo de aquisição de produtos de defesa (PRODE) e produtos estratégicos de defesa (PED) implica um desafio significativo para poder ter sucesso, principalmente sob a ótica da suportabilidade, especialmente para que todo o conhecimento disponível e adquirido durante o processo de seleção possa se transformar nas medidas de desempenho finalísticas esperadas para o sistema a ser adquirido. Normalmente, maior atenção é dispensada a critérios técnicos e operacionais do que para os de suporte logístico. Isto é evidenciado pelos problemas enfrentados por frotas desses sistemas, iniciando na fase de implementação nas organizações que o demandaram e podendo se estenderem ao longo do seu ciclo de vida. Este trabalho sugere um arcabouço de ferramentas e processos para tornar possível a aplicação dos conceitos presentes no Suporte Logístico Integrado em processos de aquisição de sistemas complexos, utilizando como inspiração características presentes e evidenciadas no conceito de Gêmeos Digitais. O modelo é testado quanto a sua abrangência, consistência, coerência e aderência por meio de uma série de verificações funcionais, de um estudo de caso envolvendo três propostas diferentes de sistemas para atender a uma demanda e da opinião de especialistas com comprovada experiência e conhecimento nas áreas que a presente pesquisa abarca. O trabalho apresenta três contribuições principais, sendo elas conceituais e gerenciais. A primeira é a organização e estruturação para aplicação do conhecimento acerca do Suporte Logístico Integrado no processo de seleção de sistemas complexos de forma classificável, permitindo sua crítica e reavaliação contínua. A segunda é não somente a descrição do que deve ser feito em um processo de seleção do ponto de vista da suportabilidade do sistema ao longo do restante de seu ciclo de vida, mas também a modelagem das entradas e saídas para a continuidade do melhor suporte possível. Finalmente, a terceira contribuição repousa em apresentar um modelo que permite a rastreabilidade das ações e decisões durante todo processo, tornando-o facilmente auditável. Parte do modelo foi implementado como ferramenta em desenvolvimento no AeroLoglabTOOL[®] com a utilização de um algoritmo baseado no método AHP como ferramenta de seleção.</p>			
^{12.} GRAU DE SIGILO: <p style="text-align: center;">(X) OSTENSIVO () RESERVADO () SECRETO</p>			