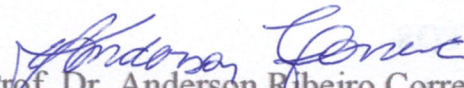


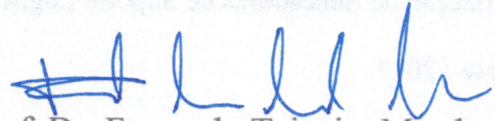
Dissertação ou Tese apresentada à Pró-Reitoria de Pós-Graduação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, Área de Transporte Aéreo e Aeroportos.

Fernando Dias Coelho Capuano

PRIORIZAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO DE SUPORTE LOGÍSTICO UTILIZANDO ABORDAGEM MULTICRITÉRIO

Tese aprovada em sua versão final pelos abaixo assinados:


Prof. Dr. Anderson Ribeiro Correia
Orientador


Prof. Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão
Coorientador

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

Campo Montenegro
São José dos Campos, SP – Brasil
2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Dias Coelho Capuano, Fernando

Priorização de Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico Utilizando Abordagem Multicritério / Fernando Dias Coelho Capuano.

São José dos Campos, 2017.

132f.

Dissertação de Mestrado – Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica, Transporte Aéreo e Aeroportos – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ano. Orientador: Prof. Dr. Anderson Ribeiro Correia

1. Suporte Logístico. 2. Decisão Multicritério. 3. Priorização de Indicadores. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título Priorização de Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico Utilizando Abordagem Multicritério

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CAPUANO, F.D.C. **Priorização de Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico Utilizando Abordagem Multicritério.** 2017. 132 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica. Área Transporte Aéreo e Aeroportos – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Fernando Dias Coelho Capuano

TÍTULO DO TRABALHO: Priorização de Indicadores de Suporte Logístico Utilizando Abordagem Multicritério

TIPO DO TRABALHO/ANO: Tese / 2017

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias desta tese 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).

Fernando Dias Coelho Capuano
Rua Bárbara Knippelberg Loureiro 203 Apto 91B
CEP: 12243-040, São José dos Campos - SP

**PRIORIZAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO DE
SUPORTE LOGÍSTICO UTILIZANDO ABORDAGEM
MULTICRITÉRIO**

Fernando Dias Coelho Capuano

Composição da Banca Examinadora:

Profa. Dra.	Mischel Carmen Neyra Belderrain	Presidente	- ITA
Prof. Dr.	Anderson Ribeiro Correia	Orientador	- ITA
Prof. Dr.	Fernando Teixeira Mendes Abrahão	Coorientador	- ITA
Profa. Dra.	Giovanna Miceli Ronzani Borille	Membro Interno	- ITA
Prof. Dr.	Hélcio Vieira Júnior	Membro Externo	- Telebrás

ITA

Agradecimentos

Agradeço à Deus, por ter sempre me guiado por caminhos seguros, permitindo que eu chegasse até essa extraordinária instituição de ensino, berço da indústria aeronáutica brasileira. Agradeço à minha esposa Andréa e aos meus filhos Rafael, Júlia e Bruna, luzes da minha vida, pela compreensão nos momentos de ausência e incentivo nas horas difíceis. Agradeço de forma especial ao meu orientador, Prof. Dr. Anderson Ribeiro Correia, pelo entendimento das minhas capacidades e limitações e pelos incentivos à constante superação e ao meu coorientador Prof. Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão, Coronel Aviador, pela amizade, companherismo e pelas inúmeras orientações e conselhos, extremamente valiosos e sempre enriquecidos por suas experiências e exemplos. À Prof^a Dr^a Mischel Carmen Neyra Belderrain agradeço pelos valiosos ensinamentos e a disponibilidade em me ajudar na construção desse trabalho. Finalmente agradeço ao Prof. Dr. Henrique Costa Marques, Coronel Aviador da Reserva Remunerada, pelos longos anos de amizade e pelo apoio irrestrito durante todo o curso.

" Não se espante com a altura do voo. Quanto mais alto, mais longe do perigo. Quanto mais você se eleva, mais tempo há de reconhecer uma pane. É quando se está próximo do solo que se deve desconfiar."

(Alberto Santos Dumont)

Resumo

As atividades de aviação comercial e militar requerem, para o sucesso de suas operações, níveis adequados de prontidão de suas frotas obtidos por meio das atividades de suporte logístico, realizado ao longo dos ciclos de vida. Os gerentes de suporte logístico necessitam de ferramentas de auxílio à decisão, capazes de processar adequadamente dados produzidos de forma cada vez mais abundante por via computacional, mas que requerem processamento e análise para dar o correto subsídio às decisões gerenciais de suporte logístico. Por outro lado, a literatura científica relacionada aos modelos de decisão multicritério voltados para suporte de sistemas de maior complexidade técnica é escassa e muito focada na manutenção de equipamentos industriais. Esse trabalho analisou metodologias de priorização de indicadores de desempenho de suporte logístico com abordagens multicritério utilizando o Método de Análise Hierárquica, do inglês *Analytic Hierarchical Process* (AHP) e o Método de Análise em Redes, do inglês *Analytic Network Process* (ANP) de forma a verificar se os mesmos são adequados e se os resultados obtidos em cada um deles diferem significativamente. A conclusão a que se chegou foi de que ambos os métodos são adequados, porém o Método AHP, quando comparado ao Método de Análise em Redes (ANP), proporciona uma interpretação de resultados mais clara e coerente com as estratégias de suporte definidas, além de ser de aplicação mais fácil em casos reais.

Abstract

Commercial and military aviation operational activities require adequate levels of readiness of fleets to be successful. Such levels can be only achieved by means of logistics support activities carried out throughout aircrafts lifecycles. Logistical support managers need decision-making tools that can process properly data that is computationally produced in an increasingly abundant manner and require processing and interpretation to support management decisions. On the other hand, scientific literature related to multicriteria decision-making models for logistics support of systems of greater technical complexity is scarce and focused on the maintenance of industrial equipment. This work evaluated methodologies of prioritization of logistic support performance indicators with multicriteria approaches using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Analytic Network Process (ANP) to verify their suitability as a decision-making tool and if their results differ significantly. We concluded that both methods are adequate, but the AHP method provides a clearer and more consistent interpretation of results and it is easier to be applied in real cases, when compared to the ANP method.

Lista de Figuras

FIGURA 1.1 – Aumento da geração de dados em aeronaves	17
FIGURA 2.1 - Comparação entre hierarquia e rede.....	44
FIGURA 2.2 - Estrutura padrão de uma supermatriz de uma rede.....	46
FIGURA 2.3- Equilíbrio entre desempenho e suporte.....	53
FIGURA 2.4 – A disponibilidade operacional e seus componentes.....	58
FIGURA 3.1 – Modelo AHP de priorização de indicadores de suporte logístico.....	70
FIGURA 3.2 – Modelo ANP de priorização de indicadores de suporte logístico.....	73
FIGURA 4.1 – Arquitetura de suporte proposta para o caso caças.....	78
FIGURA 4.2 – Arquitetura de suporte proposta para o caso aeronaves de transporte.....	80
FIGURA 4.3 – Arquitetura de suporte proposta para o caso helicópteros.....	82

Lista de Tabelas

TABELA 2.1 – Escala fundamental de números absolutos.....	42
TABELA 2.2 – Índice Randômico.....	43
TABELA 3.1- Matriz de comparação entre indicadores de disponibilidade e critério Manutenção.....	70
TABELA 3.2 – Matriz de alcane global.....	74
TABELA 3.3 – Matriz local de comparação entre indicadores de disponibilidade sob o critério TAT.....	74
TABELA 4.1 – Resultado geral das priorizações.....	83
TABELA 4.2 – Comparação das prioridades – aeronaves de caça.....	85
TABELA 4.3 – Comparação das prioridades – aeronaves de transporte.....	86
TABELA 4.4 – Comparação das prioridades – helicópteros.....	87

Glossário

BASE AÉREA – Organização de uma Força Aérea com sede em local fixo que tem como objetivo dar apoio logístico e administrativo às suas Unidades Aéreas sediadas.

BASE AÉREA DESDOBRADA – Estrutura de apoio montada provisoriamente em localidade a ser definida com o objetivo de dar apoio logístico e administrativo à Unidades Aéreas.

FLY BOOM - Sistema de abastecimento entre duas aeronaves em voo baseado em uma tubulação de passagem de combustível conectada à aeronave reabastecedora capaz de ser controlada aerodinamicamente e direcionada para a aeronave abastecida.

FLY BY WIRE – Sistema de controle das superfícies aerodinâmicas de uma aeronave baseado em uma rede de atuadores, cabos elétricos e computadores de bordo.

HELMET MOUNTED DISPLAY (HMD) – Sistema de capacete equipado com visor de projeção de imagens e informações.

PARQUE DE MANUTENÇÃO CENTRAL – organização de uma Força Aérea responsável pela coordenação e execução de atividades de suporte logístico de uma determinada frota de aeronaves.

PROBE AND DROGUE - Sistema de abastecimento entre duas aeronaves em voo baseado na conexão de uma mangueira que parte da aeronave reabastecedora e é estabilizada aerodinamicamente por uma cesta, o que permite a conexão de dispositivo da aeronave abastecida e a transferência de combustível.

UNIDADE AÉREA – Organização de uma Força Aérea encarregada de operar uma frota de aeronaves em missões militares específicas.

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Contextualização.....	14
1.2 Motivação.....	16
1.3 Definição do Problema.....	18
1.4 Premissas.....	21
1.5 Objetivos.....	21
1.6 Contribuições.....	22
1.7 Estrutura do trabalho.....	22
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	23
2.1 A evolução do suporte logístico.....	23
2.2 A medição de desempenho de manutenção no suporte logístico.....	30
2.3 Os métodos de Análise Hierárquica (AHP) e Análise em Redes (ANP).....	40
2.4 A medição de desempenho por meio de critérios e indicadores.....	47
2.5 Indicadores de desempenho de suporte logístico.....	49
2.6 Características do suporte logístico na fase de operação.....	53
2.7 A lógica do suporte logístico.....	56
3 METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO DE SUPORTE LOGÍSTICO.....	63
3.1 A priorização de indicadores de desempenho com o método AHP.....	68
3.2 A priorização de indicadores de desempenho com o método ANP.....	71
4 A APLICAÇÃO DO MÉTODO EM CASOS SIMULADOS.....	76
4.1 Aeronaves de Caça.....	77
4.2 Aeronaves de Transporte.....	79
4.3 Helicópteros.....	81
4.4 Resultados e Análises.....	83
6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88

Referências.....	90
Apêndice A – Resultados – Caso Caças.....	93
A.1 – Tabelas de comparação par a par preenchidas para o método AHP.....	93
A.2 – Matriz não Balanceada para o método AHP.....	94
A.3 – Matriz balanceada para o método AHP.....	95
A.4 – Matriz limite para o método AHP.....	96
A.5 – Tabela de julgamentos de critérios ANP.....	97
A.6 – Tabela de julgamentos de indicadores de disponibilidade – ANP.....	98
A.7 – Tabela de julgamentos de indicadores de manutenção – ANP.....	99
A.8- Tabela de julgamentos de indicadores de suprimento – ANP.....	100
A.9 – Tabela de julgamento de indicadores de mão de obra – ANP.....	101
A.10 – Tabela de julgamento de indicadores de confiabilidade – ANP.....	102
A.11 – Supermatriz não balanceada – ANP.....	103
A.12 – Supermatriz balanceada – ANP.....	105
A.13 – Supermatriz limite – ANP.....	105
Apêndice B – Resultados – Caso Aeronaves de Transporte.....	106
B.1 – Tabelas de comparação par a par preenchidas para o método AHP.....	106
B.2 – Matriz não Balanceada para o método AHP.....	107
B.3 – Matriz balanceada para o método AHP.....	108
B.4 – Matriz limite para o método AHP.....	109
B.5 – Tabela de julgamentos de critérios ANP.....	110
B.6 – Tabela de julgamentos de indicadores de disponibilidade – ANP.....	111
B.7 – Tabela de julgamentos de indicadores de manutenção – ANP.....	112
B.8- Tabela de julgamentos de indicadores de suprimento – ANP.....	113
B.9 – Tabela de julgamento de indicadores de mão de obra – ANP.....	114
B.10 – Tabela de julgamento de indicadores de confiabilidade – ANP.....	115
B.11 – Supermatriz não balanceada – ANP.....	116
B.12 – Supermatriz balanceada – ANP.....	117

B.13 – Supermatriz limite – ANP.....	118
Apêndice C – Resultados – Caso Helicópteros.....	119
C.1 – Tabelas de comparação par a par preenchidas para o método AHP.....	119
C.2 – Matriz não Balanceada para o método AHP.....	120
C.3 – Matriz balanceada para o método AHP.....	121
C.4 – Matriz limite para o método AHP.....	122
C.5 – Tabela de julgamentos de critérios ANP.....	123
C.6 – Tabela de julgamentos de indicadores de disponibilidade – ANP.....	124
C.7 – Tabela de julgamentos de indicadores de manutenção – ANP.....	125
C.8- Tabela de julgamentos de indicadores de suprimento – ANP.....	126
C.9 – Tabela de julgamento de indicadores de mão de obra – ANP.....	127
C.10 – Tabela de julgamento de indicadores de confiabilidade – ANP.....	128
C.11 – Supermatriz não balanceada – ANP.....	129
C.12 – Supermatriz balanceada – ANP.....	130
C.13 – Supermatriz limite – ANP.....	131
Apêndice D – Currículo dos especialistas.....	132

1 Introdução

1.1 Contextualização

As atividades de aviação comercial e militar utilizam, em suas operações, aeronaves de grande complexidade técnica e elevados custos de desenvolvimento, de aquisição e de operação. Tal complexidade advém não apenas das características de desenvolvimento e fabricação, como também do cumprimento de normas técnicas de certificação das aeronaves, de seus subsistemas, tais como motores, trem de pouso, equipamentos embarcados, por exemplo e mesmo de componentes básicos como tubulações hidráulicas, parabrisas, peças mecânicas, entre outros. Ao serem realizados investimentos no desenvolvimento e na aquisição de tais ativos, seus operadores, sejam eles companhias de aviação comercial ou forças aéreas, esperam que os seus objetivos econômicos ou militares sejam atingidos ou superados. O conceito multidisciplinar de Engenharia de Sistemas foi criado para o desenvolvimento de sistemas de grande complexidade técnica, tais como aeronaves, o qual tem início com a concepção de uma necessidade operacional passando, em seguida, pela elaboração de requisitos, pelo desenvolvimento, pela fabricação, pela utilização e finalmente pela desativação (BLANCHARD, 1998). O objetivo da metodologia seguida pela Engenharia de Sistemas é reduzir riscos e custos e garantir produtos representativos das necessidades operacionais, logísticas e financeiras de seus operadores. No intuito de garantir a conformidade da utilização dos produtos concebidos por meio da Engenharia de Sistemas, o conceito de Suporte Logístico Integrado, do inglês *Integrated Logistics Support* (ILS) foi desenvolvido de forma a considerar os diversos aspectos da logística de suporte, os quais devem interagir de forma integrada e sinérgica na busca das melhores soluções. A origem do ILS remonta os anos anteriores à década de 1950 em eventos ocorridos antes, durante e após a Segunda Guerra Mundial, no qual houve um rápido desenvolvimento de sistemas bélicos (JONES 2006). Anteriormente ao conflito, os equipamentos militares apresentavam pouca complexidade, porém a rápida evolução dos cenários de emprego de equipamentos bélicos na Guerra Fria exigiu sistemáticas mais avançadas no desenvolvimento de sistemas capazes de cumprir missões cada vez mais difíceis tecnicamente. Os fatos históricos indicam que, no princípio, os sistemas eram desenvolvidos de forma experimental, sem a garantia de sucesso e sem foco nos custos, o que ocasionava, muitas vezes, desperdício de tempo e de recursos. Nos anos que se seguiram ao pós-guerra surgiram novas metodologias de Gerenciamento de

Projetos e de Engenharia de Sistemas, as quais visavam a estruturar o projeto (*design*) e a fabricação de novos equipamentos com base em necessidades operacionais à custos mais previsíveis e controlados. A evolução natural desse modelo foi a busca de metodologias de sustentação à utilização dos sistemas, com o estudo das atividades logísticas fundamentais ao suporte logístico e a concepção dos Elementos de Suporte Logístico, que deveriam ser observados ao longo dos ciclos de vida. A evolução desse conceito, feita após 1962, foi o tratamento dos Elementos de Suporte Logístico de forma integrada com a criação da metodologia de Suporte Logístico Integrado, do inglês *Integrated Logistica Support* (ILS), no qual nove Elementos de Suporte Logístico: Manutenção; Estoque de Peças; Informações Técnicas; Embalagem, Armazenamento e Transporte; Equipamentos de Apoio; Infraestrutura; Recursos Computacionais; Treinamento; e Mão de Obra integram-se de maneira complementar, de forma a se evitar duplicidades de recursos investidos (BLANCHARD, 2003). Nos anos 80 a metodologia da Análise de Suporte Logístico, do inglês *Logistics Support Analysis* (LSA) trouxe para a fase de *design* as considerações sobre o suporte, o que permitiu um grande avanço no desempenho do suporte dos sistemas projetados com o uso dessa metodologia. O conceito de ILS, como vislumbrado na sua concepção, incluía uma abordagem voltada ao ciclo de vida a fim de se planejar, desenvolver, adquirir e operar sistemas e equipamentos, maximizar a prontidão e minimizar custos (BLANCHARD, 2003). Tendo em vista a consolidação do ILS como um método eficaz de suporte aos sistemas desenvolvidos o conceito foi ampliado em 2011 pelo Departamento de Defesa dos EUA (DoD) e pelo Conselho de Especificação de normas ILS, o qual representa as associações de conglomerados das maiores indústrias do ramos aeroespacial mundial, com a agregação de mais três elementos de suporte logístico integrado e a evolução do termo ILS para o termo IPS, Suporte Integrado do Produto, do inglês *Integrated Product Support* (IPS). Os elementos acrescidos foram: Influência no Projeto (*Design*), Gerenciamento de Suporte ao Produto e Engenharia de Sustentabilidade, descritos na norma SX000i (2016). Desses novos elementos, o Gerenciamento de Suporte ao Produto do inglês *Product Support Management* (PSM) é o que agrega as atividades de gerenciamento ao suporte do sistema ao longo do ciclo de vida dos sistemas, os quais podem atingir várias décadas. Durante a fase de operação o gerenciamento das atividades de suporte é de responsabilidade dos gerentes de suporte logístico, os quais tem a responsabilidade de verificar o desempenho adequado das atividades de suporte de uma frota e propor medidas que mantenham a sua prontidão no maior nível possível, com um mínimo de demanda por recursos financeiros (PSM Guidebook, 2016).

Como forma de auxílio ao gerenciamento de suporte ao produto e, não obstante à observância das atividades ligadas à implementação do conceito de ILS/IPS para o suporte às frotas de sistemas de defesa ou de transporte aéreo comercial, estudos foram realizados baseados em Pesquisa Operacional pesada, do inglês *Hard* utilizando metodologias tais como, programação linear e não-linear, heurísticas e meta-heurísticas. O foco de tais pesquisas concentra-se na solução de problemas operacionais e de manutenção e a obtenção de soluções computacionais capazes de aperfeiçoar o uso dos sistemas, por meio da solução de problemas modelados com funções-objetivo e restrições. A literatura ainda é incipiente no uso de modelos baseados em Pesquisa Operacional branda do inglês *Soft*, nos quais não existem funções-objetivo e restrições, mas a escolha de uma solução mais adequada baseadas na seleção de critérios e análises matemáticas comparativas de opções. Do ponto de vista de aplicações militares ou da indústria da aviação comercial, a diversidade de cenários de utilização de aeronaves exige dos gerentes de suporte das frotas a tomada de decisões envolvendo um grande número de critérios e fatores, as quais podem ser sustentadas por metodologias de apoio à decisão. A proposta desse trabalho foi a de verificar a aplicação de algumas das metodologias existentes as quais possam contribuir para a tomada de decisões voltadas ao suporte logístico.

1.2 Motivação

Não obstante às práticas clássicas de suporte logístico, o contexto moderno indica a que as aplicações de Tecnologia da Informação (TI), tais como, grandes amostragens de dados, do inglês *Big Data*, Internet das coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT) e atividades de manutenção com suporte de TI, do inglês *E-maintenance* são capazes de produzir e difundir, em tempo real, milhares de dados de desempenho das aeronaves. O desafio atual, no entanto, é selecionar as informações de interesse e utilizá-las da forma mais adequada ao gerenciamento do suporte da frota, de forma a prevenir falhas e manter elevada a disponibilidade das aeronaves. De acordo com a revista *Aviation Week & Space Technology*, em artigo de 8 de janeiro de 2016 intitulado “Big Data: Encontrando as pepitas da manutenção, do inglês *Big Data: Finding The MRO Nuggets*” modelos como o Airbus A320, produzido na década de 80, geram cerca de 15.000 parâmetros de desempenho de seus sistemas em cada voo. Já os gigantescos A380, produzidos nos anos 2000, geram 250.000 parâmetros e os A350, os quais iniciaram suas operações em 2016 e são equipados com

computadores e soluções de TI de maior capacidade geram cerca de 400.000, o que dá a dimensão da rápida evolução tecnológica da capacidade de monitoramento das aeronaves.

Ainda, segundo o mesmo artigo, as empresas de aviação comercial questionam os benefícios de tamanha quantidade de informações, uma vez que exigem grandes investimentos em recursos técnicos e humanos para o seu gerenciamento e correto aproveitamento. Seja qual for o tratamento dado aos dados obtidos, o objetivo será sempre o de aumentar a disponibilidade da frota e reduzir os períodos de manutenção. Em 4 de janeiro de 2016 o mesmo periódico publicou o texto “Opinião: *Big Data* de aeronaves? Ótimo. Mas para que?”, do inglês *Opinion: ‘Big Data’ from Aircraft? Great. But for what?*” no qual alerta que, não obstante a tecnologia de obtenção de informações contribuir para melhoria das operações de voo, da confiabilidade dos sistemas, da sua manutenção e de sua segurança, a mesma está muito à frente da capacidade de planejamento de como utilizá-las. Em 3 de março de 2016 a revista *Aviation Week & Space Technology* publicou o artigo “A logística do F-35 pode ser vulnerável à ataques cibernéticos, do inglês *F-35 Logistics system may be vulnerable to cyberattack*”, no qual comenta sobre as medidas de proteção cibernética necessárias aos dados gerados pelo sistema de suporte logístico do caça de última geração F-35 Lighting II, o que ilustra a real dimensão da complexidade tecnológica e do volume de informações gerados por cada aeronave.

Aumento da Geração de Dados por Aeronaves

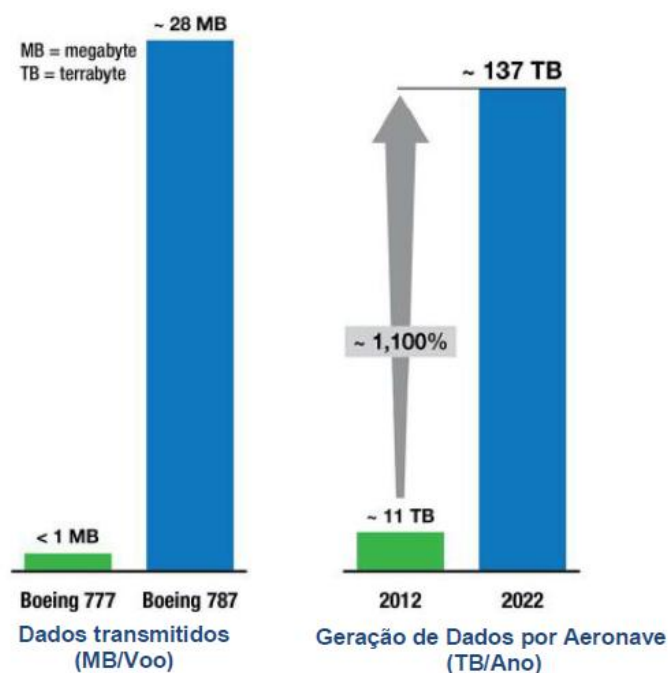


Figura 1.1 : Aumento da geração de dados por aeronaves: Fonte revista AWST

Em 5 de maio de 2017 a mencionada publicação lança o artigo “*Big Data* demanda grande atenção na Indústria aeroespacial e de defesa”, do inglês *Big Data commands big attention in Aerospace and Defense*” ressalta que o Boeing 777, uma aeronave da década de 90 transmitia menos de 1 MB de dados em cada voo, enquanto que um Boeing 787, que passou a operar cerca de 20 anos depois, transmite cerca de 28 MB por voo. Segundo o artigo, em 2022 cada aeronave irá gerar cerca de 137 TB de dados por ano (Figura 1.1).

O suporte logístico de aeronaves está, portanto, evoluindo com extrema rapidez e complexidade, principalmente no que se refere à produção de informações de desempenho de aeronaves e de seus sistemas embarcados. As decisões de suporte logístico, no que refere à prontidão da frota, dependerão, a partir de agora, muito menos da busca de informações e, cada vez mais, de ferramentas que capazes de transformar os dados produzidos, sempre que adequado, em indicadores que possam fornecer em informações e inteligência que, de fato, auxiliem os gerentes de suporte logístico na tomada de decisões que levem ao aumento da disponibilidade das frotas. Diante dessa realidade, a motivação desse trabalho é contribuir para a melhoria das decisões gerenciais de suporte logístico pela elaboração de um modelo de auxílio à decisão capaz de sintetizar e priorizar as informações logísticas necessárias às decisões gerenciais, a partir das quais ações serão executadas para a sustentação das frotas de aeronaves nos níveis de prontidão planejados.

1.3 Definição do problema

Quando se trata de sistemas de maior complexidade técnica, como aeronaves comerciais ou militares, uma parte muito importante da aquisição da frota é o seu suporte logístico, provido durante todo o ciclo de vida e desenvolvido com o objetivo de permitir tanto a frota atingir os níveis de prontidão requeridos quanto manter os custos de operação em patamares previsíveis. A importância do suporte logístico pode, muitas vezes, determinar a escolha do modelo de aeronave a ser adquirida.

A aquisição de uma frota de aeronaves e de seu Suporte Logístico Integrado (ILS) pode contemplar quantidades distintas de peças de reposição, equipamentos de apoio, treinamentos, equipamentos computacionais e construção ou preparação de instalações, dependendo do nível de contratações de empresas especializadas ou da internalização de atividades. Deverá haver um planejamento estratégico de utilização e de suporte da frota que deverá ser acompanhado e controlado por um gerente de suporte logístico, responsável por intervir junto aos executores das atividades de suporte logístico para que as falhas e desvios

observados sejam corrigidos de forma tempestiva. Um exemplo disso pode ser uma ameaça nos níveis de disponibilidade da frota em virtude de alterações nos níveis de estoque de peças de reposição em virtude de um maior uso ou em virtude de índices de confiabilidade abaixo do previsto, o que deve ser corrigido pelos setores de procura e aquisição.

O gerenciamento do suporte logístico de uma frota de aeronaves pode ser realizado de diversas formas e com o uso de metodologias e ferramentas computacionais variadas. Segundo Franceschini *et al* (2009), o uso de indicadores de desempenho é bastante adequado nas atividades de gerenciamento, uma vez que indicadores podem ser considerados representações simples de modelos.

As atividades de manutenção foram consideradas, durante décadas, como as únicas necessárias para a preservação dos níveis de disponibilidade das máquinas ou equipamentos de produção, sendo que a sua execução tinha como objetivo reduzir custos. Com a evolução dos sistemas, o gerenciamento das atividades de suporte, as quais abrangem todos os elementos do Suporte Logístico Integrado (ILS) e não apenas a manutenção, passou a ser objeto de estudo e, conseqüentemente, seus indicadores de desempenho. Verifica-se, no entanto, o problema da ausência de uma metodologia capaz de priorizá-los, de acordo com uma estratégia de suporte específica para uma determinada frota, de forma a auxiliar as decisões dos gerentes de suporte logístico nas atividades de acompanhamento e controle do suporte logístico.

O Manual de Logística Baseada em Desempenho, do inglês *Performance Based Logistics Guidebook* (PBL Guidebook 2016), o qual é a interface entre órgãos governamentais americanos com a indústria de defesa, para efeito de contratação de serviços de suporte logístico à frotas de aeronaves militares, ressalta a importância da correta seleção de indicadores para a correta execução dos serviços contratos e seu acompanhamento por parte do gerente de suporte logístico. O manual, no entanto, apesar de agregar experiências desenvolvidas em décadas de atividades de suporte de sistemas de grande complexidade, apenas sugere alguns cuidados a serem observados na seleção dos indicadores com foco na capacidade de execução contratual por parte das empresas prestadoras de serviços de suporte. O *PBL Guidebook* (2016) não fornece, portanto, um modelo de seleção de indicadores de desempenho capaz de auxiliar a tomada de decisões do gerente de suporte ao produto, do inglês *Product Support Manager* (PSM), assim como, o seu guia de atuação, o *PSM Guidebook* (2016) não sugere modelos de auxílio à decisão.

Ao se verificar a literatura mais próxima do assunto, referente à metodologias de medição de desempenho de atividades de suporte, destaca-se o estudo de Van Horenbeek e

Pintelon (2014) que utilizam o Método de Análise em Redes, do inglês *Analytic Network Process* (ANP) para priorizar indicadores de desempenho de manutenção, basicamente de equipamentos industriais e, portanto, fora do conceito mais amplo de Suporte Logístico Integrado, obtendo um resultado satisfatório, uma vez que os aspectos ligados à manutenção são totalmente conectados, por meio de uma rede de relacionamentos, permitindo também a comunicação entre indicadores relacionados de outros níveis hierárquicos. O método ANP, no entanto, mostrou-se uma ferramenta potencialmente interessante para a priorização de indicadores de desempenho de suporte logístico, uma vez que o conceito de Suporte Logístico Integrado remete à conexão total dos seus elementos, como uma rede. O método ANP também agrega características desejadas de coerência hierárquica, coerência com a estratégia de suporte planejada e capacidade de agregar informações relevantes.

Não obstante o método ANP ser vislumbrado como o mais adequado para a estruturação de um modelo de priorização de Indicadores de Suporte Logístico, observado o trabalho de Van Horenbeek e Pintelon (2014), o mesmo é de aplicação mais complexa, o que pode dificultar a sua utilização prática. O Método de Análise Hierárquica, do inglês *Analytic Hierarchy Process* (AHP), de aplicação mais simples, é também capaz de priorizar indicadores, ainda que não de forma integrada como no ANP, uma vez que as relações sistêmicas são apenas hierárquicas, ou seja, subcritérios são priorizados de acordo com a importância relativa dos critérios do nível imediatamente acima. A questão que se apresenta, portanto, é se o método AHP é capaz de priorizar os indicadores de desempenho de uma forma representativa da estratégia de suporte apenas com hierarquias de critérios e subcritérios.

O trabalho elaborou modelos de priorização de indicadores de desempenho de suporte logístico comparando a aplicação do método ANP utilizado por Van Horenbeek e Pintelon (2014) com o método AHP, a fim de se verificar a existência de diferenças significativas entre os mesmos. Ao final foram respondidas às seguintes perguntas investigativas:

- 1- Os métodos AHP e ANP são adequados para a utilização em um modelo de priorização de indicadores de suporte logístico?
- 2- Existem diferenças significativas entre os resultados encontrados por ambos métodos?

1.4 Premissas

Esse estudo tem como premissa inicial o fato de que a forma de escolha do grupo de indicadores de desempenho a serem priorizados pelo modelo não é parte relevante do estudo, uma vez que essa seleção pode seguir literaturas distintas e, igualmente, importantes e estão sujeitas à interpretações de analistas e suas experiências pessoais. O grupo de indicadores de desempenho utilizados nos casos aplicados consta do *PBL Guidebook* (2016), literatura que comenta a importância da seleção de indicadores de desempenho de suporte logístico e a ausência de uma metodologia de seleção adequada.

A segunda premissa é que a opinião dos especialistas é suficiente para simular o consenso de um grupo decisório de nível estratégico encarregado da definição de uma estratégia de suporte de uma frota, bem como, ponderadores de critérios estratégicos de suporte e de importância entre os indicadores. Foram propostos três casos e apenas um especialista por caso. Os mesmos valeram-se dos seus conhecimentos técnicos para compreender as situações logísticas propostas e ponderar os pesos entre critérios e entre indicadores.

Por fim, existe a premissa que os casos elaborados pretendem ser uma representação simplificada de problemas reais de suporte logístico e, portanto, tem limitações de sua abrangência.

1.5 Objetivos

O trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia de priorização de indicadores de desempenho de suporte logístico, capaz de prover informações e inteligência que auxiliem o gerenciamento das atividades de suporte logístico de uma frota de forma a dar subsídios para ações de controle gerencial e levantar evidências de causas de níveis de prontidão operacional abaixo do esperado, ao longo da fase de utilização de uma frota durante o todo o seu ciclo de vida.

O trabalho também pretende verificar se o Método de Análise Hierárquica (AHP) e o Método de Análise em Redes (ANP) podem ser aplicados para a solução do problema e se os resultados obtidos em tais métodos diferem significativamente.

1.6 Contribuições

Esse trabalho contribui para a ampliação dos estudos relativos à modelagem de soluções para o problema de gerenciamento do suporte logístico, por desdobrar o escopo das aplicações, normalmente voltadas à manutenção de equipamentos industriais destinadas à redução de custos, além de estudar comparativamente a possibilidade de utilização dos Métodos de Análise Hierárquica (AHP) e de Análise em Redes (ANP) na priorização de indicadores de uma forma geral e não apenas de suporte logístico. O estudo contribui, ainda, para a literatura científica ao descrever e testar modelos de auxílio à decisão gerencial em estruturas de suporte logístico, lacuna observada na literatura.

1.7 Estruturação do Trabalho

O trabalho é estruturado da seguinte forma: No Capítulo 2 é feita a revisão da literatura referente à evolução do Suporte Logístico, à medição de desempenho de manutenção, como parte originária do Suporte Logístico, ao Método de Análise Hierárquica (AHP) e ao Método de Análise em Redes (ANP), os quais foram utilizados para o desenvolvimento do modelo proposto no trabalho, à medição do desempenho por meio de critérios e indicadores, à indicadores de desempenho de suporte logístico, às características do Suporte Logístico na fase de operação das aeronaves e à Lógica do Suporte Logístico. No Capítulo 3 é apresentada a metodologia proposta para a priorização de indicadores de desempenho de suporte logístico com a utilização dos métodos AHP e ANP. No Capítulo 4 são feitas as aplicações dos modelos em casos simulados. Os resultados obtidos são então apresentados e discutidos de forma a serem respondidas as perguntas investigativas e se verificar a adequabilidade dos métodos empregados. Por fim, no Capítulo 5 são feitas as considerações finais do trabalho e as conclusões.

2 Revisão da Literatura

2.1 A evolução do Suporte Logístico

As aquisições de sistemas de defesa são atividades trabalhosas e que exigem muito tempo e recursos. Centenas ou mesmo milhares de funcionários trabalham em organizações, que executam atividades de suporte as quais geram ganhos de bilhões ou, no mínimo, milhões de dólares, euros ou reais em contratos de serviço e de venda de peças a cada ano. Os programas de aquisição de defesa têm, como característica, a obtenção de produtos desenvolvidos com as mais avançadas tecnologias disponíveis, de forma a proporcionar níveis de prontidão e de poderio bélico cada vez maior. Projetos dessa natureza requerem, em sua maioria, metas bastante ambiciosas e que trazem elevados níveis de incerteza e de risco técnico, os quais são mitigados por gestões cada vez mais eficazes e eficientes (PSM GUIDEBOOK 2016).

Jones (2006) lembra que o desenvolvimento de sistemas considerados complexos por sua dimensão, tecnologia envolvida e custo ganhou maior importância após a Segunda Guerra Mundial. Durante a guerra os sistemas desenvolvidos eram colocados logo em operação, ainda que de forma experimental, o que resultava em sucessos e, também, insucessos. Em ambos os casos, porém, o suporte de tais sistemas era problemático, tendo em vista que o foco do desenvolvimento estava apenas no desempenho do sistema. Problemas como falta de peças de reposição, de documentação técnica, manutenções inadequadas, ferramentas e equipamentos de suporte inapropriados ou inexistentes e treinamento deficiente de pessoal operativo e de manutenção eram constantes passaram a se tornar grandes desafios técnicos e de grande demanda orçamentária. O custo de desenvolvimento, à época, não era, em geral, um fator limitante, já que o interesse estava na obtenção do desempenho desejado no menor prazo possível.

Durante o “boom” tecnológico que se seguiu após a II Guerra percebeu-se que uma importância maior deveria ser dada ao suporte dos sistemas ainda na fase de desenvolvimento, pois as falhas verificadas no conflito mundial tinham sido muito frequentes. Por sua vez, os recursos financeiros para novas aquisições no pós-guerra passaram a ser um fator limitante (JONES, 2006). O surgimento do conceito de engenharia de suporte foi o produto dessas restrições. Iniciativas como a criação de centros de excelência, os quais passaram a ser responsáveis por aspectos distintos do suporte, tais como, plano de operação e de manutenção, mão de obra, suprimento técnico, documentação, treinamento, equipamentos de apoio,

instalações e embalagem, manuseio, estocagem e transporte de peças e que estabeleceram processos, políticas e procedimentos que muito contribuíram para a melhoria da capacidade de apoio aos sistemas.

O Ato de Reorganização do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (*Department of Defense – DoD*) de 1958 lançou as bases do atual sistema de aquisições americano permitindo que o Secretário de Defesa autorizasse a aquisição, produção e operação de qualquer sistema de armas por qualquer Força ou Serviço. O Ato não foi plenamente posto em vigor até 1961, quando o então Secretário de Defesa, Robert McNamara, trouxe conceitos de programação e de controle de custos nas aquisições (PRZEMIENIECKI, 1993). Jones (2006) nota que, no aspecto de suporte logístico, constatou-se que os serviços dos centros seriam mais bem aproveitados se os mesmos atuassem de forma coordenada, provendo uma solução de suporte integrada, o que passou a ocorrer efetivamente a partir de 1965 com a integração dos centros e a criação do conceito de Suporte Logístico Integrado (ILS). Os objetivos do ILS eram o de obter um custo total de propriedade, do inglês *Total Cost of Ownership* (TOC) menor, influenciar soluções de projeto, identificar fatores de custo e identificar e desenvolver recursos de suporte. Em 1971 a norma MIL-STD-1369 (1971) – *Integrated Logistics Support Program Requirements* ou Requisitos do programa de Suporte Logístico Integrado foi publicada para divulgar a metodologia ILS, em consonância com a Diretriz 5000.1 – Sistema de Aquisição de Defesa, editada pela primeira vez no mesmo ano. De 1965 a 1978 o ILS passou a fazer parte significativa das aquisições militares americanas, com muitos casos de sucesso, quando da entrega e implementação de novos sistemas, porém ainda pouco presente nas fases de desenvolvimento do projeto (*design*) e de seleção. A partir da década de 70 a complexidade tecnológica foi muito incrementada e problemas de suporte relacionados à parte física ou *hardware* e à parte lógica ou *software* de subsistemas computacionais passaram a surgir, demandando dos militares soluções buscadas na indústria de sistemas não militares e que levou a criação de uma metodologia chamada Análise do Suporte Logístico, do inglês *Logistics Support Analysis* (LSA), a qual passou a introduzir considerações logísticas no desenvolvimento dos sistemas. Em 1984 os militares incorporaram definitivamente a LSA no desenvolvimento inicial de seus sistemas, por meio da norma MIL-STD-1388 (1983), porém sua implementação mostrou-se difícil no início, por conflitos entre atividades pré e pós-desenvolvimento, o que foi posteriormente regulado dividindo-se a análise em logística funcional (pré-desenvolvimento) e logística física (pós-desenvolvimento). A logística funcional passou a ser, a partir de então, a força motriz da engenharia de suporte, que é a disciplina que trabalha com a arquitetura de sistemas, as quais inauguraram um novo conceito

de concepção de novos sistemas de armas definido pela nova diretiva base do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (JONES 2006). A atual política de aquisições daquele país é a evolução do conceito de apenas se reduzir gastos, para um conceito centrado no desempenho e na prontidão dos sistemas adquiridos, o que só pode ser obtido por um sistema de aquisições eficiente e atento aos detalhes, desde a concepção do sistema até a sua desativação.

De acordo com o Manual do gerente de suporte ao produto, do inglês *Product Support Manager Guidebook* (2016), o suporte ao produto, um fator-chave de gerenciamento de ciclo de vida, é o conjunto de funções de apoio necessárias para implantar e manter a prontidão e a capacidade operacional de grandes sistemas de armas, seus subsistemas e componentes, incluindo todas as funções relacionadas à sua prontidão. O conjunto de funções de suporte aos produtos relacionados com a prontidão do sistema de armas inclui as tarefas que estão associadas aos elementos do Suporte Logístico ao Produto, do inglês *Integrated Product Support* (IPS). Estes elementos são uma expansão dos elementos do ILS e que devem ser considerados durante o desenvolvimento, a implantação e a posterior revalidação da estratégia de suporte ao produto. O suporte do produto é representado pelos seguintes elementos do IPS, os quais proporcionam um painel estruturado e integrado de gestão de suporte ao produto: Gerenciamento do Suporte ao Produto, Influência no Desenvolvimento, Engenharia de Sustentabilidade, Apoio de Suprimentos, Gerenciamento e Planejamento de Manutenção, Embalagem, Manuseio, Armazenamento e Transporte, Equipamentos de Apoio, Dados Técnicos, Treinamento e Suporte ao Treinamento, Mão de Obra, Instalações e Infraestrutura e Recursos Computacionais.

Apesar de ter sido concebido no âmbito do desenvolvimento de sistemas bélicos, o desenvolvimento de metodologias e aplicações do Suporte Logístico Integrado também passou a ser utilizado pela indústria, os potenciais fornecedores, tanto pela exigência da metodologia de aquisição e desenvolvimento preconizada pela Diretriz DoD 5000.01 (2007), como também pela oportunidade da realização de venda de serviços relacionados às atividades decorrentes da implantação dos elementos de ILS/IPS nos operadores. O interesse da indústria motivou pesquisadores acadêmicos a investigar cientificamente e sob o ponto de vista logístico a metodologia ILS no desenvolvimento de novos produtos, conectando-a a outra área multidisciplinar concebida para o desenvolvimento de sistemas complexos, a Engenharia de Sistemas. Nesse sentido, as obras de Benjamin S. Blanchard relativas à Custo do Ciclo de Vida, Gerenciamento de Engenharia Logística, Gerenciamento do Ciclo de Vida e Gerenciamento da Engenharia de Sistemas são referências literárias fundamentais quando do estudo dos temas de suporte logístico. Em Blanchard (2004) os dez elementos do Suporte

Logístico Integrado são enumerados como sendo: Planejamento da Manutenção e do Suporte; Pessoal de Apoio Logístico e de Manutenção; Treinamento e Apoio ao Treinamento; Apoio de Suprimentos; Recursos Computacionais; Dados Técnicos, Relatórios e Documentação; Infraestrutura de Manutenção e Suporte; Embalagem, Manuseio, Armazenamento e Transporte; Equipamentos de Teste, Aferição, Manuseio e Apoio e Informações Logísticas. Segundo o autor, o objetivo de tais elementos é prover o equilíbrio de recursos aplicados na estrutura logística de apoio. Outros autores também se dedicaram ao ILS como Jones (2006), cujo Guia do Suporte Logístico Integrado detalha os objetivos e os passos de implantação do ILS, de acordo com a metodologia da Engenharia de Sistemas e Logística.

Mais recentemente, a Associação de Indústria Aeroespacial e de Defesa da Europa (ASD) e a Associação das Indústrias Aeroespaciais da América (AIA) compilaram um conjunto de informações denominado SX000i (2016), o qual fornece informações, orientação e instruções para garantir a compatibilidade e a padronização das práticas de Suporte Logístico Integrado realizadas pela indústria, ou seja, um guia do ILS não mais regido pelas normas do sistema de aquisições de defesa americano, apesar de guardar total coerência com as mesmas. O trabalho foi fruto de 20 anos de investimentos e de esforços da comunidade aeroespacial e de defesa internacional no desenvolvimento de especificações no campo do ILS e foi realizado por grupos de trabalho integrados compostos por organizações da indústria e de clientes em um ambiente colaborativo. Dentre os participantes estavam representantes de ministérios e departamentos de defesa de países da Europa e dos Estados Unidos. A estrutura e a abrangência destas especificações foram muito influenciadas por requisitos da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), especificados durante um seminário “*workshop*” internacional realizado em Paris em 1993. A partir de 2003, as relações entre as organizações do setor de apoio foram formalizadas através de uma série de Memorandos de Entendimento, do inglês Memorandum of Understanding (MOU). Inicialmente a AIA e a ASD assinaram um memorando de entendimento para desenvolver e manter conjuntamente a base S1000D (especificação Internacional para publicações técnicas, utilizando uma base de dados de fonte comum). Em 2007, a AIA, a ASD e a Associação de Transporte Aéreo da América (ATA) assinaram um novo MOU expandindo as matérias relativas à desenvolvimento e manutenção da S1000D para cobrir também a aviação comercial. Em 2010, a AIA e a ASD assinaram um MOU para promover a interoperabilidade do conjunto de especificações de ILS e desenvolver, em conjunto, o que era, originalmente, a suíte ASD de especificações de ILS S-Series. Um MOU de 2010 celebrado entre a ASD e a AIA autorizou a formação de um Conselho de Especificações de ILS com membros de ambas as associações.

Dentre as tarefas do Conselho incluem a de assegurar a ligação entre AIA e ASD, o desenvolvimento e a manutenção do atual conjunto de especificações ILS S-Series, além de gerenciar encontros e identificar possíveis áreas de harmonização. A visão das especificações ILS S-Series é que todas as partes interessadas serão capazes de aplicar os processos comuns de logística de modo a permitir a partilha e a troca de dados de forma segura durante o ciclo de vida de produtos e serviços. A utilização das especificações ILS S-Series visa a agregar valor não só ao nível das especificações individuais, mas também através da aplicação combinada das especificações. Existe a intenção de que as especificações ILS S-Series sejam globalmente aceites, uma vez que: são focadas em resultados, incluem uma ampla gama de clientes interessados, garantem a adequação às regras, são integradas e interoperáveis e são internacionais, lideradas por EUA e Europa. O ILS e sua evolução mais recente, o IPS, foi estruturado em elementos de suporte logístico, os quais devem ser integrados de forma a ampliar a eficiência e a eficácia do suporte logístico desenvolvido para um determinado sistema, reduzindo custos e evitando erros logísticos que, em última instância, causam a indisponibilidade de um sistema. A logística de aquisições é uma miríade de eventos que engloba o desenvolvimento, a produção e a entrega de um sistema ao operador, juntamente com os elementos de suporte logístico necessários, alguns para o início da operação e outros para todo o ciclo de vida.

Um dos primeiros conceitos de Suporte Logístico Integrado foi enunciado na norma MIL-STD-1369 (1971) o qual define: “Suporte Logístico Integrado, incluindo os requisitos de manutenibilidade, é o resultado de um processo de planeamento concebido para ajudar na obtenção da máxima eficácia global do sistema, tirando partido da relação direta que existe entre as características do projeto físico (*hardware*) e dos requisitos de apoio logístico resultantes, por considerar ambos simultaneamente em todo o processo de desenvolvimento, de forma quantitativa e fornecendo uma base para a otimização de sistemas de armas nas soluções dos problemas de engenharia. Como resultado, provisões são feitas para um suporte de sistemas e de equipamentos de forma mais efetiva e tempestiva, em acordo com o plano de uso do sistema durante o seu ciclo de vida. Além disso, a documentação requerida irá prover registros precisos para assegurar a continuação do suporte logístico de forma adequada durante o ciclo de vida operativo dos sistemas ou equipamentos”.

Segundo Blanchard (2004), os princípios e conceitos da logística se aplicam tanto às atividades comerciais quanto as de defesa. Na área comercial, na qual existe a ênfase nas atividades orientadas ao negócio e associadas primariamente à distribuição de produtos para consumo, a logística pode ser definida como “a parte do processo de cadeia logística

encarregada de planejar, implantar e controlar com eficiência e eficácia o fluxo direto e reverso, o estoque de bens, os serviços e as informações entre o ponto de origem e o ponto de consumo, de forma a atender as necessidades dos consumidores”. A logística no setor comercial é tradicionalmente voltada ao gerenciamento do fluxo físico de materiais e produtos entre organizações. Mais recentemente esse foco da logística evoluiu para os conceitos de Cadeia de Suprimentos e do seu gerenciamento, do inglês *Supply Chain Management* (SCM), o qual pode ser definido como uma abordagem integrada e orientada ao processo e voltada à procura, a produção e ao envio de produtos finalizados e aos serviços para o consumidor. Ela inclui fornecedores e subfornecedores, operações internas, negociadores intermediários e usuários finais. Ela cobre o gerenciamento de materiais, informações e fluxos financeiros. O gerenciamento da Cadeia de Suprimentos requer uma abordagem altamente integrada, emprego de recursos e a implantação de processos de negócios para garantir a satisfação do consumidor (RUSSELL 2007).

No setor de defesa a logística evoluiu por meio do conceito de Suporte Logístico Integrado, que começou a ser desenvolvido nos anos 60. Àquela época, o ILS era definido como “uma composição de todas as considerações sobre suporte necessárias para assegurar o suporte econômico e eficaz de um sistema ou equipamento, em todos os níveis de manutenção, durante o seu ciclo de vida. É uma parte integral de todos os outros aspectos da aquisição e da operação de sistemas” (JONES 2006). O ILS, como foi vislumbrado, teve uma abordagem que considerava o ciclo de vida para o planejamento, o desenvolvimento, a aquisição e a operação de um sistema ou um equipamento, a fim de se maximizar a prontidão e otimizar custos. A ênfase do ILS, por sua vez, era a logística voltada aos sistemas (e não ao estoque de suprimento e a distribuição de componentes e de itens consumíveis) e ao eficiente e eficaz suporte ao longo dos seus ciclos de vida. Conceitos como confiabilidade, manutenibilidade e suportabilidade passaram a ser utilizados nas fases de concepção dos sistemas, de forma a aperfeiçoar a utilização dos mesmos na fase de uso, pela redução de manutenções e pela diminuição de estoques. O ILS continuou a ser aperfeiçoado até os dias de hoje, não apenas pelos órgãos de defesa que utilizam o sistema, quanto pela indústria, contemplando cada vez mais o desenvolvimento e a implantação de uma estrutura de suporte eficiente e eficaz e a necessidade de se transportar os conceitos de suportabilidade para as fases de desenvolvimento. A partir daí, soluções como padronização de itens, intercambiabilidade de itens, acessibilidade, produção de diagnósticos autorrealizáveis, funcionalização de embalagens, entre outras, passaram a ser implantadas na fase de desenvolvimento de novos sistemas. A grande importância de tal mudança reside no fato de

que, ao se estudar o universo do desenvolvimento de sistemas complexos e das aquisições militares, percebeu-se que grande parte das decisões que impactariam os custos de todo o ciclo de vida eram tomadas nas fases de concepção do produto. As estratégias e as práticas de implantação e de execução do ILS para torná-lo mais eficiente e eficaz também foram aperfeiçoadas ao longo dos anos.

O conceito de Logística Baseada em Desempenho, do inglês *Performance Based Logistics* (PBL), estruturado com base no uso de métricas de desempenho, foi introduzido com a finalidade de estipular requisitos de desempenho quantitativos na fase de concepção, os quais poderiam ser verificados na fase de utilização. Uma das formas de gerenciamento do ILS, por exemplo, é a contratação de empresas, por meio de Contratos de Suporte Logístico, do inglês *Contractor Logistics Support* (CLS), para a realização de atividades relacionadas aos elementos logísticos, tais como, manutenção, controle de estoques, treinamentos, apoio computacional, etc. Algumas modalidades contratuais podem utilizar, como objeto do acordo, indicadores e métricas de PBL para estabelecer padrões mínimos de serviço a serem entregues aos clientes. O PBL é executado com o uso de indicadores capazes de medir o desempenho do sistema e prover informações as gerenciais necessárias à manutenção da prontidão e ao controle de custos. O mesmo utiliza a decomposição do sistema em subníveis e até em componentes de forma a possibilitar uma medição precisa do desempenho do sistema e do seu suporte logístico. O manual do PBL (PBL Guidebook 2016) enfatiza que qualquer modelo de medição de desempenho é baseado na seleção de indicadores capazes de medir quantitativamente o quão bem o suporte está sendo realizado, de acordo com os níveis pré-estabelecidos. A publicação, no entanto, não fornece um modelo de seleção de indicadores de desempenho capaz de auxiliar a tomada de decisões do gerente de suporte ao produto (PSM) e o *PSM Guidebook* não sugere modelos de auxílio à decisão.

Anteriormente ao conceito de Suporte Logístico Integrado (ILS) o tipo de suporte considerado necessário para a preservação da prontidão operacional das frotas eram as atividades de manutenção. Como já comentado, o conceito mais amplo e abrangente do ILS foi idealizado de forma a abranger todas as faces da logística de suporte de fato necessárias à preservação da prontidão de sistemas de maior complexidade técnica foi desenvolvido no âmbito militar. Em virtude disso, a literatura disponível acerca de medição de desempenho de ILS é escassa, à exceção de manuais e publicações técnicas. Por sua vez, a literatura referente à medição do desempenho de manutenção, normalmente destinada à máquinas industriais, as quais, em sua maioria, não detém a mesma complexidade de aeronaves, embarcações navais, mísseis, etc é bastante rica tendo em vista a necessidade de eficiência dos meios de produção,

notadamente aqueles que dependem de grandes e onerosas manutenções, implicando em grandes custos fixos. Para se compreender e tratar adequadamente da Medição do Desempenho do Suporte Logístico é necessário, portanto, uma breve revisão da literatura acerca da Medição do Desempenho de Manutenção.

2.2 A Medição de Desempenho de Manutenção no Suporte Logístico

Segundo Jones (2006) Manutenção é o conceito genérico de uma ação física realizada em um item inoperante para retorná-lo à condição de operação ou tentar impedir ou prevenir falhas futuras. Diante dessa característica, as atividades de manutenção podem ser divididas em corretivas ou não programadas e preventivas ou programadas. As atividades de manutenção de equipamentos utilizados na produção de bens ou serviços são essenciais para a continuidade das operações de qualquer empresa uma vez que previnem interrupções indesejadas em seus processos produtivos. Wireman (1998) ressalta que o foco na função manutenção é garantir que os bens das empresas estejam continuamente em conformidade com as suas características de projeto. O primeiro aspecto relacionado à manutenção é o conceito de logística definido por Jones (2006), como sendo a ciência aplicada ao planejamento e à implementação de ações de aquisição e de uso de recursos. O autor define as três fases básicas ou estágios de aplicação da logística como sendo a de planejamento de requisitos funcionais, a de planejamento de requisitos físicos e o uso.

O conceito de suporte vem da ideia de que conforme os equipamentos tornam-se mais complexos os seus operadores necessitam do apoio logístico provido por uma organização responsável. Ainda, segundo o mesmo autor, Suporte Logístico Integrado é o gerenciamento disciplinado e unificado de todas as atividades necessárias à elaboração de um projeto de sistema suportável e de instrumentos de suporte adequados, a fim de se atingir um conjunto pré-estabelecido de objetivos mensuráveis a um custo de propriedade aceitável. No que se refere às fases de planejamento de requisitos funcionais e de requisitos físicos, considerados por Jones (2006), Blanchard (1998) apresenta o conceito de manutenibilidade como sendo uma característica inerente ao projeto de um sistema referente à facilidade, precisão, segurança e economia no desempenho de ações de manutenção. Manutenibilidade é um parâmetro de projeto enquanto que manutenção é o resultado desse projeto. Segundo a Norma NBR 5462 - Confiabilidade e Manutenibilidade (ABNT, 1994) o conceito de manutenibilidade se refere à capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas

funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos.

No tocante às atividades de manutenção necessárias à produção industrial, Kumar *et al* (2013) percorrem definições de manutenção as quais apresentam conceitos aplicáveis, na sua maioria, à manutenção aeronáutica. Segundo os autores, a função manutenção é inerente à produção, porém compreender e quantificar atividades de manutenção pode ser uma tarefa difícil. Segundo os autores, o Instituto de Padrões Britânico (*British Standards Institute*) define manutenção como sendo a combinação de todas as atividades técnicas e administrativas necessárias para manter equipamentos, instalações e outros bens físicos em uma condição operativa desejada ou restaurá-los a essa condição. A Sociedade de Engenharia de Manutenção da Austrália (*Maintenance Engineering Society of Australia - MESA*), por sua vez, indica que manutenção refere-se a atingir os requisitos de capacidades dos equipamentos em um determinado contexto econômico ou de negócios. Os autores seguem ressaltando que Manutenção também inclui decisões de engenharia e ações correlatas que são necessárias para a otimização da capacidade especificada de cada equipamento, sendo capacidade, nesse contexto, definida como a habilidade de realizar uma função específica com uma amplitude de níveis de desempenho que pode estar relacionados à capacidade, taxas, qualidade, segurança e responsabilidade. Afirmam, igualmente, que o objetivo da manutenção é atingir o nível estipulado de resultado nas operações a um custo mínimo considerando restrições de condições do sistema e de segurança.

Kumar *et al* (2013) seguem argumentando que o resultado desejado de produção é atingido por meio da alta disponibilidade, a qual é influenciada pela confiabilidade e manutenibilidade do equipamento e pela suportabilidade da manutenção. Como síntese das diversas visões sobre manutenção, os autores concluem que a manutenção precisa assegurar confiabilidade, disponibilidade, eficiência e as capacidades necessárias de todo o sistema produtivo, mas ressaltam, no entanto, que a minimização de custos na busca de processos otimizados não pode impactar a segurança de equipamentos e de instalações. Os mesmos lembram que, por um longo período, as atividades de manutenção eram conduzidas pelos próprios operários, sem parâmetros definidos. Equipamentos não eram organizados adequadamente e não havia e pressa na volta a atividade de máquinas e ferramentas. Modernamente essa visão evoluiu em virtude do foco gerencial de observância dos custos e da segurança.

As atividades de manutenção eram, até início do século passado, encaradas como um mal necessário aos operadores, sobretudo de equipamentos industriais, uma vez que o custo

contribuiria para a diminuição da rentabilidade das empresas (Parida e Kumar, 2006). Os desafios atuais exigem primeiro, que as indústrias tenham instalações adequadas em tamanho e elevada capacidade produtiva levantando preocupações com questões que prejudiquem a disponibilidade de equipamentos e de instalações. Segundo esses autores, o foco das empresas no aumento de ganhos e redução de custos pode implicar em questionamentos acerca das atividades de manutenção que em anos recentes aumentou em diversos aspectos, passando a consumir boa parte do orçamento. Portanto, quando políticas de redução de custos são estabelecidas, o orçamento de manutenção passa a ser foco de análise levando à decisões de como aumentar a disponibilidade de equipamentos ao menor custo possível.

Considerando veículos como recursos produtivos de uma organização, Abrahão (2006) ressalta que Forças Aéreas, assim como empresas de aviação comercial e mesmo transportadoras, indústrias ou outras organizações podem ser dotadas de meios de transporte que variam na complexidade de seus sistemas e nos custos de manutenção. Segundo o autor, os conceitos envolvendo manutenção estão presentes em diversas áreas do conhecimento científico e uma definição mais abrangente do termo logística, oriunda do setor de defesa diz que as atividades de manutenção podem estar ligadas à quatro tipos de atividades logísticas: militar, empresarial, de eventos e de processos. Para a execução de todas essas atividades, as ações de manutenção são imprescindíveis, uma vez que os meios produtivos precisam estar disponíveis para a operação ao longo dos seus respectivos ciclos de vida. No tocante especificamente a meios aéreos militares, Verhoeff (2015) ressalta que o objetivo primário do operador de defesa é maximizar a sua capacidade contínua de respostas às ameaças externas e outras missões designadas. Para tanto, o nível de prontidão operacional dos meios aéreos deve ser adequado às demandas. Segundo o autor, a manutenção aeronáutica diferencia-se da manutenção de outros meios por ser extremamente dependente de mão de obra especializada, de infraestrutura adequada e de suporte logístico. Além disso, aeronaves requerem um elevado grau de segurança de voo, do inglês *Safety* e confiabilidade, diferenciando-se de outros equipamentos, o que por vezes implica na impossibilidade de redução de custos.

Além da importância das atividades manutenção de equipamentos nas diversas atividades de produção de bens ou serviços, a literatura também passou a tratar sobre a medição do desempenho das atividades de manutenção, uma vez que o controle das mesmas se mostrou necessário, ao longo dos anos, para a gestão de custos das empresas. O uso de indicadores de desempenho e o desenvolvimento de modelos de painéis agregadores, adaptados de outras frentes gerenciais, tais como financeira, recursos humanos, etc, tornou-se bastante usual, como mencionado a seguir. O Comitê Europeu de Padronização (CEN), por

meio da norma EN 15341:2007, a qual trata de indicadores de desempenho de manutenção, define desempenho de manutenção como sendo o resultado da utilização de recursos ao se realizar ações de recolhimento de um item e sua recuperação ao estado no qual possa realizar a função requerida, o qual pode ser expresso como um resultado esperado ou alcançado. Segundo Jones (2006), para se atingir requisitos logísticos pré-definidos é necessário a definição de critérios mensuráveis, os quais permitam que processo logístico possa ser verificado no que se refere à produção dos resultados esperados. Tais critérios de mensuração normalmente consistem em características tangíveis e intangíveis. Características tangíveis são aquelas que permitem a mensuração por algum meio a fim de se determinar se ela foi atingida como, por exemplo, preço, qualidade e tamanho de um item. Características intangíveis, por sua vez, tendem a ser mais pessoais e subjetivas, tais como, impressões positivas ou negativas e mesmo definição de valores de preço. O autor enfatiza que uma lista de critérios tangíveis e intangíveis precisa ser preparada para que um processo logístico possa ser mensurado adequadamente. A moderna gestão empresarial impõe às organizações com fins lucrativos o aprimoramento de suas capacidades de gerar valor levando-as a buscar continuamente a maximização de receitas e a minimização dos custos.

Sob essa ótica, as atividades de manutenção de equipamentos, anteriormente consideradas como um mal necessário (Parida e Kumar, 2006), agora são vistas como decisivas para o aumento da relação custo-benefício de uma operação, além de criar valor adicional por fornecer aos clientes serviços inovadores e de melhor qualidade (Kumar *et al* 2013). Wireman (1998) observa que as empresas tentam de diferentes formas controlar as atividades de manutenção, porém a maioria não consegue, de fato, gerenciá-las e aponta que a causa de tal problema é a falta da medição correta e a falta sistemas de controle de manutenção. Segundo Parida e Kumar (2009), com as atuais mudanças no pensamento estratégico das organizações, o aumento das terceirizações e a separação dos fabricantes de equipamentos originais dos proprietários de equipamentos está se tornando crucial medir, controlar e melhorar o desempenho da manutenção dos equipamentos.

Com o avanço tecnológico várias estratégias de manutenção se desenvolveram, tais como, a manutenção baseada em condições, a manutenção remota, a manutenção preventiva, e-maintenance, entre outras. Os principais desafios encontrados pelas organizações são os de selecionar as estratégias mais eficientes e efetivas para aumentar continuamente a capacidade operacional, reduzir custos de manutenção e alcançar competitividade na indústria considerada. Desta forma, considera-se importante, além de formular políticas e estratégias de manutenção de equipamentos avaliá-las quanto à sua eficiência e eficácia. De acordo com

Parida e Chattopadhyay (2007) a medição do desempenho de manutenção, do inglês *Maintenance Performance Measurement* – MPM, pode ser definida como sendo um processo multidisciplinar de medir e justificar o valor criado pelos investimentos em manutenção, em conformidade com os requisitos dos acionistas vistos por uma perspectiva empresarial estratégica. Parida e Kumar (2006), por sua vez, ressaltam que a medição do desempenho da manutenção permite às companhias entender o valor criado pela manutenção a fim de reavaliar e revisar suas políticas e técnicas de manutenção, justificar novos investimentos, revisar alocação de recursos e entender os efeitos das atividades de manutenção em outras funções e participantes da organização. Segundo Wireman (1998) a medição do desempenho, quando usada corretamente, resalta oportunidades de melhoria, detecta problemas e auxilia a busca de soluções. Kumar *et al* (2013) lamentam, no entanto, que medidas de manutenção foram, com frequência, mal interpretadas no passado e comumente utilizadas para outros fins e de forma incorreta no ambiente empresarial. Os autores observam que, na investigação de problemas e da necessidade de métricas adequadas para a correta quantificação, a manutenção é vista na indústria como um mal necessário, uma despesa ou perda na qual a empresa deve incorrer para manter seu processo produtivo operante. Em razão dessa visão, as prioridades das empresas não são focadas na manutenção dos seus equipamentos, mas na produção que os mesmos efetuam. Porém, o uso de indicadores objetivos para avaliar esses processos pode ajudar a corrigir deficiências e incrementar a produção de uma planta industrial. Kumar *et al* (2013) continuam, observando que vários indicadores são relativos à custos de manutenção, produção ou vendas. Outros tornam possível determinar se a disponibilidade é adequada ou quais fatores devem ser modificados para que melhorias sejam obtidas. Os autores mencionam que a visão histórica da manutenção, misturada com problemas tradicionais de medida de desempenho, cria problemas para o desenvolvimento e implantação de um gerenciamento compreensível do desempenho da manutenção.

Kumar *et al* (2013) ainda ressaltam cinco aspectos problemáticos importantes sobre medição do desempenho de manutenção. O primeiro aspecto é a existência de muitos dados disponíveis pela relativa facilidade de coleta proporcionada pelas modernas tecnologias de informação, mas que se não forem corretamente estruturados, de acordo com a visão da empresa, não serão capazes de fornecer informações gerenciais úteis acerca da contribuição das atividades de manutenção para a geração de valor da empresa (aspecto mencionado por esse autor na motivação). O segundo aspecto é o que o número de indicadores de desempenho deve ser limitado a fim de identificar apenas características ou fatores chave. Painéis que possuem muitos indicadores não definem seus usuários e os reais responsáveis, o que leva ao

seu mau uso. O terceiro aspecto refere-se às medidas e objetivos, tendo em vista que departamentos de uma mesma empresa podem ter interesses conflitantes, no que se refere à manutenção dos equipamentos. O quarto aspecto, refere-se ao problema ocasionado pelo intervalo de tempo entre ações e monitoramento de resultados, sendo que duas formas de atraso podem ocorrer. A primeira forma de atraso na obtenção de dados corretos está entre a decisão de mudança adotada gerencialmente e obtenção dos resultados advindos dessa mudança. A segunda forma de atraso reside entre a obtenção dos resultados e a sua real medição. Por fim, o quinto aspecto refere-se ao custo e razões para a obtenção de dados. Os autores finalizam ressaltando que o sucesso de qualquer sistema de medição baseia-se no método utilizado na coleta de dados e não pode haver risco de uso incorreto ou manipulado por meio de quem coleta informações.

Wireman (1998), por sua vez, observa que as empresas ao evoluírem do pior para o melhor desempenho descobrem que se trata de um processo de aprendizado seletivo, semelhante ao modelo Darwinista no qual as piores práticas são eliminadas e as melhores permanecem e indicadores de desempenho são usados pelos líderes empresariais para conduzir a empresa na busca de soluções focadas na visão da empresa. Segundo o autor, indicadores de desempenho devem ser usados para realçar pontos fracos de uma empresa, os quais podem ser analisados a fim de se encontrar o problema causador de tal indicação.

De acordo com Kumar *et al* (2013) Indicadores de Desempenho ou PIs do inglês *Performance Indicators* são usados para medir o desempenho de qualquer sistema ou processo. Um PI é um produto de diversas medidas, também chamadas de métricas. Quando usadas para medir desempenho de manutenção em uma área ou atividade são chamadas dos Indicadores de Desempenho de manutenção ou MPIs (Wireman, 1998; Parida *et al*, 2003) do inglês *Maintenance Performance Indicator*. PIs são usados para encontrar formas de reduzir tempo, custo e desperdício, para operar de forma mais eficiente e para incrementar a capacidade de operação. Um PI compara uma condição atual com um conjunto específico de condições de referência, medindo a diferença ou “distância” entre a situação corrente e a situação desejada (alvo), ou a assim chamada “distância para o alvo”. A lista de PIs é extensa e a seleção de PIs feita por cada organização irá refletir os objetivos e requisitos de sua estratégia corporativa.

Kumar *et al* (2013) ensinam, ainda, que PIs podem ser classificados em prospectivos e retrospectivos. Um indicador prospectivo alerta sobre o não atendimento de objetivos antes de ocorrer um problema, portanto trabalha como um farol e alerta a gerência da organização sobre a situação presente em relação à planejada. Os indicadores prospectivos têm, portanto

um forte viés preditivo no que se refere ao desempenho financeiro da organização, antecipando problemas orçamentários. Indicadores retrospectivos normalmente “mudam de direção” depois que as condições econômicas são alteradas. Os indicadores retrospectivos são inúteis para previsão, pois medem desempenhos já realizados. O estabelecimento de uma relação entre indicadores prospectivos e retrospectivos torna possível o controle do processo. Além disso, os indicadores devem ser selecionados de acordo com a estratégia de manutenção escolhida. Kumar *et al* (2013) ainda ressaltam que a complexidade de algumas medidas é um obstáculo à sua implementação o que contribui para o seu uso. Em manutenção, diversos processos podem ser medidos diretamente. Tempo e custos são quantificáveis com relativa facilidade, porém outros fatores, tais como, a adequação de oficinas de reparo e características desejadas de equipes de manutenção são particularmente sensíveis e podem ser medidas exclusivamente por meio de métodos subjetivos. Essas diferenças levam a outra diferenciação dos indicadores entre rígidos e flexíveis. Indicadores rígidos incluem aqueles mensuráveis por meio de extração ou exploração de dados de bases, como em Sistemas de Gerenciamento de Manutenção informatizados, os quais podem rapidamente sintetizar e calcular uma série de relações. Os autores também sublinham que, sob esse ponto de vista, uma base de dados comum a diversos usuários pode ser um importante instrumento de apoio às decisões de gerenciamento da manutenção. Indicadores flexíveis, por sua vez, podem ser complicados em sua medição pela ausência de fontes e pela ausência de objetividade e confiabilidade. Indicadores relativos a aspectos subjetivos dos recursos humanos comumente demonstram essas características de não estarem presentes em nenhuma base. A escolha de medidas e indicadores, portanto, estará condicionada à acessibilidade e a confiabilidade das fontes, especialmente no caso de indicadores flexíveis que são afetados por aspectos humanos. Kumar *et al* (2013) acrescentam que dois atores, portanto, são envolvidos na medição do desempenho da manutenção: recursos humanos e modelos matemáticos. Pessoas fornecem informações em suas interações com a empresa e modelos fornecem informações de eficiência e eficácia relativas à custo e tempo. Os autores ressaltam que a norma EN 15341:2007 do Comitê Europeu de Normalização, a qual agrupa indicadores econômicos, técnicos e organizacionais, é uma referência confiável por ser um padrão internacionalmente aceito o qual é capaz de medir e desenvolver a manutenção, por considerar e lidar com fatores externos e internos. Kumar *et al* (2013) enfatizam, ainda, que as empresas deveriam padronizar os indicadores por essa norma pelas seguintes razões:

1ª – Gerentes de manutenção dependerão apenas de um conjunto único de indicadores pré-definidos, suportado por um glossário de termos e definições;

2ª – O uso de indicadores pré-definidos deixa mais fácil comparar desempenho de manutenção e de confiabilidade além das fronteiras da empresa;

3ª – Quando uma companhia quer construir um conjunto de indicadores ou um painel de dados, o processo de desenvolvimento é simplificado pelo acesso à indicadores pré-definidos;

4ª – Os indicadores pré-definidos podem ser incorporados em softwares e relatórios informatizados;

5ª – As métricas pré-definidas podem ser adotadas e ou modificadas para ajustar-se aos requisitos específicos da empresa; e

6ª – A necessidade de discussão ou debate sobre definições dos indicadores deixa de existir e as incertezas são eliminadas.

Na visão de Wireman (1998), por sua vez, indicadores de desempenho devem ser integrados e interdependentes para prover uma perspectiva ampla das metas da empresa, estratégias empresariais e objetivos específicos. Segundo o autor, durante o processo de desenvolvimento de indicadores de desempenho os seguintes passos devem ser considerados:

1º - Tornar os objetivos estratégicos claros a fim de focar e traduzir a visão total da empresa;

2º - Atrelar os processos inerentes ao negócio da empresa aos objetivos;

3º - Focar nos fatores críticos de sucesso em cada processo, reconhecendo que haverá variações;

4º - Acompanhar tendências do desempenho e destacar progressos e potenciais problemas;

5º - Identificar possíveis soluções para os problemas.

De acordo com Kumar *et al* (2013), o foco na medição de desempenho de manutenção é maior nos sistemas de medição do que no uso isolado de indicadores. Segundo os autores os sistemas diferenciam-se pela escolha dos indicadores e da forma de representação as quais podem variar entre Indicadores Globais, Conjunto de Indicadores e Lista Estruturada de Indicadores. Os indicadores globais são relações matemáticas entre diversas medidas podendo ser problemáticos, uma vez que sintetizam, de diversas formas, o desempenho, de acordo com sua a sua idealização. Conjunto de Indicadores ressaltam aspectos isolados do conjunto de atividades de manutenção, porém sem inter-relação funcional. As Listas Estruturadas de Indicadores, por sua vez, são capazes de avaliar diversos aspectos da manutenção ao mesmo tempo, sendo que, para cada aspecto, um conjunto diferente de indicadores é utilizado.

O mais popular conjunto ou lista de indicadores é o BSC do inglês *Balanced Scorecard*, ou Painel de Dados Balanceado, uma abordagem holística com grupos de

indicadores financeiros e não financeiros para se medir o desempenho (Kaplan e Norton, 1992). Em qualquer organização os objetivos corporativos refletem a visão da companhia e um BSC corporativo é parte da estratégia, pois mede o desempenho e o compara com os objetivos corporativos. O BSC é aplicado a diferentes divisões e departamentos transmitindo os objetivos estratégicos, definidos em alto nível, diretamente aos funcionários, tendo sido adaptado para diferentes empresas com diferentes focos de negócio. O uso de múltiplas medidas de desempenho no nível de sistemas e subsistemas ajuda a solucionar os problemas, pois se um indicador corporativo apresentar uma medição problemática o próximo indicador, em um nível inferior, deve definir e clarificar a causa da fraqueza que causou tal problema (Wireman, 1998; Galar *et al* 2011).

Kumar *et al* (2013) lembram que a hierarquia de diferentes parâmetros ligados aos objetivos do negócio é vital para o sucesso de um programa por gerenciar bens físicos da empresa. Wireman (1998) define um grupo de indicadores dividido nos seguintes grupos: corporativo, financeiro, eficiência e efetividade, táticos e funcionais. Os indicadores devem ser devidamente conectados aos níveis da visão corporativa e à missão da empresa. Em um panorama de níveis multi-hierarquizados, Galar *et al* (2011) consideram a existência de três níveis hierárquicos nas empresas, o estratégico, o tático e o operacional. Kumar *et al* (2013), no entanto, alertam que dependendo do estrutura organizacional pode haver mais de três níveis hierárquicos e o processo de implementação dos indicadores de forma integrada pode se tornar extremamente desafiador, uma vez que depende do envolvimento de funcionários de todos os níveis. Os autores são enfáticos ao recomendar a necessidade de todos os funcionários conhecerem os objetivos da empresa e suas metas estratégicas, o que deve ser feito quebrando-se os objetivos em indicadores de múltiplos níveis.

No âmbito da medição do desempenho de manutenção com o uso de indicadores e buscando um modelo que unisse uma abordagem comparativa com o uso de ferramentas matemáticas o modelo do Método de Análise em Redes, do inglês *Analytic Network Process* (ANP), uma generalização do Método de Análise Hierárquica, do inglês *Analytic Hierarchy Process* (AHP), elaborado por Saaty (2006) foi adaptado por Van Horenbeek e Pintelon (2014) no desenvolvimento de um método de seleção de indicadores de desempenho de manutenção. O trabalho de Van Horenbeek e Pintelon (2014) utiliza o método ANP para selecionar os conjuntos de indicadores de níveis estratégico e tático integrados aos objetivos de alto nível, os quais representam a visão da organização. Van Horenbeek e Pintelon (2014) não estenderam o seu método à seleção dos indicadores de nível operacional. Os autores

também não compararam o método a outros a fim de se levantar diferenças significativas nos indicadores selecionados ou, ao contrário, uma convergência de resultados.

No tocante especificamente à aspectos da manutenção aeronáutica, Kinnison (2004) observa que a aviação é o mais seguro meio de transporte do mundo e uma considerável parte deste padrão de segurança é atribuída aos esforços de mecânicos, técnicos, engenheiros e gerentes que trabalham no campo da manutenção de aviação. Grande parte da complexidade da manutenção aeronáutica advém da necessidade do cumprimento de normas internacionais expedidas no âmbito da Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) e adotadas por seus Estados-Membros. As práticas definidas e padronizadas pela OACI visam a assegurar índices de segurança aeronáutica de forma uniforme em todo o mundo. Kinnison (2004) ainda observa que a moderna abordagem da manutenção aeronáutica é mais sofisticada. De acordo com a fabricante de aeronaves Boeing, nos primórdios da aviação os programas de manutenção, o único conceito de suporte logístico até então, eram regidos pela mecânica, com o uso de procedimentos simples e sem base analítica. A rápida evolução do mercado de aviação comercial criou a necessidade de novas regulamentações em referentes à manutenção e com a entrada no mercado comercial dos grandes aviões a jato, na década de 1950, os fabricantes passaram a desenvolver programas de manutenção. O conceito desses planos focava a revisão de cada componente em um determinado momento. Em 1960, a indústria formou uma força-tarefa para investigar as possibilidades da manutenção preventiva, rompendo um paradigma de anos e o resultado de tal empreitada foi a criação do conceito de manutenção "em condições", do inglês *On Condition*. O manual "Avaliação de Manutenção e Desenvolvimento de Programas", do inglês *Maintenance Evaluation and Program Development*, também conhecido como "MSG-1", foi desenvolvido em 1968 para o Boeing 747 pelo Grupo de Manutenção, do inglês *Maintenance Steering Group* (MSG) da Associação de Transporte Aéreo (ATA), um grupo de representantes dos fabricantes de aeronaves, da Administração Federal de Aviação (*Federal Aviation Administration - FAA*) dos EUA e de fornecedores. O MSG-1 usava a lógica de decisão para desenvolver manutenção programada. A partir da década de 1970, foi desenvolvido o documento Planejamento de Programa de Manutenção de Operadora para operadores comerciais, do inglês "*Airline / Manufacturer Maintenance Program Planning*", ou "MSG-2", o qual foi orientado à processos e à análise de falhas. A filosofia do MSG-2 baseou-se na teoria de que aviões e seus componentes atingem um período em que devem ser ou completamente revisados a fim de restaurar a sua condição de novo. Em 1978, a United Airlines, em cooperação com o Departamento de Defesa dos EUA, desenvolveu uma metodologia para a concepção de programas de manutenção baseados

em práticas testadas e comprovadas das companhias aéreas. Esta nova metodologia foi a base para o MSG-3, o padrão atual da indústria. A metodologia tem uma abordagem de manutenção orientada a tarefas, que analisa os modos de falha do nível de sistema para subsistemas, mais conhecida no inglês como *Top Down*, sendo que as tarefas de manutenção são executadas por razões de segurança, operacionais ou econômicas e envolvem tarefas de manutenção preventiva e de detecção de falhas. As revisões do MSG-3 forneceram metodologias adicionais para melhorar a cobertura de todas as possibilidades de falhas. As aeronaves são projetadas para segurança, aeronavegabilidade e manutenibilidade e um programa de manutenção detalhado é desenvolvido para todo novo modelo de aeronave e suas derivações. Tais programas podem ser então customizados por cada operador de forma a acomodar características especiais de seus procedimentos (KINNISON 2004).

No Brasil, a Agência nacional de Aviação Civil utiliza o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) 145 – Organizações de Manutenção de Produto Aeronáutico (2014), para adaptar e aplicar as normas da OACI referentes ao mesmo tema. O RBAC 145 descreve como obter um certificado de organização de manutenção de produto aeronáutico e contém as regras relacionadas ao seu desempenho. Por tratar de padrões de desempenho em manutenção indicadores podem ser amplamente utilizados na elevação dos padrões de qualidade na gestão das atividades e manutenção e nas diversas comprovações documentais inerentes às certificações. O item 214-I do RBAC 145 (2014), o qual versa especificamente sobre Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional, prevê o uso de um sistema de indicadores de nível de desempenho de segurança operacional alcançado e do próprio sistema. Não obstante, os indicadores de manutenção analisados e desenvolvidos por organizações de padronização ou pesquisadores podem ser facilmente adaptados para a manutenção aeronáutica, de acordo com a necessidade de gerentes e usuários do sistema de manutenção da uma empresa.

Na sequência do trabalho e para uma melhor compreensão do modelo proposto é necessário que se faça uma revisão literária acerca dos métodos *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Analytic Network Process* (ANP).

2.3 Os métodos *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Analytic Network Process* (ANP)

A priorização de indicadores pode ser classificada como um problema de decisão multicritério uma vez enquadra-se na definição de Belton e Stewart (2002) que pontuam que em tais problemas não existe uma resposta certa, não se provê uma análise objetiva capaz de

eximir os decisores da responsabilidade de realizar julgamentos difíceis, não se elimina a dificuldade de se tomar uma decisão, são integradas medidas objetivas com valores de julgamento e são explicitados e gerenciados os aspectos subjetivos das decisões. Segundo os autores, um problema de decisão é considerado multicritério quando possui, pelo menos, dois critérios conflitantes e duas alternativas de decisão. O que caracteriza tal problema é a existência de um grupo finito de alternativas, uma escala de medidas para avaliação, uma matriz de decisão, um método de agregação de preferências e um contexto decisório. Sob esse aspecto considera-se um bom Método de Decisão Multicritério aquele que permite justificar a alternativa de decisão selecionada. Os Métodos de Decisão Multi Critério, do inglês *Multi Criteria Decision Analysis* (MCDA) avaliam um conjunto de alternativas com relação a um dado conjunto de critérios. O MCDA possui vários métodos capazes de organizar um problema complexo e dentre os métodos mais utilizados estão o Método de Análise Hierárquica do inglês *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e sua derivação o Método de Análise em Redes, do inglês *Analytic Network Process* (ANP), a Medição da Atratividade por uma Técnica de Avaliação baseada em Categorias, do inglês *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH), a família Eliminação e Escolha Traduzindo a Realidade, do francês *Elimination et Choix Traduisant La Réalité* (ELECTRE) e a família Método de Organização de Preferências para o Enriquecimento de Avaliações, do inglês *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE).

O método *Analytic Hierarchical Process* (AHP) do qual deriva o modelo *Analytic Network Process* (ANP), é uma teoria geral de mensuração desenvolvida para derivar prioridades relativas em escalas absolutas de pares de comparações discretos ou contínuos em estruturas multinível hierarquizadas. Essas comparações podem ser obtidas de medidas reais ou de uma escala fundamental que reflita a intensidade das preferências. Na sua forma genérica a AHP é um método que permite o desenvolvimento de raciocínios tanto dedutivos quanto indutivos sem o uso de silogismos, o que é possível ao se levar em consideração os vários fatores simultaneamente permitindo, assim, a dependência, a retroalimentação e a decisões de escolha numéricas para se chegar a uma síntese ou conclusão (SAATY E VARGAS 2006). Ao se usar a AHP ou a sua generalização para redes retroalimentadas, a (ANP) deve-se modelar o problema em uma estrutura hierarquizada (AHP) ou em rede (ANP), assim como, estabelecer as relações na estrutura de forma a indicar os fatores que serão comparados par a par. A diferença conceitual entre o método AHP (hierárquico) e o ANP (rede) pode ser observado na figura 1. A estrutura da AHP é linear e apresenta o

objetivo no nível mais alto da hierarquia e as alternativas no nível mais baixo, ou seja, uma estrutura linear de cima para baixo e sem retroalimentações. Os elementos intermediários sofrem influência do nível imediatamente acima e o retorno existente no último nível indica que cada alternativa depende apenas de si própria, sendo consideradas independentes umas das outras. O AHP faz comparações par a par para derivar a importância relativa da variável em cada nível da hierarquia e avalia as alternativas no nível mais baixo da hierarquia para tomar a melhor decisão entre alternativas. O AHP é um método eficaz de tomada de decisão que envolve subjetividade e é muito apropriado para resolver problemas onde os critérios de decisão podem ser organizados de forma hierárquica em objetivos, critérios e subcritérios. O AHP é usado para determinar prioridades relativas em escalas absolutas a partir de comparações de pares discretos e contínuos em estruturas hierárquicas multiníveis (SAATY e VARGAS, 1996). O mecanismo de priorização é conseguido através da atribuição de um número a partir de uma escala de comparação (Tabela 2.1) desenvolvida por Saaty (2013) para representar a importância relativa dos critérios.

Nível de Importância	Descrição
1	Igual importância entre aspectos comparados
3	Importância moderada de um aspecto em relação ao outro
5	Forte Importância de um aspecto em relação ao outro
7	Importância muito forte de um aspecto em relação ao outro
9	Extrema importância de um aspecto em relação ao outro
2,4,6,8	Escalas intermediárias

Tabela 2.1 – Escala fundamental de números absolutos – Adaptado de Saaty (2013)

As matrizes de comparações em pares desses fatores fornecem os meios para o cálculo da importância. O método AHP baseia-se em três princípios: a estrutura do modelo, o julgamento comparativo dos critérios e alternativas e a síntese das prioridades. Na primeira etapa do método AHP, um problema de decisão é estruturado segmentando-se um problema de decisão multicritério em uma hierarquia de elementos de decisão inter-relacionados (critérios, subcritérios e alternativas de decisão), semelhante a uma árvore genealógica. O segundo passo é a comparação dos critérios e alternativas. Uma vez que o problema foi decomposto a hierarquia é construída e o procedimento de priorização determina a importância relativa dos critérios. Em cada nível, os critérios são comparados por pares de acordo com seus níveis de influência e com base nos critérios especificados no nível mais alto. No AHP, múltiplas comparações entre pares são baseadas em uma escala de comparação padronizada de nove níveis, da seguinte forma: Seja $C = \{C_j \mid j = 1, 2, \dots, N\}$ o conjunto de critérios, então o resultado da comparação par a par em n critérios pode ser resumido em uma

matriz de avaliação ($n \times n$) A em que cada elemento a_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) é o quociente de pesos dos critérios. Esta comparação par a par pode ser mostrada por uma matriz quadrada e recíproca, como mostra a equação (1):

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Na última etapa, cada matriz é normalizada e os pesos relativos são determinados. Os pesos relativos são dados pelo vetor prioridade (w) correspondente ao maior autovalor (λ_{\max}):

$$Aw = \lambda_{\max} \cdot w \quad (2)$$

Se as comparações par a par forem consistentes, a matriz A tem a ordem 1 e $\lambda_{\max} = n$. Neste caso, os pesos podem ser obtidos normalizando-se qualquer uma das linhas ou colunas de A . Convém notar que a qualidade dos resultados do AHP está relacionada com a consistência dos juízos de comparação par a par. O Índice de Consistência (IC) pode ser calculado utilizando por meio da fórmula (3) :

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (3)$$

A utilização da razão de consistência final (RC) pode concluir se as avaliações são suficientemente consistentes. A RC é calculada como a relação entre o IC e o índice aleatório (RI). O número 0,1 é o limite superior aceito para o RC (4). Se o índice de consistência final exceder esse valor, o procedimento de avaliação deve ser repetido para melhorar a consistência.

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (4)$$

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,44	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

Tabela 2.2 – Índice Randômico . Fonte Saaty 2013

Por sua vez, no método ANP o problema de decisão é transformado em uma estrutura de rede. Esta estrutura de rede é construída com base na compreensão do problema de decisão

e as ligações entre os diferentes fatores no problema de decisão. É possível incorporar diferentes tipos de relações entre os fatores considerados. A estrutura de rede é composta de diferentes grupos de elementos, do inglês *clusters* e nós que estão conectados uns com os outros. Essas conexões representam as diferentes relações que existem entre os *clusters* e nós no problema de decisão. Um cluster é conectado a outro cluster quando pelo menos um elemento no primeiro agrupar está conectado em pelo menos dois elementos no outro agrupar. Entre os *clusters* e seus elementos existem diferentes relações (dependência interna inglês *inner dependence*, dependência externa do inglês *outer dependence* e *feedback*).

Uma estrutura hierarquizada é uma estrutura linear de cima para baixo, sem *feedback* de níveis inferiores a superiores e independência dos elementos dentro do seu próprio nível, como a utilizada no método AHP. Ao contrário de uma hierarquia, uma rede não tem a mesma estrutura linear. Os *clusters* não são arranjados em uma ordem particular e espalhados para fora em sentidos diferentes. Em uma rede utilizada no método ANP existem relações de dependência e retroalimentação entre critérios de decisão e a estrutura é não linear, pois existe uma rede que se expande conectando os elementos sem hierarquização dos mesmos, ou seja, a estrutura analítica é mais complexa e mais abrangente, no que se refere a solução de um problema com critérios que se influenciam mutuamente.

Na figura 2.1(a) as elipses representam os *clusters* (conglomerados de nós afins) e os pequenos círculos representam os nós de cada *cluster*. As setas representam a relação de influência ou dependência dos nós de cada *cluster*. A noção de rede é obtida pelo estabelecimento de como os nós de cada *cluster* interagem.

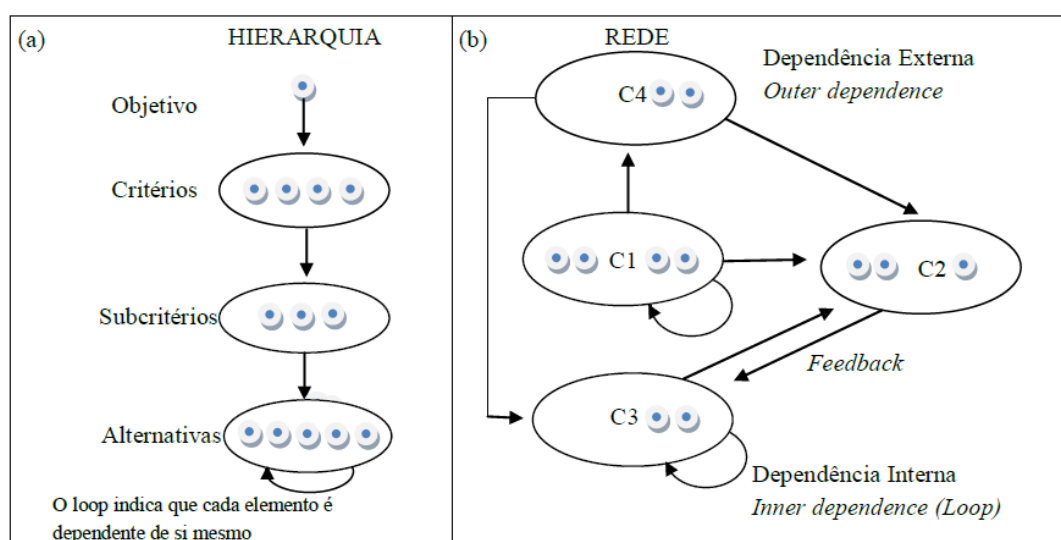


Figura 2.1: Comparação entre Hierarquia e Rede. Adaptado de Saaty, 2013

Observa-se que as relações de dependência entre os nós dos *clusters* $C_4-C_2, C_4-C_3-C_1-C_4$ e C_1-C_2 da Figura 2.1(b) representam alguns exemplos de dependência externa. A relação de dependência entre os nós dos *clusters* C_2-C_3 caracteriza o *feedback*. As voltas, do inglês *loop*, nos *clusters* C_1 e C_3 indicam a dependência interna dos nós destes *clusters*. No que se refere às relações de dependência externa entre os *clusters* em uma estrutura em rede, pode-se classificá-los em: 1) componente fonte, do inglês *source component*, no qual seus nós exercem influência sobre quaisquer nós de outro *cluster*, mas os mesmos não sofrem influência; 2) componente intermediário, do inglês *intermediate component*, sofre e exerce influência sobre o nó de outro *cluster*; e 3) componente sorvedouro, do inglês *sink component*, que apenas sofre influência dos nós de outro *cluster*.

Muitos problemas de decisão não podem ser estruturados hierarquicamente porque envolvem a interação e dependência de elementos de nível superior em uma hierarquia em elementos de nível inferior. Embora o AHP represente uma estrutura com uma relação hierárquica unidirecional, a ANP permite inter-relações complexas entre níveis e atributos de decisão. A abordagem ANP compreende quatro etapas: 1-) Construção de modelos e estruturação do problema, o qual deve ser analisado e decomposto em um sistema racional em uma rede de conexões de dependências; 2-) Comparações par a par, de acordo com e obtenção dos vetores prioritários: Na ANP, como na AHP, os elementos de decisão em cada *cluster* são comparados par a par com respeito à sua importância de cada critério de controle, de acordo com a escala Fundamental de Saaty. Além disso, as interdependências entre os critérios de um *cluster* também devem ser examinadas em pares. A influência de cada elemento sobre os outros elementos pode ser representada por um autovetor; 3-) Formação da Supermatriz: Para obter prioridades globais em um sistema com influências interdependentes, os vetores de prioridade local são inseridos nas colunas apropriadas de uma matriz. Como resultado, uma Supermatriz é realmente uma matriz segmentada, onde cada submatriz representa uma relação entre dois *clusters* em um sistema; e 4-) Síntese dos critérios e prioridades das alternativas e seleção das melhores alternativas: Os pesos prioritários dos critérios e alternativas podem ser encontrados na Supermatriz normalizada.

O objetivo resume o propósito que o tomador deseja alcançar. Os *clusters* representam os grupos de nós que possuem alguma característica comum relevante para o problema em questão. Os nós são as unidades básicas da rede. Por fim, as ações potenciais ou alternativas são as possíveis soluções do problema. Após estabelecidos os *clusters* da rede torna-se necessário definir as relações de dependência e *feedback* entre os nós desses *clusters*. Para melhor visualizar a existência das relações de dependências Saaty sugere a utilização de

matrizes binárias conhecidas por matriz de alcance global e matriz de alcance local. A matriz de alcance global indica se há ou não relações de dependência entre quaisquer nós de dois *clusters* distintos ou entre quaisquer nós de um mesmo *cluster* (*loop*). A matriz de alcance local especifica os nós dos clusters que exercem influência sobre outros nós da rede. Em ambas as matrizes, o valor unitário será atribuído se houver dependência e o valor zero, caso contrário. Após as comparações os autovetores obtidos das matrizes de decisão são avaliados e verificados quanto a sua representatividade diante do problema. Caso o autovetor não seja representativo, a comparação par a par entre os nós ou entre os clusters deve ser refeita ou a reformulação do problema de decisão, de maneira que os autovetores, de fato, as preferências do decisor. Sendo o autovetor representativo, procede-se a verificação da consistência dos julgamentos e registro dos autovetores por meio do cálculo da Razão de Consistência, já mencionada.

Da mesma forma que no método AHP o cálculo da RC leva em consideração o afastamento entre λ máximo e n . Quanto mais próximo o autovalor máximo obtido for do número de ordem da matriz de comparação, maior será a coerência dos julgamentos. Assim, espera-se que a situação ideal $\lambda \text{ máx} = n$. Também como no AHP, as matrizes de decisão do ANP são consideradas consistentes se o RC for menor que 0,1. Caso contrário o problema de decisão deve ser estudado e as comparações par a par reavaliadas. Havendo consistência parte-se para o passo seguinte que é a estruturação da supermatriz, sendo que para cada rede existem três matrizes associadas: 1) Supermatriz sem pesos (ou não-ponderada); 2) Supermatriz ponderada; e 3) Matriz limite.

$$W = \begin{matrix} & & & C_1 & C_2 & \dots & C_N \\ & & & e_{11}e_{12}\dots e_{1n_1} & e_{21}e_{22}\dots e_{2n_2} & \dots & e_{N1}e_{N2}\dots e_{Nn_N} \\ C_1 & e_{11} & & & & & \\ & e_{12} & & & & & \\ & \vdots & & & & & \\ C_2 & e_{1n_1} & W_{21} & & & & \\ & e_{21} & & W_{22} & & & \\ & e_{22} & & & \dots & & \\ & \vdots & & & & & \\ \vdots & e_{2n_2} & \vdots & & & & \\ & e_{N1} & & & & & \\ & e_{N2} & & & & & \\ C_N & \vdots & & & & & \\ & e_{Nn_N} & W_{N1} & & W_{N2} & \dots & W_{NN} \end{matrix} \quad W_{ij} = \begin{bmatrix} W_{i1}^{(j_1)} & W_{i1}^{(j_2)} & \dots & W_{i1}^{(j_{n_j})} \\ W_{i2}^{(j_1)} & W_{i2}^{(j_2)} & \dots & W_{i2}^{(j_{n_j})} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ W_{in_i}^{(j_1)} & W_{in_i}^{(j_2)} & \dots & W_{in_i}^{(j_{n_j})} \end{bmatrix}$$

Figura 2.2: Estrutura padrão de uma Supermatriz de uma rede. Fonte Saaty 2013

A Supermatriz é uma estrutura introduzida por Saaty para tratar a interdependência entre os nós e solucionar os problemas de decisão modelados em rede pela ANP. A Figura 2.2 ilustra uma estrutura padrão de uma supermatriz genérica (W) onde os clusters da rede são definidos por C_h ($h= 1,2,\dots,N$) e os respectivos nós de cada cluster são identificados por h_n , da seguinte forma: $e_{h1}, e_{h2}, \dots, e_{hn}$. As sub-matrizes W_{ij} são os componentes da supermatriz e representam as matrizes obtidas com a agregação dos autovetores obtidos nas comparações par a par entre os nós. Essa construção traduz a Supermatriz sem peso que é composta por autovetores obtidos por meio das comparações par a par oriundas das relações de dependência entre os nós. A Supermatriz ponderada considera a importância de cada *cluster* obtida por meio da determinação do vetor prioridade (peso dos *clusters*) e consiste em multiplicar cada matriz W_{ij} pelo correspondente peso do *cluster* C_h , calculado na comparação entre *clusters*. A matriz limite é obtida elevando-se a Supermatriz ponderada a sucessivas potências até a sua convergência, isto é, quando todas as colunas na matriz possuem os mesmos valores.

Uma vez revistos os métodos AHP e ANP serão revistos os conceitos presentes na literatura referentes à medição do desempenho por meio de critérios e indicadores a fim de se compreender melhor o problema a ser modelado.

2.4 A medição do desempenho por meio de critérios e indicadores

No que se refere a construção de um Sistema de Medição de Desempenho, Tapinos e Dyson (2007) pontuam que existe uma grande confusão entre os conceitos de medição de desempenho, de medidas de desempenho e de sistemas de medição de desempenho. Os autores ressaltam que a medição do desempenho pode ser definida como “o processo de quantificação da eficiência e eficácia da ação”, uma medida de desempenho é “uma métrica usada para quantificar a eficiência e/ou a eficácia da ação, enquanto que um sistema de medição de desempenho é um conjunto de métricas utilizado para quantificar tanto a eficiência quanto a eficácia de ações”. Segundo os autores é comum admitir que não existe uma “caixa de ferramentas mágica” que possa garantir o sucesso do planejamento e da implantação de um sistema de medição de desempenho. No entanto, é importante seguir uma série de estágios para garantir o alinhamento do sistema de medição de desempenho com a estratégia organizacional.

O primeiro estágio deve ser concentrado no planejamento do sistema de medição de desempenho. Nesse estágio, os gerentes envolvidos devem definir quais são as expectativas e

objetivos da utilização do sistema. Em seguida, a direção da organização e a sua estratégia devem ser traduzidas em medidas de desempenho e objetivos específicos podem ser selecionados. O segundo estágio consiste no desenvolvimento de abordagens práticas de identificação e coleta das informações necessárias, analisando-as de tal forma que sejam significativas aos vários níveis de tomada de decisão e de controle, apresentando-as da forma mais eficiente possível. Nesse estágio, as implicações do sistema de medição de desempenho para toda a organização devem ser consideradas e as medidas de desempenho devem fluir em “cascata” para todos os níveis hierárquicos. O terceiro estágio consiste em colocar em funcionamento o sistema de medição de desempenho. Um estágio adicional para a implantação do sistema de medição de desempenho deve ser a revisão da efetividade do sistema atual e o seu aperfeiçoamento, caso seja necessário. Os autores sugerem uma lista de regras e diretrizes para o desenvolvimento de um sistema de medição de desempenho, das quais destacam-se:

- 1- Os critérios de desempenho precisam ser selecionados a partir dos objetivos da empresa;
- 2- Os critérios de desempenho precisam tornar possível a comparação as organizações que estão no mesmo negócio (frotas no presente caso);
- 3- O propósito de cada critério de desempenho precisa estar claro;
- 4- A coleta de dados e os métodos de cálculo dos critérios de desempenho precisam estar claramente definidos;
- 5- Critérios de desempenho baseados em razões são preferíveis à números absolutos;
- 6- Os critérios de desempenho precisam estar sob o controle de uma unidade específica da organização;
- 7- Os critérios de desempenho precisam ser selecionados por meio de discussões com as pessoas envolvidas (clientes, empregados, gerentes).
- 8- Critérios de desempenho objetivos são preferíveis aos subjetivos.

Seguindo as recomendações de Tapinos e Dyson (2007) para a aplicação no presente trabalho será feito de forma coerente com a metodologia dos três estágios, da seguinte forma:

- 1- Planejamento do sistema de medição de desempenho. A direção da organização e a sua estratégia serão traduzidas em objetivos e critérios. Franceschini *et al* (2009) observam que para uma organização operadora de uma aeronave possa gerenciar da maneira mais eficaz e econômica sua frota ao longo de todo o ciclo de vida, estratégias de suporte devem ser previamente definidas em níveis hierárquicos

superiores e refletidas nas ações gerenciais definidas pelo gerente de suporte logístico, com o uso de ferramentas de auxílio à decisão;

- 2- Identificação de indicadores de desempenho que sejam significativos aos vários níveis de tomada de decisão e de controle, apresentando-as da forma mais eficiente possível. Como sublinhado por Tapinos e Dyson (2007), as implicações do sistema de medição de desempenho para toda a organização devem ser consideradas e as medidas de desempenho devem fluir em “cascata” para todos os níveis hierárquicos. Franceschini *et al* (2009), por sua vez, argumentam que o excesso do uso de indicadores de desempenho pode ser prejudicial, por gerar muita informação que nem sempre é útil ou relevante, mas que demanda tempo de análise.
- 3- O terceiro estágio consiste em colocar em funcionamento o sistema de medição de desempenho.

De acordo com o primeiro estágio preconizado por Tapinos e Dyson (2007), para a estruturação de um sistema de medição de desempenho, um conjunto de critérios relevantes e coerentes com a estratégia de utilização e com o objetivo de manter a frota dentro da disponibilidade prevista deverá ser selecionado. Tais critérios poderão ter seus graus de importância relativizados entre si, de acordo com a estratégia de suporte definida, além de poderem relacionar-se (ou não) de forma unidirecional, bidirecional ou se retroalimentando. Além disso, os critérios serão fatores de ponderação entre os indicadores de desempenho selecionados, de forma coerente com a estratégia de utilização. A priorização dos indicadores deve ser elaborada de forma que informações mais relevantes possam ser captadas o mais cedo, ressaltando que Franceschini *et al* (2009) alertam que o excesso do uso de indicadores de desempenho pode ser prejudicial, por gerar muita informação que nem sempre é útil ou relevante, mas que demanda tempo de análise. Na sequência serão tecidas considerações da literatura referente à indicadores de desempenho de suporte logístico propriamente dito, uma vez que são o foco central do estudo e precisam ser melhor compreendidos.

2.5 Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico

O uso de indicadores de desempenho é bastante comum e normalmente associado à melhoria de processos e aumento de produtividade nas abordagens econômico-financeiras de gestão de empresas. Segundo Franceschini *et al* (2009) é amplamente difundido o conceito de que a maioria das organizações de maior complexidade gerencial utiliza sistemas de medição

de desempenho com indicadores de desempenho para dar real atenção aos resultados, responsabilidades e metas. Os gerentes os utilizam como fontes de informação para auxílio à decisões de alocação de recursos, definição e acompanhamento de estratégias. Os autores sublinham que, se por um lado, os padrões de qualidade se tornaram ferramentas de controle interno nas operações das organizações, os indicadores de desempenho são os comunicadores dos resultados para o mundo externo.

Os autores ressaltam que o conceito de qualidade deve ser entendido como a habilidade de se satisfazer os diferentes tipos de requisitos, como os de produção, os econômicos e os sociais, por meio de ações concretas e mensuráveis e a qualidade dos desempenhos é o elemento básico para diferenciar as empresas em seus mercados. Para torná-la efetiva devem-se identificar as demandas e necessidades dos participantes envolvidos, do inglês *Stakeholders* e atendê-las por meio de processos e aplicação de recursos, o que requer a correta observação da evolução dos processos. Os indicadores de desempenho são instrumentos adequados para se atingir esse propósito, pois não são simples ferramentas de observação, uma vez que podem ter um importante efeito normativo, podendo alterar comportamentos e influenciar decisões.

Franceschini *et al* (2009) alertam que a seleção de indicadores não é um processo simples e há muitas possibilidades de erro, pois existe uma tendência de se buscar resultados apenas no que é medido pelos indicadores, negligenciando outros processos e, com o passar do tempo, as empresas e suas estratégias específicas tendem a se tornar apenas aquilo que é medido. Muitos indicadores parecem corretos e de fácil utilização, mas podem ter consequências negativas e contraprodutivas. Outros, por sua vez, podem ser de difícil medição, mas com foco em aspectos críticos para o sucesso da empresa.

Segundo os autores, a construção de um sistema de indicadores voltado para a qualidade deve focar nas necessidades dos *Stakeholders* e na definição dos níveis de desempenho de forma a organizar e controlar cada processo a ser monitorado. Um sistema é geralmente estruturado por meio de vários processos interconectados, o que implica o envolvimento não apenas dos usuários finais, mas também dos intermediários. Monitorar um processo requer identificar atividades específicas, responsabilidades e selecionar indicadores capazes de verificar a eficácia e a eficiência. Eficácia significa que os objetivos foram atingidos adequadamente e é medida comparando-se os resultados aos objetivos estabelecidos. Por sua vez, eficiência significa obter o máximo de resultados diante dos recursos empregados, sejam eles quais forem. Eficiência, portanto, define a ligação entre o

desempenho dos processos e os recursos empregados. Identificar e controlar o desempenho e a evolução dos processos é indispensável para se definir as ações a serem seguidas.

Um sistema de medição de desempenho, segundo Franceschini *et al* (2009), deve levar em consideração tanto a definição de indicadores quanto as decisões a serem tomadas diante das diferenças entre as metas e os desempenhos medidos e deve, ainda, ser técnica e economicamente eficiente focando nos resultados e não nas ações. No processo de seleção de indicadores o aspecto mais crítico não consiste em encontrar indicadores, mas, sim, identificar aqueles que representam adequadamente o processo, os assim chamados Indicadores de Desempenho Chave ou KPI, do inglês *Key Performance Indicator*. Escolher os indicadores certos é um aspecto crítico na tradução da missão da organização, ou uma estratégia em realidade, como é o caso presente estudo. Indicadores e estratégias são estreita e inevitavelmente ligados um ao outro. Uma estratégia sem indicadores não tem utilidade e indicadores sem estratégia não tem significado (FRANCESCHINI *et al*, 2009).

Indicadores são utilizados para “filtrar” o grande volume de dados coletados pelas empresas. Ações e decisões são fortemente influenciadas pela natureza, tipo de uso e horizonte de tempo (curto ou longo prazo) dos indicadores os quais tem as seguintes funções:

1^a- Controle: Indicadores permitem que gerentes e funcionários avaliem e controlem o desempenho dos recursos pelos quais são responsáveis;

2^a- Comunicação: Os indicadores comunicam o desempenho não apenas internamente, para fins de controle, mas externamente, aos propósitos dos *stakeholders*. Portanto, indicadores mal definidos ou implementados podem levar à frustrações e confusão.

3^a- Melhorias: Indicadores identificam lacunas entre o desempenho previsto e o efetivamente alcançado, o que permite intervenções corretivas visando a melhorias. O tamanho da lacuna e sua direção (positiva ou negativa) dão informações para as correções e ajustes. Cada sistema de indicadores é dinâmico. Isso decorre da necessidade de se mudar indicadores em resposta a novas prioridades estratégicas e da necessidade de se manter os indicadores de forma a permitir comparações ao longo do tempo. (FRANCESCHINI *et al*, 2009).

No que diz respeito ao estudo de indicadores, um dos aspectos mais complexos é a variedade de tipos que pesquisadores e gerentes podem encontrar. Os autores classificam os indicadores por meio de dois atributos. O primeiro deles é o foco naquilo que o indicador deve apontar (ex: aspectos financeiros, operacionais, técnicos, etc) e o segundo é o tipo de uso que o indicador terá (ex: previsão, análises de eventos ocorridos, etc). Quando se utiliza o

termo indicador, podemos estar nos referindo aos seguintes tipos: Indicadores Básicos, Indicadores Derivados, Conjuntos de Indicadores e Sistemas de Medida de Desempenho.

Esses indicadores ou grupo de indicadores são ligados uns aos outros. Na base encontram-se os Indicadores Básicos, os quais são agregados para formar Indicadores Derivados ou Conjuntos de Indicadores, os quais são sínteses de dois ou mais indicadores. Cada Conjunto de Indicadores representa e regula um processo funcional específico. Em concordância com Tapinos e Dyson (2007), Franceschini *et al* (2009) argumentam que o gerenciamento e a coordenação de um processo global são realizados por um Sistema de Medidas de Desempenho, o qual se encontra no maior nível hierárquico. Um Sistema de Medidas de Desempenho é responsável por coordenar indicadores através de várias funções e pelo alinhamento do nível estratégico (mais alto nível gerencial) ao nível operacional (nível de execução ou produção). Para cada função ou atividade múltiplos indicadores podem ser desenvolvidos ou implementados. O desafio é desenhar uma estrutura de indicadores, de forma a extrair dela a informação adequada sobre o desempenho que se quer medir. Franceschini *et al* (2009) ressaltam que um bom conjunto de indicadores direciona e regula as atividades em apoio aos objetivos estratégicos e provê retroalimentação, do inglês *feedback*, em tempo real, dados para previsões e ideias de oportunidade de melhoria. Além disso, indicadores necessitam ser flexíveis no reconhecimento e na resposta às demandas operacionais em evolução. No âmbito do Suporte Logístico Integrado a referência literária utilizada no presente trabalho para a escolha de indicadores de desempenho é o PBL Guidebook (2016), Apêndice F – PBL Metrics. Os indicadores selecionados podem ser classificados como Derivados por Franceschini *et al* (2009) e prospectivos por Kumar *et al* (2013), pois visam a alertar sobre o não atendimento de objetivos antes de se existir um problema, ou seja, irão trabalhar como faróis de alerta ao gerente de suporte logístico de uma frota à gerência da organização sobre a situação presente em relação à planejada. Tais indicadores, no entanto, visam a apontar apenas os aspectos estratégicos, mais amplos e não específicos. Uma vez compreendido os aspectos relevantes com relação aos indicadores, por meio de referências literárias será focada a literatura necessária à compreensão das características do suporte logístico na fase de operação das frotas, necessário à correta modelagem do problema.

2.6 Características do Suporte Logístico na fase de operação

Após a entrada em operação uma frota de aeronaves normalmente é mantida de acordo com um Plano de Suporte Logístico Integrado, concebido de forma concomitante ao desenvolvimento do sistema. Modernizações ou atualizações de subsistemas das aeronaves durante a fase operacional do Ciclo de Vida podem ser realizadas no intuito de corrigir desvios de projeto, prevenir falhas futuras ou mesmo readequar os sistemas aos novos perfis operacionais. Tais alterações poderão demandar a readequação do suporte logístico, os quais deverão incluir, por exemplo, o suporte de novos equipamentos embarcados, a mudança de práticas de inspeção pela incorporação de equipamentos de auto-teste, do inglês *Built-In Self-Test* (BIST) or *Built-In Test* (BIT) (KINISSON 2004), a incorporação de partes expostas a desgastes e que requeiram inspeção constante, por exemplo.

O moderno gerenciamento de ativos físicos de uma empresa, do inglês *Physical Asset Management*, tem como objetivo a preservação da capacidade dos bens e a mensuração da sua depreciação, fatores que devem estar sempre dentro de um planejamento orçamentário. Sob esse aspecto deve haver sempre o equilíbrio entre o desempenho e as atividades de suporte, como ilustra a Figura 2.3 (JONES 2007).

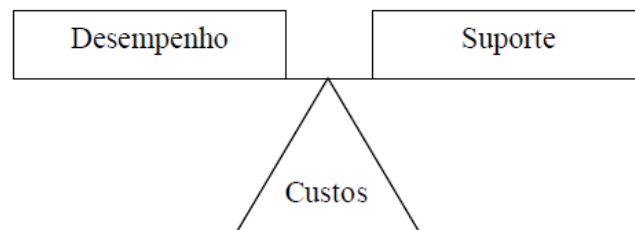


Figura 2.3- Equilíbrio entre Desempenho e Suporte. Fonte Jones (2007)

Como elo importante do gerenciamento de ativos físicos o gerente de suporte logístico de frota tem como tarefa conduzir ações que garantam o cumprimento do Plano de Suporte Logístico Integrado feito com base em requisitos utilizados, tanto no desenvolvimento da aeronave, quanto do seu sistema de suporte. Espera-se, com isso, que a frota atinja ou supere o tempo projetado de ciclo de vida e apresente os níveis de prontidão esperados. Sempre que uma frota é operada de forma diferente da que foi inicialmente idealizada na fase de desenvolvimento ocorre um desequilíbrio entre o desempenho e o suporte, com custos associados. De acordo com esse conceito, se por um lado o sistema é exigido além do

previsto para um determinado período, como em casos de incremento de demanda (devido à sazonalidade ou expansão de malha na aviação comercial, em ambos os casos exigindo aumento do número de voos) ou uma campanha militar (no caso de um treinamento específico não programado ou situações de emprego real em combate), os custos de suporte aumentarão em virtude de um maior número de manutenções programadas ou não programadas, aquisição adicional de peças de reposição, aumento da mão de obra, da quantidade de ferramentas de apoio, do número de tripulantes necessários, de treinamento, etc. Por outro lado, se o sistema tem seu uso aquém do previsto os meios de suporte ficarão ociosos, o que também implica em custos desnecessários de preservação dos bens.

Do ponto de vista do suporte logístico, quando a frota é demandada além do previsto como, por exemplo, no caso de uma quantidade de falhas em um subsistema além do esperado, a balança, mais uma vez, entra em desequilíbrio, pois existem tanto os prejuízos diretos, advindos da parada de uma ou mais aeronaves ocasionando a redução de meios disponíveis para o cumprimento de objetivos, como prejuízos indiretos, como comprometimento da imagem da empresa ou a demonstração de fragilidade de uma força militar, com o consequente impacto político. Já o suporte utilizado aquém do previsto revela a subutilização da frota ou sua excepcional qualidade.

Aeronaves são adquiridas para uma determinada necessidade, normalmente expressa por meio de requisitos formalizados tecnicamente com níveis de rigor distintos, dependendo de como são elaborados. Uma razão comum para que as frotas não atendam todas as expectativas de desempenho na fase de utilização é a evolução ou modificação dos perfis de missões a serem cumpridas. Em alguns casos, em virtude do tempo necessário entre o desenvolvimento de um sistema de grande complexidade e sua entrada em operação não é incomum a sua defasagem técnica logo no início das operações. Quando isso ocorre, todas as decisões feitas referentes ao suporte logístico na fase de desenvolvimento podem igualmente ser afetadas. Além disso, mudanças no ambiente de utilização podem criar problemas significativos para o sistema e o seu suporte (JONES, 2007).

Os recursos de suporte idealizados durante a fase de desenvolvimento são baseados unicamente nos requisitos que buscam traduzir as necessidades presentes e futuras, baseados em fatos históricos. No caso de não haver registros históricos, os meios de suporte são desenvolvidos exclusivamente com recursos de engenharia, o que pode resultar em requisitos não completamente atendidos e recursos mal utilizados. Os três Elementos do ILS mais suscetíveis a esses problemas são Mão de Obra, Instalações e Infraestrutura e Suprimento (JONES, 2007). Ações corretivas são fundamentais em toda a fase de operação do sistema e

podem incluir, não só mudanças no projeto original, mas modificações ou ajustes nos recursos de suporte e na infraestrutura. Cada uma das ações corretivas segue um processo distinto de elaboração e implantação e devem ser objeto de análises de custo-benefício, tendo em vista se o valor na modificação do sistema é maior que o custo do desenvolvimento e da implantação da modificação somada ao custo de adequação da estrutura de suporte do sistema (JONES, 2007). Outro fator complicador dessa equação é o fato de que, em virtude da complexidade de uma aeronave comercial ou militar e de sua estrutura de suporte, as fases de implantação e de operação podem ter um período de superposição como, por exemplo, no caso de uma grande frota de aeronaves entregue ao longo de vários anos.

Todos os Elementos do Suporte Logístico Integrado necessitam ser observados com a mesma atenção em todas as fases do ciclo de vida em que o sistema se encontra. Na fase de concepção e projeto do sistema, por exemplo, deverá ser dada grande importância em características que minimizem a necessidade de manutenção, de suprimento de peças, de mão de obra, de instalações, de equipamentos de apoio, etc., de forma a minimizar os custos e maximizar a disponibilidade dos meios. Decisões tomadas na fase de *design* do sistema terão impacto no seu desempenho em todo o ciclo de vida, inclusive na sua desativação (ILS GUIDEBOOK 2011). Mesmo que a frota ainda possa ser adquirida e mantida por outros operadores, tal possibilidade dependerá de uma estrutura de suporte economicamente sustentável e viável. A fase de operação do sistema herdará, por sua vez, todas as boas e más decisões de projeto, o que poderá facilitar ou dificultar a sua operação e manutenção, tornando-as mais ou menos dispendiosas economicamente.

Os gerentes de suporte logístico tem como missão adequar o uso das frotas de acordo com as necessidades operacionais, traduzidas em requisitos na fase de desenvolvimento, ao Plano de Suporte Logístico Integrado verificando desvios e propondo ações corretivas (PSM GUIDEBOOK 2016). No entanto, a utilização de um sistema com a complexidade técnica de uma aeronave militar ou de transporte comercial nem sempre se mostra coerente com os requisitos elaborados vários anos antes do início das operações. A rápida evolução tecnológica dos sistemas embarcados ou até a atualização das necessidades operacionais advindas de novos cenários políticos e econômicos contribuem para tal. A consequente questão logística em tais situações é que, ou as frotas devem ser atualizadas tecnologicamente ou, então, os perfis de operação tem que ser modificados como a quantidade de horas voadas, a exposição à algumas condições ambientais, o uso com limitação de equipamentos, etc. Em qualquer condição o impacto associado ao Suporte Logístico Integrado deve ser analisado a fim de se verificar as readequações necessárias.

O aumento da utilização ou o uso em condições de maior desgaste dos equipamentos demanda um maior número de manutenções preventivas e corretivas, o aumento do estoque de peças de reposição, ferramentas, equipamentos de apoio, meios computacionais e estruturas de apoio, como hangares e oficinas. Além disso, o uso dos sistemas em condições não originalmente projetadas poderá requerer estudos de engenharia na solução de problemas apresentados na nova operação como, por exemplo, a substituição de componentes que suportam mais calor ou umidade ou um reforço estrutural necessário para pousos em locais com menos estrutura. O gerente de suporte logístico, portanto, é o elemento que deve estar atento, tanto em situações de utilização estritamente de acordo com as necessidades operacionais, as quais foram transmitidas na forma de requisitos aos fabricantes dos sistemas, quanto em condições de uso diferentes das previstas na fase de desenvolvimento do produto. Para tanto, esse profissional necessita de ferramentas de auxílio à decisão, capazes de capturar anomalias no desempenho operacional e no seu suporte logístico.

Uma vez capturados alguns aspectos de como o suporte logístico pode sofrer modificações ao longo do ciclo de vida das frotas a discussão prosseguirá na análise da lógica acerca do suporte logístico, ou seja, como, os componentes da estrutura de suporte logístico se relacionam, o que é fundamental para a modelagem do problema.

2.7 A lógica do suporte logístico

O suporte logístico tem na disponibilidade dos sistemas o seu principal objetivo. Apesar do conceito teórico da disponibilidade ser extremamente simples, na prática manter uma frota de sistemas de grande complexidade disponível é uma tarefa extremamente desafiadora e sujeita a constantes adversidades. O conceito básico assumido para uma estratégia de suporte de uma frota é o da disponibilidade, o qual Jones (2007) define como a probabilidade de um sistema estará operante e pronto para o emprego quando requerido em um período de tempo não definido. Segundo o autor a posse de um sistema só tem valor quando se pode, de fato, utilizá-lo e a sua disponibilidade pode ser prevista ou medida.

No estágio inicial de desenvolvimento de um sistema, os requisitos de disponibilidade são criados com base no perfil de utilização pretendido, na razão de utilização e no ambiente de operação. Tais requisitos são o fundamento para a elaboração dos objetivos de Disponibilidade e de projeções que guiam o processo de engenharia de sistemas. Na fase de desenvolvimento as previsões de disponibilidade são obtidas unicamente por estatísticas de confiabilidade e de falhas e de tempos de reparo. Na medida em que o desenvolvimento

amadurece outros fatores são inseridos na equação de previsão de disponibilidade (JONES 2007). Essas previsões são úteis nas análises das decisões referentes a conceitos de manutenção e de projeto dos sistemas.

Segundo Jones (2007) trata a Disponibilidade por meio de três conceitos complementares: Disponibilidade Inerente (A_i), Disponibilidade Atingida (A_a) e Disponibilidade Operacional (A_o). A Disponibilidade Inerente (A_i) é o mais simples dos conceitos e seu propósito está em determinar a porcentagem líquida que um sistema deveria estar teoricamente pronto para o uso. A Disponibilidade Atingida (A_a) vai um passo além, pois inclui o tempo gasto nas ações de manutenção, tanto corretivas quanto preventivas. O conceito mais abrangente, no entanto, é da Disponibilidade Operacional (A_o) a qual captura a porcentagem de tempo operação efetiva que o sistema encontra-se em condições de ser utilizado, o que permite verificar o quão bem o sistema está atendendo às missões previstas e correspondendo aos requisitos de projeto e o quão bem está sendo suportado. Não obstante a esses conceitos a Disponibilidade de um sistema ou de uma frota é resultado de diversas ações realizadas em conformidade com um Plano de Suporte Logístico Integrado, o qual foi concebido para prever todas as necessidades de suporte de um sistema específico. Ainda de acordo com Jones (2007), a Disponibilidade Operacional é a razão entre o Tempo de Prontidão para o Emprego e o Tempo Total, ou a razão da diferença entre o Tempo Total e o Tempo de Não-Prontidão para o Emprego, do inglês *Non Mission Capable Time* (NMCT) e o Tempo Total:

$$A_o = \frac{\text{Tempo Total} - \text{NMCT}}{\text{Tempo Total}}$$

Por sua vez, NMCT é composto de três partes, o Tempo Total de Manutenções Corretivas, do inglês *Total Corrective Maintenance Time* (TCM), o Tempo Total de Manutenções Preventivas, do inglês *Total Preventive Maintenance Time* (TPM) e o Tempo de Atraso Administrativo e Logístico, do inglês *Administrative and Logistics Delay Time* (ALDT):

$$\text{NCMT} = \text{TCM} + \text{TPM} + \text{ALDT}$$

Blanchard (2004), no que se refere à Disponibilidade pontua que a Confiabilidade, do inglês *Reliability* influencia diretamente a quantidade de manutenções realizadas, ou seja, quanto mais falhas, mais ações de manutenção. O Tempo de Atraso Administrativo e Logístico

(ALDT), por sua vez, é composto de diversos fatores, tais como, disponibilidade de estoque de peças necessárias à manutenção do sistema, disponibilidade de equipamentos de apoio, tais como, ferramentas, instrumentos de aferição e de calibragem, ferramentas, bancadas de teste, suportes, etc, disponibilidade de pessoal capacitado para a realização das manutenções e do seu gerenciamento, instalações capazes de abrigar adequadamente as atividades de manutenção, não apenas no que se refere à proteção física dos sistemas e do pessoal, mas também dimensionadas e com a infraestrutura preparada para o tipo de manutenção a ser realizada, como por exemplo, dispor de guindastes, gruas, equipamento de combate à incêndio, iluminação adequada, mobiliário, estrutura de captação de dejetos químicos e sanitários, etc. O ALDT também tem como fatores o tempo de transporte do sistema para os locais de manutenção, bem como, o e das peças de reposição.

Por fim, o tempo de atraso administrativo também é um fator importante no ALDT, pois inclui todo o aspecto processual e gerencial das atividades de manutenção, limitações orçamentárias e falta de coordenação. A Disponibilidade Operacional pode, portanto, ser sintetizada por meio do esquema representado na Figura 2.4.

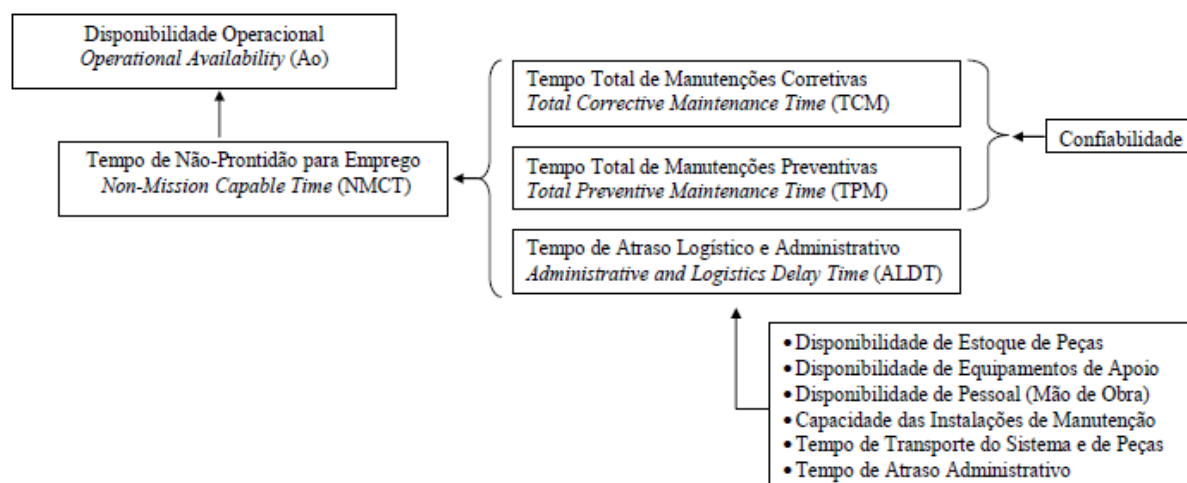


Figura 2.4 – A Disponibilidade Operacional e seus componentes. Fonte: o autor

Cabe ressaltar, nesse ponto, a evidente relação entre o conceito de Disponibilidade Operacional e seus componentes, mostrada na Figura 2.4 e os Elementos do ILS, o que não poderia ser diferente, uma vez que o ILS foi concebido justamente para elevação da Disponibilidade e redução de prazos e custos.

Um modelo de priorização de indicadores de desempenho com foco na disponibilidade deverá ter como critérios os aspectos fundamentais que traduzam a lógica do Suporte

Logístico: Disponibilidade, Manutenção (Corretiva e Preventiva), Suprimento (Disponibilidade de Estoque de Peças), Mão de Obra (Disponibilidade de Pessoal) e Confiabilidade. Como o problema do presente trabalho foca o suporte logístico na fase de operação da frota esse estudo parte do princípio que as instalações e a quantidade de equipamentos de apoio e de recursos computacionais não são fatores que afetem a Disponibilidade. Já o tempo de transporte de aeronaves e de peças, bem como, os atrasos logísticos, estão incluídos nos critérios de suprimento e de manutenção.

Na estrutura de Suporte Logístico parte-se do princípio que todos os critérios se intrarelacionam, interrelacionam e se comunicam, da mesma forma que os Elementos do ILS. Essa ligação é mais facilmente compreendida quando analisamos situações práticas. Por exemplo, a baixa confiabilidade de algum item vai demandar mais peças de estoque, mais mão de obra empregada em manutenções corretivas, mais ações de manutenção e consequentemente menos disponibilidade. Falta de peças de estoque, por sua vez, afetará indicadores de disponibilidade, uma vez que as aeronaves estarão não completamente equipadas mesmo indisponíveis para o voo, indicadores de manutenção, uma vez que as ações não poderão ser realizadas sem as peças, indicadores de mão de obra, uma vez que não serão empregados mecânicos e técnicos antes da chegada da peça e indicadores de confiabilidade os quais demonstrarão índices inferiores ao necessário. Em outro exemplo, clássico, podemos verificar que a baixa disponibilidade das aeronaves será relacionada a manutenções não realizadas em tempo em virtude de falta de mão de obra ou de peças de reposição, que é reflexo ou de um cálculo errado para o provisionamento de peças ou de índices confiabilidade mal estipulados pelo fabricante da peça.

Por outro lado, para se compreender importância relativa entre critérios estratégicos de suporte é necessário entender que os cenários de operação da aviação comercial e militar são repletos de variáveis e totalmente dependentes do funcionamento correto de suas aeronaves, que para estarem disponíveis no momento planejado dependem de estruturas de suporte idealizadas desde a fase de concepção do sistema e eventualmente atualizadas durante o seu período de utilização. Além disso, é importante ressaltar que durante os seus ciclos de vida as aeronaves realizam não apenas inúmeras manutenções preventivas e corretivas, como também ações de engenharia que visam a aplicar correções ou atualizações técnicas (modernizações).

As estratégias organizacionais definidas para a operação de um determinado sistema podem ser modificadas inúmeras vezes ao longo do seu ciclo de vida, implicando na adequação constante do seu Plano de Suporte Logístico Integrado. Um exemplo disso pode ser encontrado na utilização das aeronaves de bombardeio B-1 da Força Aérea Americana.

Concebido ainda no período da Guerra Fria, a aeronave foi idealizada para ataques em profundidade dentro do território inimigo, o que exigia características de longo alcance e grande velocidade. Com a mudança dos cenários de emprego, após a “queda do Muro de Berlim”, para aplicações nos conflitos do Oriente Médio, a aeronave, por sua grande autonomia e capacidade de transporte de armamento, passou a ser empregada no apoio aéreo aproximado às tropas, como ressalta o artigo de 30 de dezembro de 2015 do Jornal Washington Post : O bombardeiro B-1: Uma pouco valorizado trabalhador nas guerras aéreas americanas do inglês *The B-1 bomber: The underappreciated workhorse of America's air wars*, o que implicou em adaptações técnicas nas aeronaves e na sua estrutura de suporte logístico. Essa prática não é incomum já que, muitas vezes, as frotas encontram-se no meio do seu ciclo de vida, mas desatualizadas tecnologicamente. No caso militar, portanto, o desenvolvimento de novos sistemas embarcados, sensores, equipamentos de proteção armamentos, os quais necessitam não apenas de integração física, mas lógica, com os sistemas da aeronave leva constantemente as Forças Armadas a atualizarem sua logística de apoio.

Na aviação comercial, por sua vez, a modernização dos sistemas também é bastante comum, na busca de soluções técnicas mais eficientes, econômicas e seguras, mas a modificação de perfis de utilização também impacta o suporte das frotas. Um exemplo recente é a demanda que os novos sistemas de Comunicação, Navegação e Vigilância, do inglês *Communication, Navigation and Surveillance (CNS)* relacionados ao Gerenciamento Controle de Tráfego, do inglês *Air Traffic Management - ATM* irão provocar na indústria aeronáutica, um vez que as aeronaves comerciais terão que ser adaptadas gradativamente a voarem em espaços aéreos com maior restrição de espaço, o que requer equipamentos embarcados com grande capacidade de detecção e troca de informações. De maneira mais simples pode-se exemplificar outra forma de adaptação na estrutura de suporte das frotas como a alteração do uso das mesmas a uma nova malha aérea. Se uma frota era anteriormente empregada em rotas longas e com poucos pousos, migrando para rotas curtas e com várias paradas sua estrutura de suporte logístico deverá ser adaptada no que se refere a peças, definição de novos procedimentos de manutenção, treinamento de pessoal, aquisição de ferramental, equipamentos de apoio e equipamentos computacionais, adequação das instalações físicas de manutenção. Outra situação comum na aviação comercial é a conversão de aeronaves configuradas originalmente para transporte de passageiros em cargueiros, condição que também muda consideravelmente toda a estrutura de apoio. A compreensão das estratégias de suporte previamente definidas é fundamental para que o gerente de suporte logístico possa planejar e executar suas ações de controle, de forma a manter a prontidão da

frota em níveis coerentes com os requisitos de utilização. Tais estratégias desenvolvidas em considerável tempo de análise devem ser sintetizadas em diretrizes que serão referências para as ferramentas de gestão a serem utilizadas pelo gerente de suporte logístico.

Cada tipo de frota deverá, portanto, ser analisada de forma a se verificar a relação de importância entre os critérios de suporte logístico. Por exemplo, no caso de uma frota cujas aeronaves possuem uma grande variedade de itens críticos que inviabilizam o cumprimento da missão, em caso de falha, os critérios Confiabilidade e Suprimento deverão ter um peso superior em relação aos outros critérios, pois itens mais confiáveis falham menos e um estoque robustecido impede que a frota pare por falta de peças. Em outra situação pode-se imaginar uma frota que exija uma grande quantidade de recursos humanos para o seu suporte, como no caso de aeronaves de grande porte, tem no critério Mão de Obra uma grande importância, uma vez que aeronaves grandes têm maior área de manutenção e, normalmente, uma maior quantidade de sistemas embarcados.

O critério Manutenção, por sua vez, engloba subcritérios tais como qualidade e quantidade de intervenções de manutenção, tempos de transporte das aeronaves para o local de manutenção, de execução e de testes. É importante ressaltar que nessa fase as características de mantabilidade que foram planejadas ao longo do desenvolvimento da aeronave também deverão ser objeto de verificação por parte do gerente de suporte logístico, uma vez que desvios de desempenho que venham a comprometer a segurança das operações, a prontidão e a rentabilidade esperadas deverá ser objeto de análises mais aprofundadas, com possíveis correções no projeto. Um exemplo de como o gerente de suporte logístico poderá estar atento aos aspectos de manutenção de uma nova frota é a atribuição de um peso maior ao critério Manutenção, de forma a acompanhar com maior atenção os seus indicadores de desempenho. Ainda com foco no critério Manutenção pode-se vislumbrar uma situação na qual aeronaves com idade mais avançada ou mais intensamente utilizadas apresentam problemas técnicos recorrentes e que devam ser objeto de acompanhamento dos setores de manutenção, como a presença de alterações físicas em estruturas ou componentes (ex: rachaduras, superaquecimento, vazamentos, etc).

Por fim, o critério Disponibilidade, devido ao fato de ser o resultado final de toda a estrutura de suporte logístico deve ter sua importância bem analisada na escolha de indicadores de desempenho de suporte logístico. Se outros critérios forem considerados de maior importância é possível que na gestão da do suporte logístico não seja eficaz, mesmo que seja eficiente em fatores como a qualidade da manutenção, a disponibilidade e o nível de

experiência e treinamento da mão de obra, a gestão de estoques e a distribuição de peças de reposição e alta confiabilidade de componentes.

Um aspecto importante diretamente relacionado com o gerenciamento do suporte logístico é a gestão dos custos. Nesse trabalho optou-se por não inserir custos como um Critério e também a não utilizar seus indicadores. Tal opção visa a delimitar apenas o aspecto técnico do suporte logístico na busca da melhor disponibilidade possível. Não obstante, a observância de custos pode mudar radicalmente a decisão gerencial acerca do suporte logístico, principalmente quando se refere à aviação comercial. A sugestão que se faz nesse caso é uma análise econômica para as diferentes soluções logísticas.

A literatura revista nesse capítulo passou pelos diversos aspectos relacionados à estrutura necessária ao suporte logístico de frotas de aeronaves e à formulação de modelos de priorização de indicadores de desempenho de suporte logístico utilizando-se os métodos AHP e ANP. A conclusão dessa revisão foi a de que não existe em um único trabalho o relacionamento total entre os temas. No presente estudo, no entanto, os aspectos mencionados interagem na modelagem do problema de priorização de indicadores de suporte logístico. A seguir a metodologia formulada é apresentada, seguindo os conceitos revistos.

3 Metodologia para a priorização de Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico

Algumas características de modelo de priorização de Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico são julgadas importantes, no que se refere à sua eficácia como instrumento de apoio às decisões gerenciais. A primeira delas é a coerência hierárquica das informações, ou seja, as informações necessárias ao acompanhamento das estratégias de suporte idealizadas nos níveis de decisão mais altos da instituição ou da empresa devem poder ser compartilhadas nos diversos níveis. A razão disso é que operadores militares ou civis planejam a aquisição de uma nova frota de aeronaves de acordo com um conceito de utilização e um plano estratégico idealizado para determinados períodos e cenários.

A segunda característica do modelo é a garantia de que a estratégia de suporte idealizada seja, de fato, seguida no gerenciamento da frota. Quando do planejamento do suporte de frota, os critérios logísticos, que têm influência na prontidão devem ser listados, relacionados e ponderados entre si, representando a estratégia de suporte de forma lógica. Planejadores estratégicos podem definir, por exemplo, que, para uma determinada frota de aeronaves e tendo em vista o nível de prontidão planejado para a estratégia de uso operacional em um determinado ponto do ciclo de vida, o critério de Confiabilidade é mais importante que o critério Manutenção, uma vez que um determinado sistema é novo no mercado, o que requer maior atenção.

A terceira característica que deve estar presente no modelo é a capacidade de agregar as informações que, de fato, sejam relevantes para o acompanhamento da estratégia de suporte proposta, reunidas de forma simples, no tempo adequado e facilmente comunicada entre os níveis hierárquicos. No presente estudo os seguintes indicadores de desempenho, definidos no *PBL Guidebook* (2016), foram selecionados, tendo em vista a elaboração de um modelo de suporte à decisão focado em decisões estratégicas. Nessa seleção foram buscados indicadores de maior nível hierárquico e que pudessem representar melhor as informações de nível estratégico.

Indicadores de Disponibilidade:

Disponibilidade Operacional, do inglês *Operational Availability (Ao)* – Porcentagem de tempo que um sistema ou grupo de sistemas está em condições operacionais para o

desempenho das missões designadas. Matematicamente a indicador é a razão entre o tempo de disponibilidade e o tempo total, ou seja, disponibilidade somada à indisponibilidade;

Disponibilidade Material, do inglês *Material Availability (Am)* – Porcentagem do número total de aeronaves operacionalmente capaz de realizar missões (pronto para o emprego), durante determinado tempo, baseado em condições materiais. É obtido matematicamente pela razão entre o número de aeronaves disponíveis para o emprego e o número total de aeronaves da frota;

Razão de Indisponibilidade para o Emprego, do inglês *Non-Mission Capable Rate (NMC)* – Porcentagem de aeronaves indisponíveis para o emprego. É obtido pela razão entre o número de aeronaves indisponíveis para o emprego pelo número total de aeronaves da frota;

Indisponibilidade para o Emprego devido à Suprimento, do inglês *Non-Mission Capable Supply (NMCS)* – Número ou porcentagem de aeronaves indisponíveis para o emprego devido à ausência de itens de reposição;

Indisponibilidade para o Emprego devido à Manutenção, do inglês *Non-Mission Capable Maintenance (NMCM)* - Número ou porcentagem de aeronaves indisponíveis para o emprego devido à manutenção preventiva ou corretiva;

Indicadores de Manutenção:

Tempo Médio em Solo, do inglês *Mean Down Time (MDT)* – É o tempo médio total da em solo da frota necessário para reestabelecer a sua condição operacional plena. O MDT considera o tempo total desde o reporte da pane até a liberação da aeronave para operação, portanto inclui o tempo administrativo do reporte, a logística e a busca por materiais e o bloqueio e a liberação de equipamentos de apoio para manutenções corretivas ou preventivas. O MDT é matematicamente obtido pela soma dos tempos médios de manutenção preventiva, corretiva, atrasos logísticos em razão do número total de falhas.

Tempo de Ação Logística, versão em português do inglês *Turnaround Time (TAT)* – É a quantidade de tempo transcorrida entre o início de uma ação logística e o seu encerramento. Pode ser entendido como ação logística eventos como manutenções, reparos, procuras,

aquisições, transporte, etc. Para efeito de priorização de indicadores o TAT de uma frota será definido como a soma dos tempos médios necessários para a realização de todas as ações logísticas de suporte de uma frota.

Tempo de Atraso Logístico, do inglês *Logistics Delay Time (LDT)* – Tempo de espera por peças de reposição, equipamentos de apoio, ferramental, pessoal capacitado, instalações, etc, necessários ao reparo de uma aeronave. Para efeito de priorização do indicador será considerado o tempo médio da frota.

Tempo Médio de Manutenções, do inglês *Mean Maintenance Time (MMT)* - Medida de manutenibilidade que leva em consideração tanto manutenções preventivas quanto corretivas. É calculado somando-se os tempos de manutenções corretivas e preventivas e em seguida dividindo pela soma número de eventos de manutenção programados e não programados durante um período. Para efeito de priorização do indicador será considerada a média da frota.

Tempo Médio de Reparo, do inglês *Mean Time to Repair (MTTR)* – Tempo transcorrido em manutenções corretivas dividido pelo número total de ações de manutenção corretiva durante um período. Para efeito de priorização do indicador será considerada a média da frota.

Indicadores de Suprimento:

Tempo de Resposta Logística, do inglês *Logistics Response Time (LRT)* – Tempo médio entre a data da requisição de um material até o seu recebimento.

Razão de Perfeito Cumprimento de Solicitações, do inglês *Perfect Order Fulfillment Rate (POFR)* – Porcentagem de tempo no qual o produto correto e na quantidade solicitada é enviado ao mantenedor no tempo solicitado, nas condições corretas e acompanhado da correta documentação de cobrança. Matematicamente o indicador é obtido pela soma de todas as solicitações perfeitamente cumpridas dividido pela soma de todas as solicitações.

Acuracidade do Plano de Suprimento, do inglês *Supply Plan Accuracy (SPA)* – A extensão do quanto o estoque disponível de peças de reposição corresponde aos níveis de estoque previstos.

Aeronave Indisponível por Falta de Peça, do inglês *Mission-Impaired Capability Awaiting Parts (MICAP)* – Situação de uma aeronave que não está disponível para a realização de missões operacionais em virtude da falta de uma ou mais peças de reposição. A aviação comercial normalmente utiliza o Termo Aeronave no Solo, do inglês *Aircraft On Ground (AOG)*, mas com definição semelhante. O indicador é obtido pelo número de itens (peças de reposição) que não estão em estoque no momento de sua requisição e que impossibilitam a aeronave de realizar sua missão.

Tempo de Atraso Administrativo, do inglês *Administrative Delay Time (ADT)* – Parte do tempo de manutenção gasto com atrasos de natureza administrativa, tais como, indisponibilidade de pessoal, prioridades, restrições operacionais e atrasos de transporte).

Indicadores de Mão de Obra

Homem-Hora de Manutenção por Hora de Operação, do inglês *Maintenance Man-Hours per Operating Hour (MMHOH)*. Número de Homens-Hora de manutenção requerido por cada hora de operação de uma aeronave. Para efeito de priorização do indicador será considerada a média da frota.

Mão de Obra Direta, do inglês *Direct Labor Hours (DLH)* – Número de horas de trabalho utilizadas pelo pessoal envolvido diretamente nas atividades de suporte da frota, tais como mecânicos, operadores de estoque e de inventários de ferramentas e de equipamentos de apoio.

Mão de Obra Indireta, do inglês *Indirect Labor Hours (ILH)* – Número de horas de trabalho utilizadas pelo pessoal administrativo envolvido indiretamente nas atividades de suporte da frota.

Porcentagem de Pessoal de Suporte Orgânico, do inglês *Percent Organic Support (POS)*. Proporção do suporte da frota, normalmente de manutenção, realizado organicamente ou, ao contrário, realizado por empresas contratadas.

Horas de Treinamento Anuais, do inglês *Training Hours Delivered per Year (THDY)*. Cômputo das horas de treinamento realizadas anualmente na formação de recursos humanos destinados ao suporte e operação da frota.

Indicadores de Confiabilidade:

Tempo Médio entre Falhas, do inglês *Mean Time Between Failure (MTBF)* – Para um intervalo particular, a vida funcional total de uma população de um item, dividido pelo número total de falhas (que requerem ações de manutenção corretiva) da população. Matematicamente divide-se o número total de horas em operação durante um intervalo pelo número de falhas ocorridas nesse intervalo. O MTBF é um indicador tradicionalmente utilizado para medir a confiabilidade de itens ou equipamentos, mas também pode ser utilizado para medir a confiabilidade de um sistema como uma aeronave.

Tempo Médio entre Abortivas, do inglês *Mean Time Between System Abort (MTBSA)* – Para uma determinada frota é o tempo total de operação durante um intervalo dividido pelo número de missões abortivas.

Tempo Médio entre Falhas em Missões Operacionais, do inglês *Mean Time Between Operational Mission Failure (MTBMF)* - Para uma determinada frota é o tempo total de operação em um determinado período dividido pelo número de falhas em missões operacionais.

Tempo Médio entre Manutenções Não Programadas, do inglês *Mean Time Between Unscheduled Maintenance Action (MTBUM)* – Para uma determinada frota é o intervalo de tempo médio entre manutenções não programadas.

Razão de Cumprimento de Missão, do inglês *Mission Completion Rate (MCR)* – Razão de cumprimento de missão das aeronaves de uma frota. É obtida pela divisão do número de missões cumpridas pelo número total de missões em um determinado período.

Como já mencionado anteriormente, a literatura de indicadores é vasta e a escolha desse grupo de indicadores é apenas uma opção, entre muitas, que poderiam ser utilizadas, de acordo estratégias de Suporte Logístico específicas. De posse dos conhecimentos referentes à

lógica, critérios estratégicos e indicadores de desempenho será feita, então, a estruturação dos modelos propostos, baseados nos métodos AHP e ANP.

3.1 A priorização de Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico com o método AHP

A ideia inicial desse estudo baseou-se na aplicação do método ANP da forma como foi feito por Van Horenbeek e Pintelon (2014) para a priorização de Indicadores de Desempenho de. A ideia é que a noção de integração dos elementos do ILS fosse traduzida e a complexidade das relações e dependências sistêmicas fosse capturada pelo modelo. No entanto, o método ANP é mais complexo e de aplicação mais trabalhosa, o que pode impactar na sua utilização prática. Não obstante, tendo em vista a aplicação prática de uma metodologia de priorização de indicadores optou-se por investigar a possibilidade do uso do método AHP, de aplicação mais simples, por meio da comparação dos resultados de ambos os métodos uma vez que é a ideia de hierarquização de objetivos, critérios estratégicos e indicadores de desempenho também poderia representar adequadamente um modelo de priorização.

O AHP é um Método de Decisão Multicritério que pode ajudar a expressar a operação de decisão geral, decompondo um problema complexo em uma estrutura hierárquica multinível de objetivos, critérios e alternativas. O AHP faz comparações par a par para derivar a importância relativa da variável em cada nível da hierarquia e avalia as alternativas no nível mais baixo da hierarquia para tomar a melhor decisão entre alternativas. O AHP é usado para determinar prioridades relativas em escalas absolutas a partir de comparações de pares discretos e contínuos em estruturas hierárquicas multiníveis (Saaty e Vargas, 1996). Oliveira e Belderrain (2008) caracterizam o AHP de acordo com as seguintes etapas: 1-) Estruturação do Problema de Decisão; 2-) Hierarquização do Problema de Decisão; 3-) Coleta de julgamentos par a par dos decisores; 4-) Construção das matrizes de decisão; 5-) Obtenção dos autovalores e autovetores das matrizes de decisão; 6-) Razão de Consistência da matriz de decisão; e 7-) Processo de Agregação dos Vetores de Prioridade. Neste trabalho não foi utilizado um método de estruturação de problema para a definição dos grupos, o que foi realizado no ambiente *Superdecisions*®.

Com base nessa caracterização e nas considerações acerca do método AHP foram seguidos os passos preconizados por Saaty (2013) na aplicação do método com o objetivo de

priorizar Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico, de acordo com as seguintes etapas:

Etapa 1: Estruturação do problema e construção da Hierarquia

De acordo com Saaty e Vargas (2001) a parte mais criativa e influente da tomada de decisão seja a estruturação da decisão como uma hierarquia. A síntese hierárquica é obtida por um processo de ponderação e adição da hierarquia que conduz a uma forma multilinear. O princípio da composição hierárquica é um caso particular de composição da rede que envolve conexões e retroalimentações (*feedbacks ou loops*) de uma rede, ou seja, o método AHP é um caso particular do método ANP.

Os autores sugerem que o princípio básico seguindo a criação desta estrutura hierárquica é sempre verificar se é possível responder a seguinte pergunta: "Posso comparar os elementos de um nível o mais baixo em termos de alguns ou todos os elementos no nível imediatamente superior?" A maneira útil de realizar essa tarefa é partir para baixo do objetivo, tanto quanto possível e depois trabalhar a partir das alternativas para cima até que os níveis dos dois processos estejam ligados, de forma a tornar possível a comparação.

No AHP os elementos que estão sendo comparados devem ser homogêneos. A hierarquia não precisa ser completa, ou seja, um elemento em um determinado nível não precisa funcionar como um critério para todos os elementos no nível abaixo. Assim, uma hierarquia pode ser dividida em sub-hierarquias compartilhando apenas um elemento superior comum. Além disso, pode-se inserir ou eliminar níveis e elementos, conforme necessário, para esclarecer a tarefa de estabelecer prioridades ou aprimorar o foco em uma ou mais partes do sistema. Elementos que são de interesse menos imediato podem ser representados em termos gerais no nível mais alto da hierarquia e elementos de importância crítica para o problema em questão podem ser desenvolvidos em maior profundidade e especificidade. A tarefa de estabelecer prioridades requer que os critérios e os subcritérios sejam comparados entre si em relação aos elementos do nível imediatamente superior.

A Figura 3.1 ilustra a estrutura hierárquica vislumbrada para o problema, no qual a priorização de indicadores de desempenho de suporte logístico está no ponto mais alto, seguida pelos critérios estratégicos disponibilidade, manutenção, suprimento, mão de obra e confiabilidade. Por fim, os indicadores de desempenho de cada critério são agrupados no último nível.

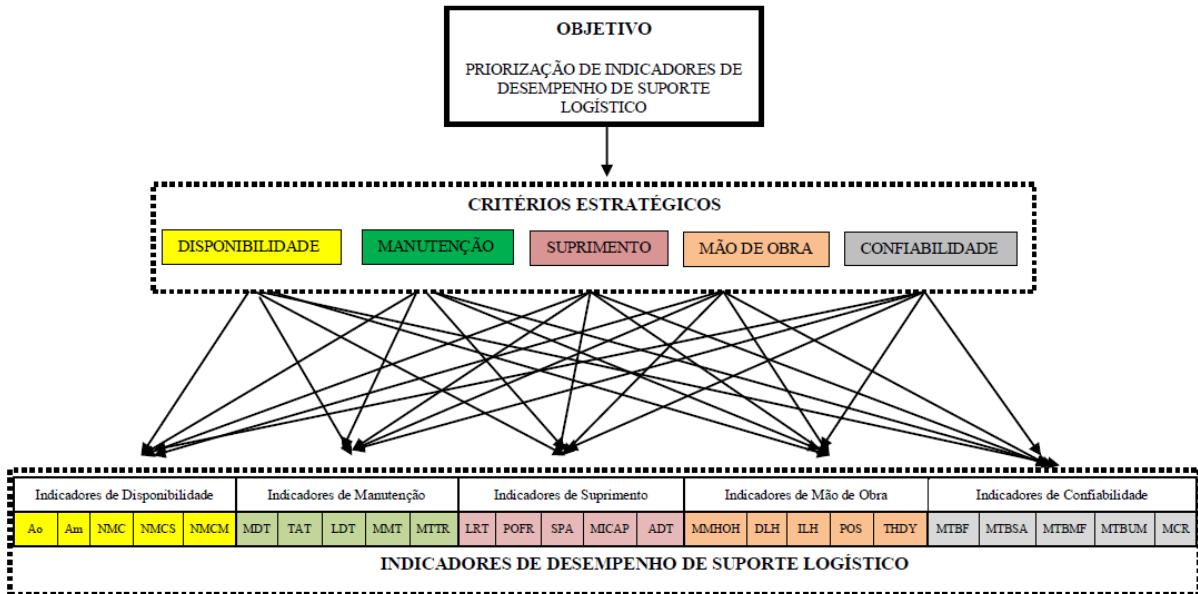


Figura 3.1 – Modelo AHP adaptado para a priorização de indicadores de suporte logístico

Etapa 2: Julgamentos - Comparações par a par

Na priorização de Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico por meio do método AHP a estrutura hierárquica é realizada em três níveis. Na hierarquia de primeiro nível as comparações par a par, de acordo com a escala fundamental de Saaty ocorrem entre os critérios estratégicos à luz do objetivo e entre os subcritérios, no caso os Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico, e os Critérios Estratégicos. Nesse modelo a solução desejada é encontrada pela obtenção do vetor prioridade dos Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico, não se seguindo para ponderação de alternativas como nos casos clássicos de aplicações do método AHP.

Um exemplo das matrizes de comparação pode ser verificado na Tabela 3.1, a qual ilustra a comparação dos Indicadores de Disponibilidade em relação aos Indicadores de Manutenção em relação ao Indicador Manutenção.

Indicadores de Disponibilidade					
Critério - Manutenção					
	Am	Ao	NMC	NMCM	NMCS
Am	1	3	3	1	3
Ao	1/3	1	1	1	3
NMC	1/3	1	1	3	3
NMCM	1	1	1/3	1	5
NMCS	1/3	1/3	1/3	1/5	1

Tabela 3.1 - Matriz de comparação entre Indicadores de Disponibilidade e Critério Manutenção

Os especialistas, após a análise dos problemas de suporte logístico propostos realizaram os julgamentos por meio da atribuição de graus e preenchimento de tabelas, as quais constam nos Apêndices A (A.1) para o Caso dos Caças, Apêndices B (B.1) para o Caso

das Aeronaves de Transporte e Apêndice C (C.1) para o Caso dos Helicópteros. A Razão de Consistência (RC) para cada tabela de comparações não ultrapassou 0,10 conforme preconiza Saaty (2013). Para tanto, eventuais ajustes nos julgamentos foram realizados.

Etapa 3: Desenvolvimento algébrico

Seguindo-se às comparações par a par proceder-se-á à construção das matrizes de decisão e verificação da consistência dos julgamentos. Serão obtidos o autovalor máximo e o autovetor prioritário direito, o qual traduz os valores das prioridades dos Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico. Todas as Matrizes, Não Balanceada, Balanceada e Limite foram formadas pelo software *Superdecisions*® e os resultados constam dos Apêndices A (A.2 a A.4) para o Caso dos Caças, Apêndices B (B.2 a B.4) para o Caso das Aeronaves de Transporte e Apêndice C (C.2 a C.4) para o Caso dos Helicópteros.

3.2 A priorização de Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico com o método ANP

O método ANP é uma extensão do método AHP por não haver critérios independentes. Existem diferentes razões pelas quais o método ANP é considerado o mais adequado para priorizar os aspectos mais importantes de um ambiente específico de gerenciamento. Segundo Van Horenbeek e Pintelon (2014) o ANP é um método comprovado de apoio à decisão estratégica, utilizado em muitas aplicações, pois com base no conhecimento especializado do tomador de decisão, tanto os parâmetros quantificáveis como os não quantificáveis podem ser incorporados na metodologia, o que é importante, pois em alguns casos os critérios são difíceis de serem expressos quantitativamente. A dificuldade de registrar preferência entre os diferentes critérios no problema de decisão é tratada nas comparações par a par, observando-se a menor inconsistência até o limite de uma boa solução. A consistência do tomador de decisão é verificada pelo cálculo de uma Razão de Consistência. Além disso, a interdependência entre os critérios é levada em consideração (por exemplo, disponibilidade e confiabilidade), de modo que a ANP é uma ferramenta útil em um ambiente com muitas influências, por vezes contraditórias, como diferentes objetivos dos setores envolvidos no suporte. Além disso, a escala de medição ANP é baseada em razões. Esta medida descreve a escala na qual as prioridades resultantes são baseadas. Em ordem crescente de força, estas são: escalas nominal, ordinal, de intervalo e de razão. Quanto mais robusta for a escala, melhor será a avaliação das prioridades finais. Além disso, a ANP utiliza comparações par a par para derivar prioridades entre os critérios considerados no processo de

decisão. Dessa forma, os tomadores de decisão ganham conhecimento do problema ao realizar o processo de comparação entre os diferentes critérios o que é importante para formulação da estratégia correta de suporte logístico. Finalmente, a ANP estrutura o problema em uma rede, o que permite que diferentes níveis organizacionais possam ser refletidos a fim de derivar os objetivos estratégicos de suporte logístico de uma frota em todos os níveis organizacionais. Van Horenbeek e Pintelon (2014) ainda afirmam que o método ANP é o melhor método para priorizar entre os objetivos de manutenção, por permitir que as decisões do nível organizacional mais elevado sejam transmitidas para todos os outros níveis por meio dos indicadores.

A aplicação do método ANP para a priorização de Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico utiliza processos comparativos e grupos de decisores que opinarão acerca da importância de cada indicador, sob o ponto de vista dos critérios considerados. Na aplicação de um caso real, é desejável que tais opiniões sejam o consenso de um grupo, a fim de se evitar tendências pessoais. Os especialistas deverão ter conhecimentos e experiências relevantes no suporte logístico de frotas de aeronaves, tendo em vista a sua utilização operacional, de forma que estejam aptos a compreender uma determinada situação-problema proposta e traduzir a estratégia de suporte a ser seguida para uma frota, por meio da atribuição de diferentes pesos a cada Indicador de Desempenho de Suporte Logístico.

Com base na revisão da literatura e nas considerações acerca do método ANP seguir-se-á os passos preconizados por Saaty na aplicação do método ANP para a priorização de Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico quais sejam:

Etapa 1: Construção de modelos e estruturação do problema

A estruturação do problema foi considerada a etapa mais importante no processo de priorização de Indicadores de Desempenho. Neste trabalho não foi utilizado um método de estruturação de problema para a definição dos grupos, o que foi realizado no ambiente *Superdecisions*®.

De acordo com o exposto, acerca de problema de priorização de indicadores de suporte logístico, um modelo de estrutura de rede genérica, isto é, elementos, clusters e relações, para a Priorização de Indicadores de Suporte Logístico de manutenção é apresentada na Fig. 3.2. O maior nível hierárquico do problema é representado pelo objetivo do problema de decisão, o qual é priorizar um grupo de Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico. Em seguida seguem-se os Critérios Estratégicos de Disponibilidade, Manutenção, Suprimento, Mão de Obra e Confiabilidade e, finalmente, os *clusters* que agrupam os nós, no caso Indicadores de Desempenho de Disponibilidade, de Manutenção, de Suprimento, de Mão

de Obra e de Confiabilidade. O objetivo do conjunto de elementos está diretamente ligado ao problema de decisão, porém não entra como elemento ponderador entre as comparações.

No modelo apresentado na Figura 3.2, da mesma forma que os elementos Disponibilidade, Manutenção, Suprimento, Mão de Obra e Confiabilidade formam os *clusters* que agregam os Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico, os mesmos também são os critérios estratégicos de Suporte Logístico os quais serão os fatores de ponderação entre os diversos indicadores.

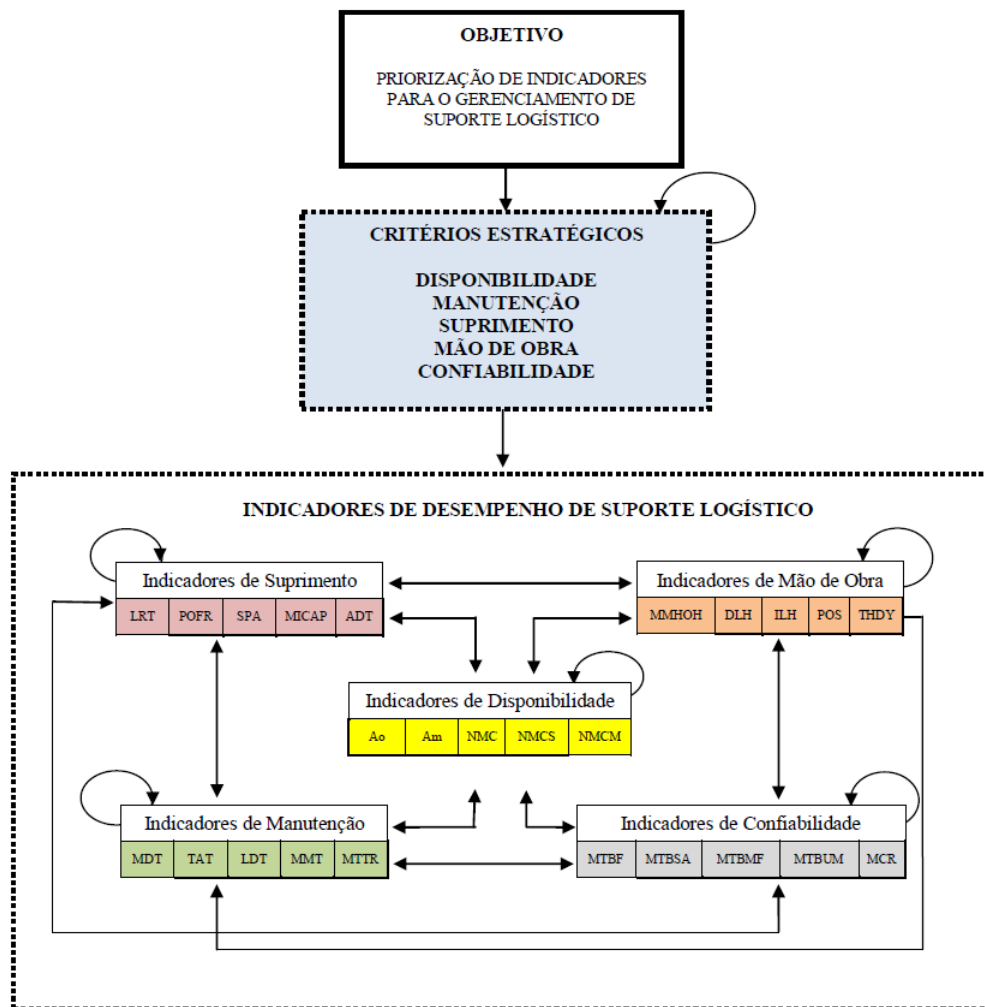


Figura 3.2 – Modelo ANP adaptado para a priorização de indicadores de suporte logístico

Os critérios são ponderados entre si a fim de retratar quais as prioridades de uma determinada estratégia de suporte para uma frota de aeronaves em uma situação-problema específica, de acordo com a Matriz Global de relacionamentos apresentada na Tabela 3.2.

Matriz Global		CRITÉRIOS				
		Disp	Man	Sup	Mão	Conf
CRITÉRIOS	Disponibilidade	1	1	1	1	1
	Manutenção	1	1	1	1	1
	Suprimento	1	1	1	1	1
	Mão de Obra	1	1	1	1	1
	Confiabilidade	1	1	1	1	1

Tabela 3.2 – Matriz de Alcance Global

Essa tabela indica que toda rede está relacionada, ou seja, todos os *clusters* e nós estão conectados, portanto um Critério Estratégico sempre influenciará ou será influenciado por outro, assim como, todos os nós (Indicadores de Desempenho de Suporte logístico) influenciarão ou serão influenciados pelos outros. Tal concepção advém do fato de que a estrutura de suporte logístico de uma frota de aeronaves é integrada, como sugere o conceito de *Integrated Logistics Support*, ou seja, um indicador certamente será afetado quando existe alteração em outro, mesmo que em pequena escala, como já foi discutido na Lógica do Suporte Logístico (Capítulo 2.7). As Dependências Internas (*Inner Dependence*), ou seja, as relações entre os nós de um mesmo *cluster* também existem, uma vez que dentro de refletem aspectos semelhantes do suporte logístico com alto grau de influência recíproca.

Etapa 2: Julgamentos - Comparações par a par

No método ANP, assim como no AHP, os nós, no caso os Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico em cada *cluster* são comparados par a par com respeito à sua importância de cada critério de controle, no caso os outros Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico, de acordo com a escala Fundamental de Saaty. Além disso, as interdependências entre os critérios de um cluster também devem ser examinadas em pares. Cada uma das Matrizes Locais será, por sua vez, preenchida 5 vezes o que gerará um total de 1150 comparações. Um exemplo de uma dessas matrizes pode ser verificado na Tabela 3.3, a qual ilustra a comparação dos Indicadores de Disponibilidade em relação aos Indicadores de Manutenção em relação ao Indicador TAT (Manutenção).

Indicadores de Disponibilidade					
Critério - Manutenção (TAT)					
	Am	Ao	NMC	NMCM	NMCS
Am	1	3	3	1	3
Ao	1/3	1	1	1	3
NMC	1/3	1	1	3	3
NMCM	1	1	1/3	1	5
NMCS	1/3	1/3	1/3	1/5	1

Tabela 3.3: Matriz Local de comparação entre Indicadores de Disponibilidade sob critério TAT

Os especialistas, após a análise dos problemas de suporte logístico propostos realizaram os julgamentos por meio da atribuição de graus e preenchimento de tabelas. Todos os julgamentos realizados pelo especialista para construção da supermatriz encontram-se nas Todas os julgamentos comparações realizadas pelo especialista encontram-se nos Apêndices A (A.5 a A.10) para o Caso dos Caças, Apêndices B (B.5 a B.10) para o Caso das Aeronaves de Transporte e Apêndice C (C.5 a C.10) para o Caso dos Helicópteros. A Razão de Consistência (RC) para cada tabela de comparações não ultrapassou 0,10 conforme preconiza Saaty (2013). Para tanto, eventuais ajustes nos julgamentos foram realizados.

Etapa 3: Formação das Supermatrizes

Essa etapa se resume na formação de três supermatrizes. A primeira supermatriz a ser formada é a não ponderada. Sua formação depende da entrada de todos os autovetores em cada coluna da mesma. A segunda supermatriz é a ponderada, obtida através da multiplicação de cada bloco da supermatriz não ponderada pelo respectivo peso do cluster. A última matriz é a limite, encontrada elevando a supermatriz à potência até sua estabilização. Todas as supermatrizes resultantes, Não Balanceada, Balanceada e Limite foram formadas pelo software *Superdecisions*® e os resultados expostos nas Tabelas constantes dos Apêndices A (A.11 a A.13) para o Caso dos Caças, Apêndices B (B.11 a B.13) para o Caso das Aeronaves de Transporte e Apêndice C (C.11 a C.13) para o Caso dos Helicópteros.

No caso em questão a síntese da priorização dos Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico de será feita pela ordenação decrescente dos valores obtidos na Supermatrizes Limite. Uma vez descrita a metodologia a ser utilizada a mesma será aplicada em casos simulados de frotas de aeronaves militares a serem suportadas de acordo com estratégias distintas de forma que os resultados obtidos possam ser caracterizados.

4 Aplicação do método em casos simulados

Foram desenvolvidos três casos simulados, uma frota de aeronaves de caça, uma frota de aeronaves de transporte de carga, passageiros e reabastecimento em voo e uma frota de helicópteros as quais possuem características de suporte distintas.

Os casos foram analisados por especialistas em suporte logístico, os quais realizaram os julgamentos de importância relativa entre critérios estratégicos e entre Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico. A quantidade de julgamentos no método ANP é superior à do AHP, em virtude do elevado número de conexões da rede. Os casos simulados foram desenvolvidos tomando-se como base casos reais diferenciando-os pela característica técnica das aeronaves, por sua utilização e emprego, pela arquitetura dos meios de suporte logístico, pela quantidade de aeronaves, de unidades operacionais e de bases de apoio e de desdobramento, pela previsão de modernização dos meios e pela necessidade ou não de contratação de empresas especializadas, fatores que influenciam diretamente a lógica do suporte logístico. Cabe ressaltar que foram elaborados apenas casos aplicados à aviação militar em virtude da maior complexidade logística de frotas de aeronaves militares, pois envolve não só as aeronaves propriamente ditas como sistemas embarcados, armamentos e uma maior flexibilidade de desdobramento de operação em outras localidades. A metodologia, no entanto, pode ser adaptada para o gerenciamento logístico de frotas de aeronaves comerciais, as quais devem seguir estratégias de suporte específicas de cada empresa.

Serão descritos, a seguir, os casos elaborados e os resultados das priorizações de indicadores obtidos nos métodos AHP e ANP. Os casos foram submetidos à avaliação de especialistas sem explicação quanto à metodologia desenvolvida, mas, apenas, a forma correta de preenchimento dos pesos a serem atribuídos nas comparações de critérios estratégicos e indicadores de desempenho. A intenção foi aproveitar da melhor maneira possível as interpretações individuais de forma que os especialistas pudessem opinar livremente, baseados apenas no seu conhecimento teórico e prático. A seguir serão descritos os problemas os quais foram apresentados aos especialistas. Os pesos atribuídos em cada julgamento encontram-se registrados nas tabelas constantes dos A (A.1 e A.5 a A.10) para o Caso dos Caças, Apêndices B (B.1 e B.5 a B.10) para o Caso das Aeronaves de Transporte e Apêndice C (C.1 e C.5 a C.10) para o Caso dos Helicópteros.

4.1 Aeronaves de Caça

A Força Aérea de um determinado país decidiu adquirir uma frota de 42 aeronaves de caça multitarefa para emprego em diversos cenários alocando-as em três esquadrões operacionais, cada um com 14 aeronaves. A frota tem um ciclo de vida previsto de 30 anos sendo que, um projeto de modernização será iniciado depois de 12 anos da entrega da primeira aeronave, com vistas ao recebimento da primeira aeronave modernizada em um prazo de três anos. Dentre as principais características da aeronave destacam-se:

- Aviônicos, radar, sistema de controle de missão, sensores e armamentos integrados a um capacete tipo *Helmet Mounted Display* (HMD)
- Sistema de comando *Fly-by-Wire*;
- Comunicação via rádio ou por enlace de dados;
- Radar com modos ar-ar e ar-terra de última geração
- Sensores e equipamentos de proteção *Chaff e Flare*;
- Capacidade de operação em quaisquer condições meteorológicas e de visibilidade;
- Capacidade de operar de forma desdobrada e com pouca necessidade de apoio de solo, inclusive em rodopistas;
- Capacidade de ser reabastecida em voo e também de reabastecer outros caças, quando equipada para tal fim.

O processo de aquisição também contemplou peças de reposição, equipamento e ferramental de apoio, bancadas de teste e equipamentos de informática, além de armamentos como mísseis ar-ar de médio e curto alcance, casulos de sensores imageadores, casulos de designação de alvos por laser e casulos com equipamento para reabastecer outras aeronaves.

A estrutura de Suporte Logístico Integrado da frota foi delineada com foco em contratações de empresas nacionais especializadas na manutenção dos itens de elevada especificidade e custo, tais como, aviônicos, sistemas eletrônicos embarcados, casulos e seus sistemas, motores e sistemas de controle *Fly by Wire*. A manutenção da célula das aeronaves será realizada internamente pelo Comando Logístico da Força Aérea, sendo necessária a formação de mecânicos da área. A frota deverá ter um alto nível de prontidão, com uma disponibilidade diária média de 75%. O Plano de Manutenção previsto no Plano de Suporte Logístico Integrado prevê inspeções de 75, 200, 1000 e 5000 horas, com duração média respectivamente de 2, 5, 30 e 90 dias. As aeronaves são de emprego tático, sendo que

inspeções de 75 e 200 horas podem ser realizadas durante operações desdobradas e com pouca estrutura de apoio logístico. Devido ao alto nível de contratações de empresas de manutenção, as quais não dispõem de capacidade de desdobramento de pessoal, ferramental e equipamentos e ao intenso uso das aeronaves em operações desdobradas, parte da estratégia dissuasória do país e que serão realizadas em ambientes de elevada umidade e salinidade, foi necessária a aquisição de um grande estoque de peças e equipamentos de reposição. A célula da aeronave, por sua vez, é dotada de elevada robustez, requerendo poucas ações de manutenção quando em operações desdobradas. A arquitetura de suporte vislumbrada para o caso pode ser verificada na Figura 4.1.

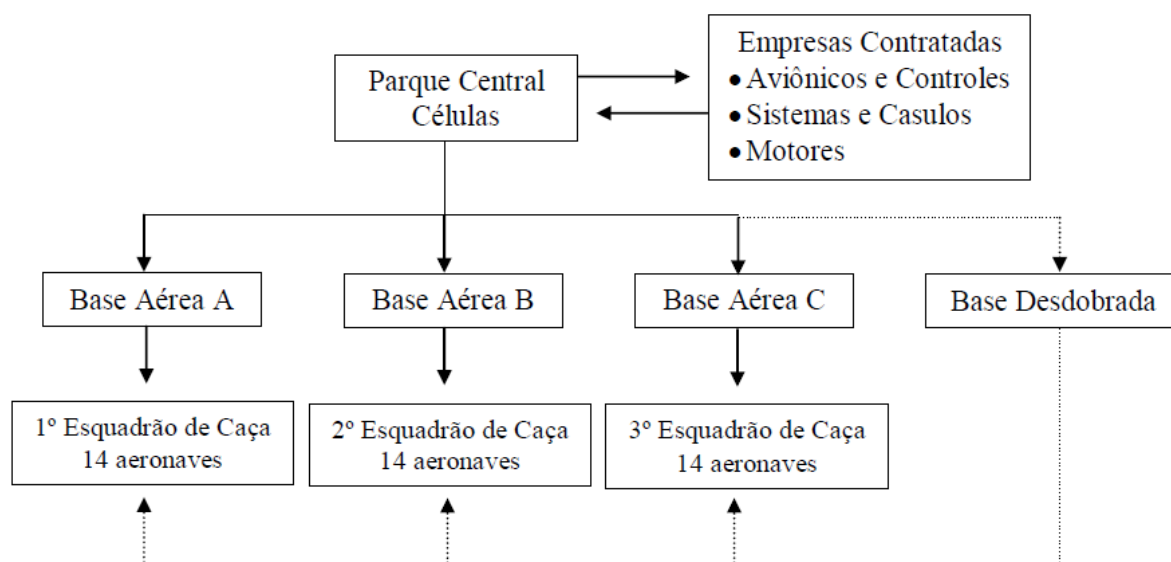


Figura 4.1 – Arquitetura de Suporte proposta no caso Caças

Etapa 1: A avaliação da estratégia de suporte

O caso proposto é o de uma frota de elevada importância estratégica para o seu operador e o seu suporte caracteriza-se por ser dos mais complexos, uma vez que, além das próprias aeronaves uma série de armamentos e equipamentos auxiliares devem ser suportados logisticamente de forma que as aeronaves cumpram integralmente e sem limitações a sua missão. O suporte dessa frota teve como foco o forte direcionamento para a terceirização de atividades, ainda que dependente do estoque próprio de itens de reposição. A terceirização de atividades impacta diretamente a necessidade de Mão de Obra e as atividades de Manutenção, no sentido de reduzi-las. O caso permite que se invistigue como serão priorizados os Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico no Suporte de uma frota de grande número de aeronaves de caça, ativos físicos de alto valor estratégico e financeiro e de extrema

complexidade técnica inclusive do próprio sistema de suporte logístico o qual será dividido em empresas terceirizadas e organizações internas.

4.2 Aeronaves de Transporte

A Força Aérea de um determinado país decidiu adquirir uma frota de 6 aeronaves de Transporte e Reabastecimento em Voo com capacidade para transportar 55 toneladas em configurações variáveis de carga e passageiros, bem como reabastecer outras aeronaves em voo. As aeronaves serão alocadas em dois esquadrões operacionais, cada um com 3 aeronaves, situados em localidades distintas do país. As aeronaves tem um ciclo de vida projetado para 30 anos, sendo que um projeto de modernização será iniciado após 15 anos da entrega da primeira aeronave, com vistas ao recebimento da primeira aeronave modernizada em um prazo de dois anos. Dentre as principais características da aeronave destacam-se:

- Aeronaves bimotores a jato, turbofan de asa baixa, com porta de carga lateral;
- Aviônicos de última geração, com integração entre os sistemas de controle e sensores e câmeras;
- Sistema de comando *Fly-by-Wire*;
- Sistema de controle de missão;
- Comunicação via rádio ou por enlace de dados;
- Sensores e equipamentos de proteção *Chaff e Flare*;
- Porão de carga configurável para quantidade variáveis de passageiros e carga.
- Sistema de reabastecimento em voo por *Fly Boom* e *Probe-Drogue* controlado por um operador a partir de uma estação de controle com o auxílio de câmeras posicionadas em 6 pontos específicos da aeronave
- Capacidade de operação em condições de pouca ou nenhuma luminosidade, com auxílio de óculos de visão noturna e sensores específicos.

A aeronave é capaz de reabastecer em voo todos os modelos de caças da Força Aérea, além de outras aeronaves do mesmo modelo. O processo de aquisição também contemplou peças de reposição para os cinco primeiros anos de operação, além de equipamentos e ferramental de apoio, bancadas de testes e equipamentos de informática necessários ao suporte logístico de equipamentos de uso militar da aeronave. Também foram realizadas adaptações das instalações de cada Base Aérea com vistas ao recebimento das aeronaves.

Como as aeronaves foram desenvolvidas a partir de versões de aeronaves de transporte comercial o sistema de Suporte Logístico Integrado da frota prevê a contratação de uma empresa de manutenção homologada para a realização de todas as manutenções, com exceção dos sistemas de uso militar, os quais serão mantidos pelo Comando Logístico da Força Aérea em suas Bases Aéreas e pelo Parque Central da aeronave. Tal medida permitiu significativa redução na formação e alocação de recursos humanos necessários às manutenções. Também foi contratada a participação em um sistema de compartilhamento de peças (do inglês *Pool*) comuns às da aviação comercial, o que permitiu uma economia na aquisição de estoques de itens de reposição, além da redução do custo de estocagem dos mesmos. A frota deverá ter um elevado nível de prontidão, com uma disponibilidade média de 80%. O Plano de Manutenção previsto no Plano de Suporte Logístico Integrado prevê inspeções de 100, 500 e 5000 horas, com duração média respectivamente de 2, 5 e 120 dias. As aeronaves são de uso estratégico e todas as inspeções deverão ser realizadas na sede da empresa contratada ou em bases de apoio previamente preparadas pela empresa, com a mão de obra e o material necessário para a realização das inspeções de 100 e 500 horas. As inspeções de 5000 horas serão realizadas unicamente na sede da empresa contratada. A arquitetura de suporte vislumbrada para o caso pode ser verificada na Figura 4.2.

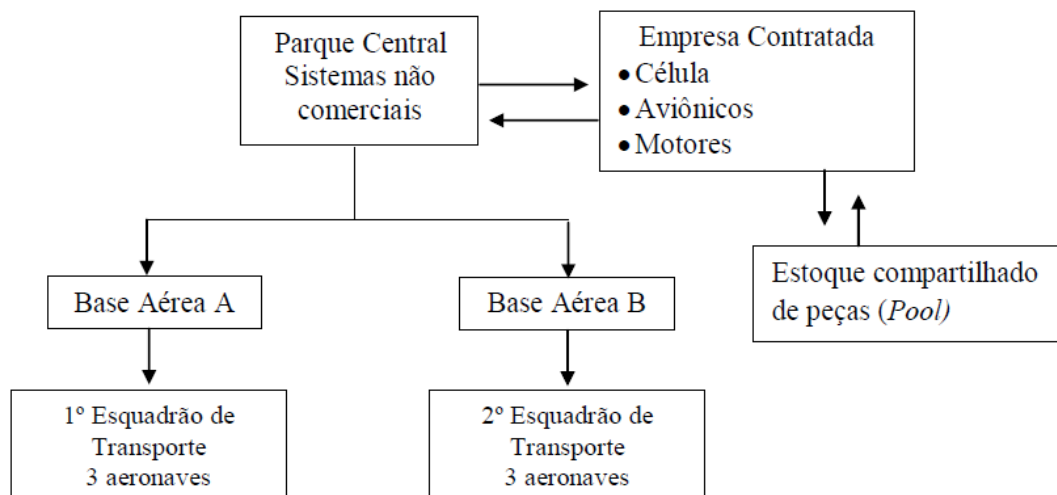


Figura 4.2 – Arquitetura de Suporte proposta no caso Aeronaves de Transporte

Etapa 1: A avaliação da estratégia de suporte

A frota de aeronaves de transporte é um caso construído para focar um grande nível de terceirizações por meio de contratações de empresas e investigar se e como isso irá ser refletido nos Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico. A frota, composta por

aeronaves de grande porte e capacidade de carga, conta apenas com seis aeronaves, as quais são modelos derivados de aeronaves de bastante sucesso na aviação comercial e com operadores presentes em todas as regiões do mundo, o que trouxe como consequência a excelente oferta de empresas de Manutenção, Reparo e Revisão Geral, do inglês *Maintenance, Repair and Overhauling* (MRO). Os sistemas militares são a menor parte das aeronaves e não impactam significativamente o suporte da frota. O caso permite que se investigue como serão priorizados os Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico no Suporte de uma frota de aeronaves, ativos físicos de elevado valor estratégico e financeiro, porém quase que totalmente dependente do suporte realizado por terceiros para a sua operação.

4.3 Helicópteros

A Força Aérea de um determinado país decidiu adquirir uma frota de 32 helicópteros de Busca e Salvamento, capazes de realizar resgates em combate em terra ou água. As aeronaves serão alocadas em quatro esquadrões operacionais, cada um com 8 aeronaves, situados em localidades distintas. As aeronaves tem um ciclo de vida projetado para 30 anos, sendo que um projeto de modernização será iniciado após 10 anos da entrega da primeira aeronave, com vistas ao recebimento da primeira aeronave modernizada em um prazo de dois anos. Dentre as principais características das aeronaves destacam-se:

- Aeronaves biturbina com rotor pentapá e rotor de cauda convencional;
- Capacidade total para oito passageiros e quatro tripulantes;
- Trem de pouso retrátil, por sistema hidráulico;
- Aviônicos de última geração, com integração entre o sistema de controle de missão e os sensores;
- Capacidade de operações noturnas com uso de óculos de visão noturna;
- Comunicação via rádio e por enlace de dados;
- Sensores e equipamentos de proteção *Chaff e Flare*;
- Canhão rotativo de 20mm;
- Casulo lançador de míssil ar-terra
- Dois guinchos, um hidráulico de maior capacidade e um elétrico.

O processo de aquisição também contemplou peças de reposição para os cinco primeiros anos de operação, equipamentos e ferramental de apoio, bancadas de teste e

equipamentos de informática. A frota deverá ter elevado nível de prontidão, com uma disponibilidade média diária de 75%. O Plano de Manutenção previsto no Plano de Suporte Logístico Integrado prevê inspeções de 50, 100, 500 e 1000 horas, com duração média respectivamente de 1, 4, 10 e 120 dias. Todas as manutenções serão realizadas pelas organizações do Comando Logístico da Força Aérea, sem quaisquer contratações de prestadores de serviço. As aeronaves serão empregadas em missões táticas e suas manutenções de 50, 100 e até 500 horas poderão ser realizadas em bases desdobradas, de acordo com a estrutura de apoio existente no local ou previamente preparada. A arquitetura de suporte vislumbrada para o caso pode ser verificada na Figura 4.3.

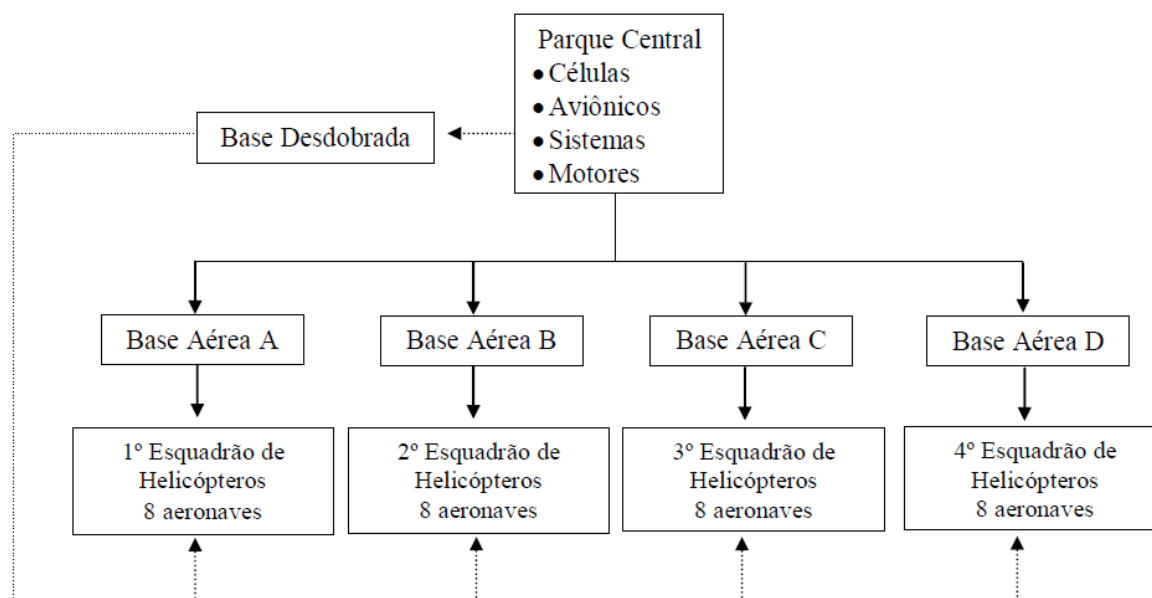


Figura 4.3 – Arquitetura de Suporte proposta no caso Helicópteros

A avaliação da estratégia de suporte

A frota de helicópteros é o caso oposto ao da frota de aeronaves de transporte, pois todo o suporte é feito internamente, sem quaisquer contratações de empresas especializadas. Em casos como esse há a necessidade de um maior envolvimento por parte do operador que também realizará as ações de suporte da frota, uma vez que haverá a necessidade de disponibilização de pessoal devidamente treinado para a realização de todas as atividades de suporte, sejam de manutenção, armazenagem, treinamento, gerenciamento, etc. Também haverá a necessidade de aquisição de itens de reposição, equipamentos de apoio, ferramental, bancadas de teste e equipamentos de informática em número suficiente para a operação de toda a frota, distribuída em bases diferentes. O caso permite que se investigue a priorização de

Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico em um contexto de Suporte o qual envolve um grande número de aeronaves de elevada complexidade técnica e totalmente dependente de meios e recursos internos.

4.4 Resultados e Análises

Uma vez inseridos os dados obtidos nos questionários respondidos por cada um dos especialistas, os resultados gerados, em cada caso nos métodos AHP e ANP, pelo Software Superdecisions®, os quais constam nos Anexos 1 a 7, foram compilados, de forma a se obter a prioridade de cada Indicador de Desempenho de Suporte Logístico. Os resultados são analisados de duas formas distintas. Primeiramente serão comparados separadamente os resultados dos métodos AHP e ANP nos casos propostos, de acordo com a Tabela 4.1.

Priorização com AHP				Priorização com ANP			
Prioridade	Caça	Transporte	Helicóptero	Prioridade	Caça	Transporte	Helicóptero
1	MICAP	Ao	MICAP	1	MICAP	MTBF	MTR
2	MTBF	MTBF	MDT	2	DLH	MMT	MTBF
3	MMHOH	MICAP	MTBF	3	TAT	MICAP	MICAP
4	TAT	MMHOH	THDY	4	MTBF	DLH	THDY
5	MDT	TAT	DLH	5	MDT	MDT	SPA
6	Am	DLH	ILH	6	MCR	MMHOH	MMT
7	MCR	ADT	SPA	7	MMHOH	Ao	MTBUM
8	NMC	MDT	NMCS	8	MMT	TAT	DLH
9	Ao	LDT	MTBMF	9	POFR	MTR	TAT
10	DLH	POFR	Am	10	LRT	POFR	NMCM
11	LRT	MMT	MTR	11	POS	ADT	POS
12	POS	POS	NMCM	12	Am	ILH	POFR
13	POFR	NMC	NMC	13	NMC	MTBMF	MDT
14	MMT	MTBMF	LDT	14	MTR	LRT	LDT
15	THDY	MTBSA	MCR	15	THDY	MTBSA	MMHOH
16	NMCM	MTBUM	MMHOH	16	SPA	MTBUM	MTBSA
17	SPA	THDY	TAT	17	Ao	LDT	ILH
18	MTR	Am	MTBUM	18	MTBMF	MCR	NMCS
19	MTBMF	MCR	Ao	19	MTBSA	THDY	Am
20	MTBSA	LRT	MTBSA	20	MTBUM	POS	MTBMF
21	MTBUM	MTR	MMT	21	NMCM	SPA	NMC
22	NMCS	SPA	POS	22	LDT	NMC	LRT
23	ADT	NMCS	POFR	23	ADT	Am	Ao
24	ILH	NMCM	LRT	24	NMCS	NMCS	MCR
25	LDT	ILH	ADT	25	ILH	NMCM	ADT

Tabela 4.1 : Resultado Geral das priorizações

O objetivo é verificar se os métodos são capazes de gerar resultados representativos dos problemas logísticos apresentados e se é possível verificar a estratégia de suporte proposta. A segunda análise é feita isoladamente para cada caso e entre os resultados obtidos nos dois métodos de forma a se verificar as principais diferenças entre os resultados obtidos

em cada método. Para melhor avaliação dos resultados optou-se por agrupar os vinte e cinco indicadores em cinco grupos em ordem decrescente de relevância, sendo que no Grupo 1 encontram-se os cinco indicadores obtidos como os extremamente relevantes para a estratégia de suporte, o Grupo 2 os indicadores considerados bastante relevantes, o Grupo 3 indicadores de média importância, os indicadores do Grupo 4 de importância secundária e, finalmente, os indicadores do Grupo 5 de menor importância.

A primeira análise, feita por meio da Tabela 4.1, a qual apresenta as prioridades, para os três casos, observa-se que nos resultados obtidos pelo método AHP há uma grande proximidade de indicadores no Grupo 1, o que denota a homogeneidade da visão de suporte logístico entre os três especialistas e que ambos os métodos foram capazes de capturar. Os indicadores MICAP, TAT, MDT, MMHOH, MTBF, todos bastante conhecidos e utilizados nas atividades de suporte sobressaíram-se diante dos demais.

Nos grupos subsequentes as diferentes situações logísticas passam a demandar diferentes priorizações. No caso das aeronaves de Caça passam a ser valorizados os indicadores de Disponibilidade, o que é coerente com a visão de utilização dessa frota de aeronaves a qual tem impacto direto na política de defesa de qualquer nação. No caso da aeronave de transporte, com alto nível de terceirização de atividades de suporte, foi valorizado, além dos indicadores MICAP, TAT, MDT, MMHOH, MTBF, o indicador Ao, o que é bastante significativo, pois trata-se de um indicador comumente utilizado em contratos de suporte logístico no modelo PBL. Os indicadores de Confiabilidade não receberam os maiores pesos, o que extremamente coerente com a utilização de “*Pool*” de peças compartilhado e a terceirização do suporte logístico, ou seja, não é de grande relevância controlar a confiabilidade de peças e componentes. No caso do Helicóptero, como todo o suporte é realizado internamente é possível perceber a importância dada aos indicadores de mão de obra nos primeiros grupos.

No que se refere aos resultados obtidos pelo método ANP pode-se observar que no Grupo 1 os indicadores MICAP, MDT, MTBF também aparecem nos três casos, indicando uma visão logística semelhante entre os três especialistas. O indicador de Mão de Obra MMHOH, no entanto, é substituído pelo indicador DLH e nos Grupos seguintes as prioridades são bastante distintas dos obtidos pelo método AHP. Nos resultados obtidos pelo método ANP, no entanto, tornou-se mais difícil a identificação as estratégias de suporte ao se observar o conjunto das priorizações. Fica claro que o aumento significativo de julgamentos advindos do maior número de conexões, em rede, é capaz de mudar sensivelmente os

resultados, ainda que os pesos atribuídos nos julgamentos pelos métodos AHP e ANP estejam plenamente coerentes.

As Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4 por sua vez, sintetizam e comparam os resultados de priorização obtidos pelos métodos AHP e ANP para cada caso. Foram calculadas as diferenças absolutas de posições obtidas em um e outro método. As Diferenças (Δ) entre prioridades, obtidas pelos dois métodos, superiores a 3 são consideradas significativas no que se refere a uma determinada estratégia de suporte, ou seja, a prioridade de indicadores de suporte pode conduzir a decisões gerenciais razoavelmente diferentes utilizando-se um método ou outro.

No caso das aeronaves de Caça (Tabela 4.2) 64% dos indicadores têm diferenças (Δ) de no máximo 3 posições, sendo que 52% tem diferenças entre 0 e 1. Já no caso das Aeronaves de Transporte 60% dos indicadores têm diferenças (Δ) de no máximo 3, sendo que 40% tem diferenças entre 0 e 1 e no caso dos Helicópteros 40% dos indicadores têm diferenças (Δ) de no máximo 3 posições, sendo que 20% tem diferenças entre 0 e 1.

Priorização para Caças			Priorização para Caças					
Prioridade		AHP	ANP	AHP	Prioridade	ANP	Prioridade	Δ
1	Grupo 1	MICAP	MICAP	Am	6	Am	12	6
2		MTBF	DLH	Ao	9	Ao	17	8
3		MMHOH	TAT	NMC	8	NMC	13	5
4		TAT	MTBF	NMCM	16	NMCM	21	5
5		MDT	MDT	NMCS	22	NMCS	24	2
6	Grupo 2	Am	MCR	LDT	25	LDT	22	3
7		MCR	MMHOH	MDT	5	MDT	5	0
8		NMC	MMT	MMT	14	MMT	8	6
9		Ao	POFR	MTTR	18	MTTR	14	4
10		DLH	LRT	TAT	4	TAT	3	1
11	Grupo 3	LRT	POS	ADT	23	ADT	23	0
12		POS	Am	LRT	11	LRT	10	1
13		POFR	NMC	MICAP	1	MICAP	1	0
14		MMT	MTTR	POFR	13	POFR	9	4
15		THDY	THDY	SPA	17	SPA	16	1
16	Grupo 4	NMCM	SPA	DLH	10	DLH	2	8
17		SPA	Ao	ILH	24	ILH	25	1
18		MTTR	MTBMF	MMHOH	3	MMHOH	7	4
19		MTBMF	MTBSA	POS	12	POS	11	1
20		MTBSA	MTBUM	THDY	15	THDY	15	0
21	Grupo 5	MTBUM	NMCM	MCR	7	MCR	6	1
22		NMCS	LDT	MTBF	2	MTBF	4	2
23		ADT	ADT	MTBMF	19	MTBMF	18	1
24		ILH	NMCS	MTBSA	20	MTBSA	19	1
25		LDT	ILH	MTBUM	21	MTBUM	20	1

Tabela 4.2 – Comparação das prioridades – Aeronaves de Caça

Entre os três estudados, aeronaves de Caça, Aeronaves de Transporte e Helicópteros, o caso das Aeronaves de caça foi o que menos apresentou diferenças entre os métodos AHP e ANP.

A justificativa está na menor amplitude dos pesos utilizados pelo julgador, que raramente optou por graus 7 e 9 e mesmo 5 eram pouco utilizados, ou seja, quanto mais neutro o julgamento e próximo do grau 1, menor a importância do método utilizado. No Grupo 1, por exemplo, há a coincidência de quatro dos cinco indicadores, MICAP, TAT, MDT, e MTBF, sendo que dois exatamente na mesma prioridade, MICAP e MDT. Apenas um dos indicadores, MMHOH não coincide, ainda apareça outro de Mão de Obra, DLH.

Pelo método AHP, a maior prioridade dada aos Indicadores de Disponibilidade Ao, Am e NMC é notória e mais coerente com a estratégia de suporte proposta para o caso. Em ambos os modelos os indicadores de Confiabilidade foram os que apresentaram prioridades mais próximas para ambos os casos. É interessante observar que, apesar do caso das Aeronaves de Caça ter uma proximidade de resultados maior, o caso das Aeronaves de Transporte apresenta uma coerência interessante, pois é o caso onde ocorrem mais encontros de indicadores de mesma natureza (representa pelas cores) entre os métodos.

Priorização para Anv Transporte				Priorização para Anv Transporte				
Prioridade		AHP	ANP	AHP	Prioridade	ANP	Prioridade	Δ
1	Grupo 1	Ao	MTBF	Am	18	Am	23	5
2		MTBF	MMT	Ao	1	Ao	7	6
3		MICAP	MICAP	NMC	13	NMC	22	9
4		MMHOH	DLH	NMCM	24	NMCM	25	1
5		TAT	MDT	NMCS	23	NMCS	24	1
6	Grupo 2	DLH	MMHOH	LDT	9	LDT	17	8
7		ADT	Ao	MDT	8	MDT	5	3
8		MDT	TAT	MMT	11	MMT	2	9
9		LDT	MTTR	MTTR	21	MTTR	9	12
10		POFR	POFR	TAT	5	TAT	8	3
11	Grupo 3	MMT	ADT	ADT	7	ADT	11	4
12		POS	ILH	LRT	20	LRT	14	6
13		NMC	MTBMF	MICAP	3	MICAP	3	0
14		MTBMF	LRT	POFR	10	POFR	10	0
15		MTBSA	MTBSA	SPA	22	SPA	21	1
16	Grupo 4	MTBUM	MTBUM	DLH	6	DLH	4	2
17		THDY	LDT	ILH	25	ILH	12	13
18		Am	MCR	MMHOH	4	MMHOH	6	2
19		MCR	THDY	POS	12	POS	20	8
20		LRT	POS	THDY	17	THDY	19	2
21	Grupo 5	MTTR	SPA	MCR	19	MCR	18	1
22		SPA	NMC	MTBF	2	MTBF	1	1
23		NMCS	Am	MTBMF	14	MTBMF	13	1
24		NMCM	NMCS	MTBSA	15	MTBSA	15	0
25		ILH	NMCM	MTBUM	16	MTBUM	16	0

Tabela 4.3 – Comparação das prioridades - Aeronaves de Transporte

Finalmente o caso onde menos se pode perceber a coincidência de resultados de priorização de indicadores é o dos Helicópteros. Ressalta-se que nesse caso o especialista

encarregado dos julgamentos utilizou todos os graus disponíveis na Escala Fundamental de Saaty, o que influenciou bastante os cálculos das prioridades.

Priorização para Helicópteros				Priorização para Helicóptero				
Prioridade		AHP	ANP	AHP	Prioridade	ANP	Prioridade	Δ
1	Grupo 1	MICAP	MTTR	Am	10	Am	19	9
2		MDT	MTBF	Ao	19	Ao	23	4
3		MTBF	MICAP	NMC	13	NMC	21	8
4		THDY	THDY	NMCM	12	NMCM	10	2
5		DLH	SPA	NMCS	8	NMCS	18	10
6	Grupo 2	ILH	MMT	LDT	14	LDT	14	0
7		SPA	MTBUM	MDT	2	MDT	13	11
8		NMCS	DLH	MMT	21	MMT	6	15
9		MTBMF	TAT	MTTR	11	MTTR	1	10
10		Am	NMCM	TAT	17	TAT	9	8
11	Grupo 3	MTTR	POS	ADT	25	ADT	25	0
12		NMCM	POFR	LRT	24	LRT	22	2
13		NMC	MDT	MICAP	1	MICAP	3	2
14		LDT	LDT	POFR	23	POFR	12	11
15		MCR	MMHOH	SPA	7	SPA	5	2
16	Grupo 4	MMHOH	MTBSA	DLH	5	DLH	8	3
17		TAT	ILH	ILH	6	ILH	17	11
18		MTBUM	NMCS	MMHOH	16	MMHOH	15	1
19		Ao	Am	POS	22	POS	11	11
20		MTBSA	MTBMF	THDY	4	THDY	4	0
21	Grupo 5	MMT	NMC	MCR	15	MCR	24	9
22		POS	LRT	MTBF	3	MTBF	2	1
23		POFR	Ao	MTBMF	9	MTBMF	20	11
24		LRT	MCR	MTBSA	20	MTBSA	16	4
25		ADT	ADT	MTBUM	18	MTBUM	7	11

Tabela 4.4 – Comparação das prioridades - Helicópteros

As conclusões a que chegaram dos resultados são as seguintes:

1ª – Ambos os métodos são adequados à priorização em um grupo de indicadores previamente selecionado, de forma a traduzir uma estratégia de suporte logístico para um determinado caso (o que responde a primeira pergunta investigativa) ;

2ª – O método AHP é de aplicação mais simples e ofereceu resultados representativos da estratégia de suporte logístico definida;

3ª – O método ANP, apesar de representar melhor a integração existente entre os diversos aspectos do suporte logístico, tem uma estruturação bem mais complexa, com o aumento substancial do número de comparações par a par e, conseqüentemente, de cálculos para a obtenção das priorizações (o que responde a segunda pergunta investigativa);

4ª – Os julgamentos de indicadores quando ponderados por um outro indicador, como foi a rede definida no modelo, foi de difícil interpretação e execução por parte dos especialistas, o que leva a conclusão que o método ANP tem limitações para aplicação nesse tipo de problema. Tal limitação, por outro lado, não ocorreu no método ANP.

5 Conclusão e Considerações Finais

O objetivo desse estudo foi o de analisar metodologias de priorização de indicadores de desempenho de suporte logístico, capazes de prover informações e inteligência que auxiliem o gerenciamento das atividades de suporte logístico. O trabalho também buscou verificar se o Método de Análise Hierárquica, do inglês *Analytic Hierarchical Process* (AHP) e o Método de Análise em Redes, do inglês *Analytic Network Process* (ANP) podem ser aplicados para a solução do problema e se os resultados obtidos em tais métodos diferem significativamente.

Pelos resultados produzidos nos modelos, concluiu-se que ambos os métodos foram capazes de traduzir as estratégias de suporte, por meio de comparações de importância entre os critérios estratégicos e os indicadores de desempenho, sendo possível afirmar que ambos os métodos são aplicáveis. O método ANP, no entanto, apresentou limitações, em virtude do grande número de comparações par a par, sem que os resultados apresentem diferenças significativas em relação ao método AHP. Os modelos, no entanto, têm limitações de complexidade, uma vez que não é possível, computacionalmente, utilizar grande um número de indicadores. Na utilização prática do modelo tal limitação pode ser trabalhada por meio da divisão em sub-áreas de suporte e em múltiplos níveis de atuação. Recomenda-se que estudos futuros testem em casos reais os modelos desenvolvidos a fim de obter séries temporais de dados capazes de certificar a eficácia dos modelos apresentados.

Do ponto de vista acadêmico, esse trabalho contribuiu para o avanço de análise de metodologias adequadas à priorização de indicadores de desempenho, não apenas de suporte logístico, mas de outras áreas gerenciais com características de complexidade semelhantes. Do ponto de vista de aplicação prática o trabalho contribui, não apenas pela disponibilização de uma metodologia de apoio às decisões gerenciais de suporte logístico, mas também pela indicação de formas de estruturação e de avaliação de estratégias de suporte específicas. Com os mais recentes projetos de aquisição feitos pelo Comando da Aeronáutica, notadamente a frota de 36 caças multi tarefa Saab Gripen-NG, denominados F-39 na Força Aérea Brasileira e a frota de 28 aeronaves de transporte, lançamento de cargas e tropas e reabastecimento em voo, Embraer KC-390, metodologias de apoio às decisões de suporte logístico serão fundamentais, tendo em vista a complexidade dos seus sistemas e da necessidade de mantê-las prontas para o emprego da forma vislumbrada na fase de aquisição. A Força Aérea Brasileira receberá, juntamente com as novas frotas, documentação e equipamentos de apoio, sistemas

computacionais, irá treinar seus recursos humanos e construir ou adaptar estruturas físicas de organizações de operação e de apoio. Tendo em vista o volume de investimentos em tais projetos e a necessidade de justificar a sua melhor utilização possível, as decisões relativas à estrutura de suporte logístico necessitam ter a abrangência e a profundidade adequadas. A aplicação da metodologia apresentada nesse trabalho permite que discussões e elaboração de estratégias de suporte para o ciclo de vida de frotas sejam feitas de acordo com os objetivos da organização e permite que tais estratégias sejam transmitidas às organizações responsáveis pelo suporte logístico e aos seus gerentes de suporte logístico. Dessa forma, passa-se a analisar e planejar o suporte logístico de uma frota, ao longo do seu ciclo de vida, de forma integrada e particularizada para cada frota e a sua forma de utilização e suporte. Como mencionado na motivação desse trabalho, o volume de dados gerado por frotas de última geração tecnológica, tais como F-39 e KC-390, será significativo. Para que decisões gerenciais de suporte logístico sejam tomadas de forma segura e tempestiva, em apoio ao gerenciamento logístico dessas ou de outras frotas, esse trabalho contribuiu com um método capaz de, não só apoiar, como justificar decisões logísticas.

Referências

- ABRAHÃO, F.T.M. **A meta-heurística colônia de formigas para a solução do problema de programação de manutenção preventiva de uma frota de veículos com múltiplas restrições: aplicação na Força Aérea Brasileira**. 2006. Tese. (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.
- AEROSPACE AND DEFENCE INDUSTRIES ASSOCIATION OF EUROPE, AEROSPACE INDUSTRIES AMERICA. **International guide for the use of the S-Series Integrated Logistic Support (ILS) specifications – SX000i versão 1.1**. Paris, 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). **RBAC 145: organizações de manutenção de produto aeronáutico**. Brasília, DF, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 5462: confiabilidade e maneabilidade**. São Paulo, 1994.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Londres: Springer, 2001.
- BLANCHARD, B. S. **System engineering management**. 2. ed. New York: John Wiley and Sons, 1998.
- BLANCHARD, B.S. **Logistics engineering and management**. 6. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Maintenance: maintenance key performance indicators EN 15341: 2007**. Bruxelas, 2007.
- FRANCESCHINI, F.; GALETTO, M.; MAISANO, D. **Management by measurement: designing key indicators and performance measurement systems**. Berlim: Springer, 2009.
- GALAR, D.; PARIDA, A.; KUMAR, U. Maintenance metrics: a hierarchical model of balanced scorecard. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUALITY AND RELIABILITY, 2011, Bangkok. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 2011.
- JONES, J. V. **Integrated logistics support handbook**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2006.
- JONES, J. V. **Supportability engineering handbook, implementation, measurement and management**. New York: McGraw-Hill, 2007.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. Balanced scorecard: measures that drive performance. **Harvard Business Review**, n. 92105, p. 72-79, 1992.
- KUMAR, U.; PARIDA, A; DUFFUAA, S.O. Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 19, n. 3, p. 233-277, 2013.

LIYANAGE, J. P.; KUMAR, U. Towards a value-based view on operations and maintenance performance management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 9, n. 4, p. 333 – 350, 2003.

O'BRIEN, F; DYSON, R. **Supporting strategy: frameworks, methods and models**. Londres: John Wiley & Sons, 2007.

PARIDA, A; AHREN, T.; KUMAR, U. Integrating maintenance performance with Corporate Balanced Scorecard. In: **CONDITION MONITORING AND DIAGNOSTIC ENGINEERING MANAGEMENT**, 2003, Vaxjo. **Proceedings...** Birmingham: COMADEM International, 2003. p. 53-59.

PARIDA, A; CHATTOPADHYAY, G. Multi criteria maintenance performance measurement: a conceptual model. In: **CONDITION MONITORING AND DIAGNOSTIC ENGINEERING MANAGEMENT**, 2005, Cranfield. **Proceedings...** Birmingham: COMADEM International, 2005. p. 349-356.

PARIDA, A; KUMAR, U. Maintenance performance measurement (MPM): issues and challenges. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.12, n. 3, p. 239-251 2006

PARIDA, A. **Development of a Multi-criteria hierarchical framework for maintenance performance measurement: concepts, issues and challenges**. 2006. Thesis. (Doctoral) - Luleå University of Technology, Lulea.

PARIDA, A; CHATTOPADHYAY, G. Development of a multi-criteria hierarchical framework for maintenance performance measurement (MPM). **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 13, n. 3, p. 241 – 258, 2007.

PARIDA, A; KUMAR, U; GALAR, D. Performance measurement and management for maintenance: a literature review. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 21, n. 1, p. 2 – 33, 2015.

PRZEMIENIECKI, J. S. **Acquisition of defense systems**. Washington, DC: AIAA, 1993. (AIAA Education Series).

RUSSELL, S. H. Supply chain management: more than integrated logistics. **Air Force Journal of Logistics**, v. 31, n. 2, p. 55- 63, Washington, DC, 2007.

SAATY, T. L.; VARGAS G. L. **Models, methods, concepts and applications of the analytic hierarchy process**. Norwell: Kluwer Academic, 2001.

SAATY, T. L.; VARGAS G. L. **Decision making with the analytic network process. economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks**. 2. ed. Londres: Springer, 2006.

WIREMAN, T. **Developing performance indicators for managing maintenance**. Woodstock: Industrial Press Reference Library, 1998.

VAN HORENBEEK, A.; PINTELON, L. Development of a maintenance performance measurement framework: using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection. **Omega**, v. 42, p. 33-46, 2014.

VERHOEFF, M. **Maximizing operational readiness in defense aviation by optimization of flight and maintenance planning**. Delft: Delft University of Technology, 2015.

TAPINOS, E.; DYSON, R. Performance measurement. In: O'BRIEN, F, DYSON, R. **Supporting strategy: frameworks, methods and models**. Londres: John Wiley & Sons, 2007. cap. 11, p. 285-312.

UNITED STATES. Department of Defense. **Integrated product support element: guidebook**. Washington, DC, 2011.

UNITED STATES. Department of Defense. **Performance based logistics guidebook: a guide to developing performance-based arrangements**. Washington, DC, 2016.

UNITED STATES. Department of Defense. **Product support manager guidebook**. Washington, DC, 2016.

A.5 – Tabela de Julgamentos de Critérios ANP

Critério Disponibilidade					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33
Disp	3,00	1,00	3,00	3,00	3,00
Man	3,00	0,33	1,00	1,00	1,00
Mão	3,00	0,33	1,00	1,00	1,00
Sup	33,00	0,33	1,00	1,00	1,00

Critério Manutenção					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	3,00	0,33	0,33	0,33
Disp	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33
Man	3,00	3,00	1,00	3,00	3,00
Mão	3,00	3,00	0,33	1,00	1,00
Sup	3,00	3,00	0,33	1,00	1,00

Critério Suprimento					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	3,00	3,00	3,00	0,33
Disp	0,33	1,00	0,33	1,00	0,33
Man	0,33	3,00	1,00	3,00	0,33
Mão	0,33	1,00	0,33	1,00	0,33
Sup	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00

Critério Mão de Obra					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	3,00	0,33	0,33	1,00
Disp	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00
Man	3,00	3,00	1,00	0,33	3,00
Mão	3,00	3,00	3,00	1,00	3,00
Sup	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00

Critério Confiabilidade					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Disp	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33
Man	0,33	3,00	1,00	1,00	1,00
Mão	0,33	3,00	1,00	1,00	1,00
Sup	0,33	3,00	1,00	1,00	1,00

B.5 – Tabela de Julgamentos de Critérios ANP

Critério Disponibilidade					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33
Disp	3,00	1,00	3,00	3,00	3,00
Man	3,00	0,33	1,00	1,00	1,00
Mão	3,00	0,33	1,00	1,00	1,00
Sup	3,00	0,33	1,00	1,00	1,00

Critério Manutenção					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	3,00	0,33	0,33	0,33
Disp	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33
Man	3,00	3,00	1,00	3,00	3,00
Mão	3,00	3,00	0,33	1,00	1,00
Sup	3,00	3,00	0,33	1,00	1,00

Critério Suprimento					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	3,00	3,00	3,00	0,33
Disp	0,33	1,00	0,33	1,00	0,33
Man	0,33	3,00	1,00	3,00	0,33
Mão	0,33	1,00	0,33	1,00	0,33
Sup	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00

Critério Mão de Obra					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	3,00	0,33	0,33	1,00
Disp	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00
Man	3,00	3,00	1,00	0,33	3,00
Mão	3,00	3,00	3,00	1,00	3,00
Sup	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00

Critério Confiabilidade					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Disp	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33
Man	0,33	3,00	1,00	1,00	1,00
Mão	0,33	3,00	1,00	1,00	1,00
Sup	0,33	3,00	1,00	1,00	1,00

C.5 – Tabela de Julgamentos de Critérios ANP

Critério Disponibilidade					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33
Disp	3,00	1,00	3,00	3,00	3,00
Man	3,00	0,33	1,00	1,00	1,00
Mão	3,00	0,33	1,00	1,00	1,00
Sup	3,00	0,33	1,00	1,00	1,00

Critério Manutenção					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	3,00	0,33	0,33	0,33
Disp	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33
Man	3,00	3,00	1,00	3,00	3,00
Mão	3,00	3,00	0,33	1,00	1,00
Sup	3,00	3,00	0,33	1,00	1,00

Critério Suprimento					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	3,00	3,00	3,00	0,33
Disp	0,33	1,00	0,33	1,00	0,33
Man	0,33	3,00	1,00	3,00	0,33
Mão	0,33	1,00	0,33	1,00	0,33
Sup	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00

Critério Mão de Obra					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	3,00	0,33	0,33	1,00
Disp	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00
Man	3,00	3,00	1,00	0,33	3,00
Mão	3,00	3,00	3,00	1,00	3,00
Sup	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00

Critério Confiabilidade					
	Conf	Disp	Man	Mão	Sup
Conf	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Disp	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33
Man	0,33	3,00	1,00	1,00	1,00
Mão	0,33	3,00	1,00	1,00	1,00
Sup	0,33	3,00	1,00	1,00	1,00

Apêndice D

Currículo dos Especialistas

1. Caso Aeronaves de Caça

Formação: Engenheiro Aeronáutico formado pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Mestre em Pesquisa Operacional Militar pela Universidade Cranfield do Reino Unido.

Experiência profissional: Oficial-Engenheiro da Força Aérea Brasileira experiência na área de suporte de frotas de aeronaves militares e ensino de disciplinas de Logística de Suporte no Instituto de Logística da Aeronáutica (ILA).

2. Caso Aernaves de Transporte

Formação: Engenheiro Metalúrgico formado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Mestre em Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos pelo *Air Force Institute of Technology* (AFIT) da Força Aérea dos Estados Unidos.

Experiência Profissional: Oficial Engenheiro do Comando da Aeronáutica com experiência na área de suporte de frotas de aeronaves da Força Aérea Brasileira e no ensino de disciplinas de Logística de Suporte no Instituto de Logística da Aeronáutica (ILA).

3. Caso Helicópteros

Formação: Engenheiro formado em Engenharia Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica em 2004.

Experiência Profissional: Oficial Engenheiro do Comando da Aeronáutica com experiência na área de Ensaios em Voo e suporte de frotas de aeronaves da Força Aérea Brasileira no Parque de Manutenção Aeronáutica de Lagoa Santa (MG).

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">DM</p>	2. DATA <p style="text-align: center;">15 de janeiro de 2018</p>	3. REGISTRO N° <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/DM-125/2017</p>	4. N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">132</p>
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: <p>Priorização de indicadores de desempenho de suporte logístico utilizando abordagem multicritério.</p>			
6. AUTOR(ES): <p>Fernando Dias Coelho Capuano</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, Decisão Multicritério, Priorização de Indicadores de Desempenho</p>			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: <p>1. Teoria multicritério da decisão 2. Sistemas de apoio a decisão 3. Indicadores de desempenho 4. Logística (Administração) 5. Administração</p>			
10. APRESENTAÇÃO: <p style="text-align: right;"><input checked="" type="checkbox"/> Nacional () Internacional</p> <p>ITA, São José dos Campos. Curso de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica. Área de Transporte Aéreo e Aeroportos. Orientador: Prof. Dr. Anderson Ribeiro Correia; Co-orientador: Prof. Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão. Defesa em 07/12/2017. Publicada em 2017</p>			
11. RESUMO: <p>As atividades de aviação comercial e militar requerem, para o sucesso de suas operações, adequados níveis de prontidão de suas frotas de aeronaves obtidos por meio das atividades de suporte logístico realizado ao longo dos ciclos de vida. Os gerentes de suporte logístico necessitam de ferramentas de auxílio à decisão capazes de processar adequadamente os dados produzidos computacionalmente de forma cada vez mais abundante, mas que requerem processamento e interpretação para dar subsídio às decisões gerenciais de suporte logístico. Por outro lado, a literatura científica relacionada aos modelos de decisão multicritério voltados para suporte de sistemas de maior complexidade técnica é escassa e focada na manutenção de equipamentos industriais. Esse trabalho analisou metodologias de priorização de indicadores de desempenho de suporte logístico com abordagens multicritério utilizando o Método de Análise Hierárquica, do inglês <i>Analytic Hierarchical Process</i> (AHP) e o Método de Análise em Redes, do inglês <i>Analytic Network Process</i> (ANP) de forma verificar se os mesmos são adequados e se os resultados obtidos em cada um diferem significativamente. A conclusão a que se chegou foi de que ambos os métodos são adequados, porém o Método AHP, quando comparado ao Método de Análise em Redes (ANP), proporciona uma interpretação de resultados mais claros e coerentes com as estratégias de suporte definidas e é de aplicação mais fácil em casos reais.</p>			
12. GRAU DE SIGILO: <p style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/> OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL</p>			