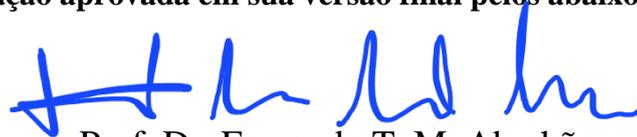


Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pós-Graduação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais, Área de Gestão Tecnológica.

João Henrique Amorim de Almeida

**ANÁLISE COMBINADA DO PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO
AERONÁUTICA E DO DESENVOLVIMENTO DO SUPORTE
INTEGRADO DO PRODUTO PARA A AVIAÇÃO GERAL**

Dissertação aprovada em sua versão final pelos abaixo assinados:



Prof. Dr. Fernando T. M. Abrahão
Orientador

Prof^a. Dra. Emília Villani
Pró-Reitor de Pós-Graduação

Campo Montenegro
São José dos Campos, SP – Brasil
2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Almeida, João Henrique Amorim de
Análise Combinada do Processo de Certificação Aeronáutica e do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto para a Aviação Geral / João Henrique Amorim de Almeida.
São José dos Campos, 2023.
133f.

Dissertação de mestrado – Curso de Ciências e Tecnologias Espaciais. Área de Gestão Tecnológica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2023. Orientador: Prof. Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão

1. Certificação Aeronáutica. 2. Suportabilidade. 3. Suporte Integrado do Produto. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Ciências e Tecnologias Espaciais. II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, João Henrique Amorim de. **Análise Combinada do Processo de Certificação Aeronáutica e do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto para a Aviação Geral**. 2023. 133 f. Dissertação de (Mestrado em Gestão Tecnológica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2023.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: João Henrique Amorim de Almeida

TÍTULO DO TRABALHO: Análise Combinada do Processo de Certificação Aeronáutica e do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto para a Aviação Geral

TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação / 2023

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

João Henrique Amorim de Almeida

Rua Java, 243

CEP: 12.235-500, São José dos Campos - SP

**ANÁLISE COMBINADA DO PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO
AERONÁUTICA E DO DESENVOLVIMENTO DO SUPORTE
INTEGRADO DO PRODUTO PARA A AVIAÇÃO GERAL**

João Henrique Amorim de Almeida

Composição da Banca Examinadora:

Prof. Dr.	Anderson Ribeiro Correia	Presidente	- ITA
Prof. Dr.	Fernando Teixeira Mendes Abrahão	Orientador	- ITA
Prof. Dra.	Leandra Isabel de Abreu	Membro Externo	- UNESP
Prof. Dr.	Ney Rafael Sêcco	Membro Interno	- ITA

ITA

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais Mércio Oliveira e Ednil Luzia, a minha esposa Camila Stocco Escrepante, ao ITA e à empresa Seamax Aircraft Ltda., que contribuíram direta e indiretamente na realização dessa grande etapa da minha vida.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus pela sabedoria, saúde e graça concedidas ao longo da minha vida. Sua graça e amor me sustentam durante os momentos de desafios e incertezas, e sou grato por sua constante presença em minha vida.

Agradeço aos meus pais, Mércio Oliveira de Almeida e Ednil Luzia de Amorim Almeida, que sempre se dedicaram e ensinaram, da melhor maneira possível, o caminho do bem em todos os aspectos da vida.

Agradeço a minha esposa Camila Stocco Escrepante pelo incentivo, paciência e amor durante o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão, pela orientação dedicada, conhecimento especializado e paciência durante todo o processo de elaboração deste trabalho. Suas sugestões ao tema e problema da pesquisa foram valiosas e essenciais para o desenvolvimento e aprimoramento acadêmico.

Agradeço ao Dr. Gilberto da Cunha Trivelato pela visão estratégica, proposição de um tema atual, relevante e necessário e discussões e revisões técnicas bem como a empresa Seamax Aircraft Ltda que me disponibilizou tempo e condições para desenvolver este trabalho integrado ao seu programa de desenvolvimento tecnológico e formação profissional na área de desenvolvimento de sistemas críticos altamente integrados e complexos.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos os professores e colegas do Laboratório de Engenharia Logística do ITA (AerologLab ITA), que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

“A imaginação é mais importante que o conhecimento. O conhecimento é limitado, enquanto a imaginação abraça o mundo inteiro, estimulando o progresso, e dando origem à evolução.”

(Albert Einstein)

Resumo

Este trabalho aborda os problemas de suportabilidade e eventuais deficiências na utilização do conceito de Suporte Integrado ao Produto no desenvolvimento de aeronaves da aviação geral. O trabalho abrange o processo de certificação de tipo, que garante a aeronavegabilidade ao longo do ciclo de vida do produto. No entanto, embora muitos projetos de aeronaves obtenham o Certificado de Tipo, uma revisão de seus desempenhos em relação à suportabilidade aponta que muitos não conseguem garantir bons níveis dessa característica, especialmente para os primeiros clientes e operadores, que sofrem com um produto imaturo do ponto de vista de suporte. Isso pode ser evidenciado pelos diversos problemas enfrentados por operadores e mantenedores, seja devido à falta de precisão e otimização no plano de manutenção, no plano de suprimentos, paradas desnecessárias (manutenções corretivas), necessidade de cumprimento de boletins de serviços e/ou diretrizes de aeronavegabilidade e outros problemas observados na fase de operação. Todos esses fatores contribuem para aumentar os problemas relacionados ao custo-benefício esperado para a operação das aeronaves. Assim esse trabalho desenvolve três linhas de pesquisa principais. A primeira linha realiza uma análise comparativa e qualitativa dos processos de certificação de tipo e de todo o arcabouço do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto (do inglês *Integrated Product Support* - IPS) para entender se há convergência, sinergia, exclusividade e concomitância entre as tarefas dos dois processos ao longo das três primeiras fases do ciclo de vida de um produto aeronáutico. A segunda linha modela o processo de análise do Nível de Maturidade de Suporte (do inglês *Support Maturity Level* - SML), explorando as vantagens e desvantagens de considerar os dois processos de forma combinada, bem como avaliando o desempenho de SML para diferentes instâncias do problema. A terceira linha modela o Plano do Processo de Certificação de Tipo em conjunto com um Plano de Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto em uma plataforma de gerenciamento de projetos. Diferentes cenários de desenvolvimento são testados para medir o desempenho dessas atividades ao longo do projeto. Esse trabalho verificou que 51% das atividades do desenvolvimento da suportabilidade não são contempladas pelo processo de certificação. Os resultados apontam para a importância de integrar os dois processos no desenvolvimento de um novo projeto de aeronaves, resultando em uma maior compreensão e conscientização situacional do gerenciamento das tarefas envolvidas, tanto em certificação quanto no desenvolvimento da suportabilidade.

Abstract

This work addresses the issues of supportability and possible deficiencies in the use of the Integrated Product Support concept in the development of general aviation aircraft. The work discusses the type certification process, which ensures the airworthiness of the aircraft throughout its life cycle. However, even though many aircraft projects obtain the Type Certificate, a review of their supportability performance reveals that many fail to achieve satisfactory levels of this characteristic, especially for early customers and operators who struggle with an immature support perspective. This can be evidenced by various problems faced by operators and maintainers, such as lack of precision and optimization in the maintenance plan, supply plan issues, unnecessary downtime (corrective maintenance), the need to comply with service bulletins and/or airworthiness directives, and other issues observed during the operational phase. All these factors increase the cost-benefit-related problems expected during aircraft operation. Thus, this work develops three main lines of research. The first one conducts a comparative and qualitative analysis of the type certification processes and the entire Integrated Product Support (IPS) development framework to understand if there is convergence, synergy, exclusivity, and concomitance between the tasks of the two processes throughout the first three phases of an aeronautical product's lifecycle. The second line models the Support Maturity Level (SML) analysis process, examining the advantages and disadvantages of considering both processes combined, as well as assessing the SML's performance for different instances of the problem. The third line models the Type Certification Process Plan concurrently with an Integrated Product Support Development Plan within a project management platform. Different development scenarios are tested to measure the performance of these activities during the project's progress. The results highlight the importance of integrating both processes in the development of a new aircraft project, leading to better control and situational awareness in managing the tasks involved in certification and supportability development. This work revealed that 51% of supportability development activities are not addressed by the certification process. The results indicate the significance of integrating the two processes in the development of a new aircraft project, resulting in better management process of the involved tasks, both in certification and in supportability development, with increased situational awareness.

Lista de Figuras

Figura 1 - Sistemas e Produtos Viabilizadores (Adaptado de EIA-632, 1999).	21
Figura 2 - Maturidade do projeto versus tempo do processo de Certificação de Tipo com os principais entregáveis por fase (Autor, 2023).	22
Figura 3 - Desenvolvimento atrasado da suportabilidade, com entrega da primeira aeronave imatura do ponto de vista de sua maturidade de suporte e consequente degradação da relação custo-benefício esperada (Adaptado de ABRAHÃO <i>et al.</i>, 2021).	25
Figura 4 - Custo do ciclo de vida versus tempo (Adaptado de INCOSE, 2006).	26
Figura 5 - Evolução das normas de Engenharia de Sistemas (Adaptado de MAASS <i>et al.</i>, 2015).	30
Figura 6 - Interação das normas de <i>Safety</i> para Aeronaves (adaptado de TRIVELATO <i>et al.</i>, 2011).	34
Figura 7 - Interação entre <i>Safety</i> e o Processo de Desenvolvimento (ARP-4754A, 2010).	35
Figura 8 - Comparação das fases do processo de Certificação de Tipo x Fases do ciclo de vida da suportabilidade x Fases do ciclo de vida da Engenharia de Sistemas x Fases do ciclo de vida de desenvolvimento de projeto (Autor, 2023).	36
Figura 9 - Influência dos Requisitos de Suportabilidade e Aeronavegabilidade nas fases do ciclo de vida de uma aeronave (Adaptado de ALMEIDA, 2021).	37
Figura 10 - Procedimento de Aeronavegabilidade da Aeronave (Adaptado de PETROV, 2014).	39
Figura 11 – Página de Diretrizes de Aeronavegabilidade Brasileiras (ANAC, 2023).	40

Figura 12 - Visão Geral dos elementos necessários para o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto (adaptado de ASD/AIA, 2021).	43
Figura 13 - Comparação do arcabouço normativo, ANAC, FAA e EASA (Autor, 2023).	52
Figura 14 - Requisitos de Produto e Aeronavegabilidade na legislação aeronáutica brasileira (Autor, 2023).	54
Figura 15 – Visão geral do novo ecossistema de normas da ASTM conforme a F3264 para aeronaves da categoria Normal do RBAC 23, FAR 23 e CS 23 (Autor, 2023).	55
Figura 16 - Principais tipos de ocorrências para o acumulado de acidentes aéreos entre 2017 e 2021 (ANAC, 2022).	57
Figura 17 - Motivos para interdições de aviões e helicópteros (CNN, 2020).	58
Figura 18 – Exemplo da Análise Qualitativa entre o processo de Certificação com a Suportabilidade (Autor, 2023).	72
Figura 19 – Fluxograma da aplicação da metodologia (Autor 2023).	75
Figura 20 - Tarefa 1.2.1 A base de certificação aplicável, modelada em BPMN (Autor, 2023).	85
Figura 21 – Parte da combinação temporal das tarefas de Certificação e Suporte na fase Conceitual, modelado no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	87
Figura 22 - Tarefa 8.5.1 Análise de suficiência de dados, modelada em BPMN (Autor, 2023).	90
Figura 23 – Parte da combinação temporal das tarefas de Certificação e Suportabilidade na fase de Desenvolvimento, modelado no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	91
Figura 24 - Análise de Sincronização das tarefas convergentes entre os planos na fase de Produção, Tarefa 22.18.3, modelado em BPMN (Autor, 2023).	94

Figura 25 – Parte da combinação temporal das tarefas de Certificação e Suportabilidade na fase de produção, modelado no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	95
Figura 26 - Nível de Maturidade de Suporte no Tempo, cenário com 49% das tarefas de suporte realizadas nas três primeiras fases do ciclo de vida (Autor, 2023).	104
Figura 27 - Nível de Maturidade de Suporte no Tempo, cenário com 100% das tarefas de suporte realizadas nas três primeiras fases do ciclo de vida (Autor, 2023).	105
Figura 28 – Comportamento esperado versus atrasado apontando o nível de maturidade de suporte durante o ciclo de vida com a combinação das tarefas do processo de Certificação e Suportabilidade (Autor, 2023).	106
Figura 29 – Parte da programação e integração dos dados no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	109
Figura 30 – Parte da programação e integração dos dados para a aplicação do <i>Earned Value</i> no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	110
Figura 31 - Gráfico de <i>Earned Value</i> do Cenário 1, somente o plano do processo de certificação, programado no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	111
Figura 32 - IDC e IDP do cenário 1, programado no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	112
Figura 33 - Gráfico de <i>Earned Value</i> do Cenário 2, programado no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	113
Figura 34 - IDC e IDP do cenário 2, programado no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	114
Figura 35 - Gráfico de <i>Earned Value</i> do Cenário 3, programado no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	115
Figura 36 - IDC e IDP do cenário 3, programado no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	116
Figura 37 - Cenário 3, Gráfico de <i>Earned Value</i> integrado com o Nível de Maturidade de Suporte no tempo (Autor, 2023).	117
Figura 38 - Gráfico de <i>Earned Value</i> do Cenário 4, programado no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	118

Figura 39 - Cenário 4, Gráfico de <i>Earned Value</i> integrado com o Nível de Maturidade de Suporte no tempo (Autor, 2023).	119
Figura 40 - IDC e IDP do cenário 4, programado no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	120
Figura 41 - Gráfico de <i>Earned Value</i> do Cenário 5, programado no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	121
Figura 42 - Cenário 5, Gráfico de <i>Earned Value</i> integrado com o Nível de Maturidade de Suporte no tempo (Autor, 2023).	122
Figura 43 - IDC e IDP do cenário 5, programado no <i>Monday</i> (Autor, 2023).	123

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Interface entre processos de engenharia de sistema e tarefas de Suporte (Adaptado pelo autor, ASD/AIA, 2023).....	32
Tabela 2 - Mapeamento das atividades do desenvolvimento de suporte para as fases do ciclo de vida (Adaptado de ASD/AIA, 2021).	50
Tabela 3 – Ecosistema de normas conforme a ASTM F3264 (Autor, 2023).....	56
Tabela 4 – Métricas de Confiabilidade do Sistema (Adaptado de ASD/AIA, 2021).	60
Tabela 5 – Métricas da Manutenibilidade (Adaptado de ASD/AIA, 2021).....	62
Tabela 6 – Métricas de Disponibilidade (Adaptado de ASD/AIA, 2021).	63
Tabela 7 - Nível de Maturidade de Suporte (adaptado de ASD/AIA, 2021).....	65
Tabela 8 - Nível de detalhe da atividade necessária durante a fase de preparação (adaptado de ASD/AIA, 2021).	66
Tabela 9 - Comparação de referencial bibliográfico.....	69
Tabela 10 – Parte da análise de conteúdo dos requisitos de certificação com a Suportabilidade (Autor, 2023).....	77
Tabela 11 – Parte da análise das tarefas da Certificação na fase Conceitual (Autor, 2023)	79
Tabela 12 - Parte da análise das tarefas da Certificação na fase Desenvolvimento (Autor, 2023).....	80
Tabela 13 – Parte da análise das tarefas de Suporte na fase Conceitual (Autor, 2023)...	81
Tabela 14 – Parte da modelagem dos processos na fase Conceitual (Autor, 2023).	83
Tabela 15 - Parte da modelagem dos processos na fase Desenvolvimento (Autor, 2023).	89
Tabela 16 - Parte da modelagem dos processos na fase Produção (Autor, 2023).....	93

Tabela 17 – Tarefas não convergentes do Desenvolvimento da Suportabilidade ao Processo de Certificação (Autor, 2023).....	101
Tabela 18 – Custo de Mão de Obra de Engenheiro Aeronáutico em dólar. (Adaptado de U.S. Bureau Labor Statistics, 2022).....	107
Tabela 19 – Identificação dos resultados no cenário 1 (Autor, 2023).....	112
Tabela 20 – Identificação dos resultados no cenário 2 (Autor, 2023).....	114
Tabela 21 – Identificação dos resultados no cenário 3 (Autor, 2023).....	115
Tabela 22 – Identificação dos resultados no cenário 4 (Autor, 2023).....	118
Tabela 23 – Identificação dos resultados no cenário 5 (Autor, 2023).....	121

Lista de Abreviaturas e Siglas

AIA	<i>Aerospace Industries Association of America</i>
AC	<i>Advisor Circular</i>
ASD	<i>Aerospace and Defense Industries Association of Europe</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ARP	<i>Aerospace Recommended Practice</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i>
CMR	<i>Certification Maintenance Requirement</i>
CS	<i>Certification Specification</i>
CVA	Certificado de Verificação de Aeronavegabilidade
DAU	<i>Defense Acquisition University</i>
DoD	<i>Department of Defense</i>
DPHM	<i>Diagnostics, Prognostics and Health Management</i>
EASA	<i>European Union Aviation Safety Agency</i>
eVTOL	<i>Electric Vertical Take-off and Landing</i>
EIA	<i>Electronic Industries Alliance</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FAR	<i>Federal Aviation Regulation</i>
GAMA	<i>General Aviation Manufacturers Association</i>
IAM	Inspeção Anual de Manutenção
ICA	Instruction Continued Airworthiness
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
INCOSE	<i>International Council on Systems Engineering</i>

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPS	<i>Integrated Product Support</i>
IPSP	<i>Integrated Product Support Plan</i>
IS	Instrução Suplementar
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
LSA	<i>Logistic Support Analysis</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failure</i>
ORD	<i>Operational Requirement Document</i>
PHST	<i>Packaging, Handling, Storage and Transport plan</i>
RAMC	<i>Reliability, Availability, Maintenance and Cost</i>
RAMS	<i>Reliability, Availability, Maintenance and Safety</i>
RAMT	<i>Reliability, Availability, Maintenance and Testability</i>
RASO	Relatório Annual de Segurança Operacional
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
RTCA	<i>Radio Technical Commission for Aeronautics</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SML	<i>Support Maturity Level</i>
SRD	<i>System Requirements Documents</i>
SNC	Sincronização
URD	<i>Usage Requirements Document</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Contextualização.....	20
1.2	Definição do Problema	24
1.3	Motivação	25
1.4	Hipótese	27
1.5	Objetivo Geral	27
1.5.1	Objetivos Específicos	28
1.6	Relevância da Pesquisa	28
1.7	Delimitação da Pesquisa.....	28
1.8	Estrutura do Trabalho	29
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	30
2.1	Estudo do Problema de Suporte.....	30
2.1.1	A relação da Engenharia de Sistemas com o Suporte e a Certificação	30
2.1.2	A relação entre a Engenharia de Sistemas e o Suporte.....	32
2.1.3	A relação entre a Engenharia de Sistemas e a Certificação Aeronáutica	33
2.1.4	Fases do Ciclo de Vida de Sistemas	36
2.2	Os problemas de suporte e certificação	38
2.3	Estudo do Desenvolvimento de Suporte Integrado do Produto	40
2.3.1	Elementos de suporte logístico	42
2.3.2	Operações Logísticas	43
2.3.3	Manutenção	44
2.3.4	Gerenciamento de Suporte ao Produto	44
2.3.5	Suprimentos	45
2.3.6	Recursos Computacionais	45
2.3.7	Influência no Projeto	46
2.3.8	Engenharia de Suporte Continuado	46
2.3.9	Dados Técnicos	47
2.3.10	Infraestrutura e Instalações.....	47
2.3.11	Mão de Obra	48
2.3.12	Ferramental.....	48
2.3.13	Treinamento.....	48

2.3.14	O Plano de Suporte Integrado do Produto	49
2.3.15	Integração com conceitos de suporte existentes	50
2.4	A Certificação Aeronáutica	51
2.4.1	História e evolução da certificação.....	51
2.4.2	A aviação Geral	53
2.4.3	Problemas na Aeronavegabilidade Continuada.....	57
2.4.4	Fases do Processo de Certificação.....	58
2.4.5	A Confiabilidade no processo de certificação e no conceito de Suporte.....	59
2.4.6	A Manutenibilidade na certificação aeronáutica e no conceito de suporte	60
2.4.7	O fator Disponibilidade no conceito de suporte e na Certificação	62
2.5	Estudo dos métodos empregados	63
2.5.1	Análise Qualitativa	63
2.5.2	O método BPMN	64
2.5.3	O Nível de Maturidade de Suporte	64
2.5.4	Método de Gerenciamento de Projeto com Earned Value	66
2.6	Comparação de referencial bibliográfico	68
2.6.1	Lacunas dos referenciais bibliográficos mais relevantes.....	70
a)	Certificação Aeronáutica	70
b)	Suportabilidade.....	70
3.	Metodologia.....	71
4.	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA, APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
4.1.	Descrição da Análise de Combinação dos Processos de Certificação com o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto	76
4.1.1	Análise dos resultados da análise qualitativa	82
4.1.2	Análise dos resultados da análise qualitativa na fase Conceitual.....	82
4.1.3	Análise dos resultados da análise qualitativa na fase Desenvolvimento	88
4.1.4	Análise dos resultados da análise qualitativa na fase Produção	92
4.1.5	Discussão dos resultados da análise qualitativa nas três primeiras fases do ciclo de vida	96
4.1.6	Discussão dos resultados na fase conceitual.....	96
4.1.7	Discussão dos resultados na fase de Desenvolvimento	98
4.1.8	Discussão dos resultados na fase de Produção	98
4.1.9	Discussão sobre as tarefas que não foram combinadas	100
4.2	O método Nível de Maturidade de Suporte	102
4.2.1	Descrição da metodologia	102

4.2.2	Análise dos resultados do Cenário 1	103
4.2.3	Análise dos resultados do Cenário 2	104
4.2.4	Discussão sobre a aplicação do método de Nível de Maturidade de Suporte	105
4.3	Aplicação do método de Gerenciamento de Projeto com <i>Earned Value</i>	106
4.3.1	Descrição da metodologia	106
4.3.2	Descrição da ferramenta de gerenciamento de Projeto escolhida.....	108
4.3.3	Análise dos resultados no Cenário 1	111
4.3.4	Análise dos resultados no Cenário 2	113
4.3.5	Análise dos resultados no Cenário 3	115
4.3.6	Análise dos resultados no Cenário 4	117
4.3.7	Análise dos resultados no Cenário 5	120
4.3.8	Discussão da aplicação do método	124
5	CONCLUSÃO.....	125
5.1	Contribuições da Pesquisa	125
5.1.1	Análise combinada do Processo de Certificação e o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto	125
5.1.2	Modelagem da avaliação da maturidade de suporte.....	126
5.1.3	Integração dos resultados da análise combinada e da modelagem de avaliação da maturidade de suporte com uma ferramenta de gerenciamento de projeto	126
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	127
	REFERÊNCIAS	128
	APÊNDICE A	133
A.1	Modelagem da combinação dos processos e análise qualitativa, Modelagem do método Nível de Maturidade de Suporte, Modelagem dos Processos com Gerenciamento de Projeto e <i>Earned Value</i> e a Modelagem dos processos em BPMN.	133

1 Introdução

O desenvolvimento de uma aeronave é um projeto crítico em segurança (do inglês *Safety*) altamente integrado e complexo que exige a aplicação de diversas áreas de conhecimento conectadas entre si, as quais destacam-se os sistemas normativos de desenvolvimento que culminaram nas normas ARP (*Aerospace Recommended Practice*) da SAE (*Society of Automotive Engineers*) as leis e regulamentos utilizados pelas autoridades aeronáuticas para certificação de produtos e serviços aeronáuticos, e o conjunto de especificação de requisitos de suporte para garantia do desempenho operacional satisfatório.

Dados da GAMA (2018), mostraram que o mercado brasileiro possui a terceira maior frota mundial de aeronaves de pequeno porte, além de ser o segundo em número de aeronaves da aviação geral, atrás apenas dos Estados Unidos. As boas perspectivas de crescimento desse nicho de aeronaves reforçam a importância em entender e explorar novos saberes no campo da gestão tecnológica, a relação por exemplo, entre a engenharia de sistemas, a certificação aeronáutica e o desenvolvimento da suportabilidade, que infere em contribuir para que as organizações consigam expandir e desenvolver novos produtos competitivos no mercado (CAMARGO, 2021 e PANROTAS, 2021).

1.1 Contextualização

Desde o início do desenvolvimento de sistemas houve uma preocupação com outros fatores além do *Safety* dentro do ciclo de vida, como exemplo os produtos de suporte com um viés para os requisitos de suportabilidade apresentado no diagrama de blocos de sistema e produtos viabilizadores da norma EIA-632, conforme a **Figura 1**.

As diretrizes de engenharia de sistemas possuem uma ampla abordagem dos processos de desenvolvimento. No entanto, o baixo nível de detalhes de como proceder ou continuar o processo torna-se uma barreira para as organizações. Com essa lacuna na abordagem de engenharia de sistemas, outras normas específicas e mais prescritivas foram necessárias, devido a necessidade do mercado em garantir principalmente a segurança do produto para a sociedade e outros requisitos funcionais (ALMEIDA, 2011).

BLANCHARD (2016) define que a engenharia de sistemas tem uma relação com o conceito de suporte em uma aplicação de esforços científicos e de engenharia para integrar a

confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade, segurança e outros fatores em um esforço que atenda aos custos, prazos e metas de desempenho.

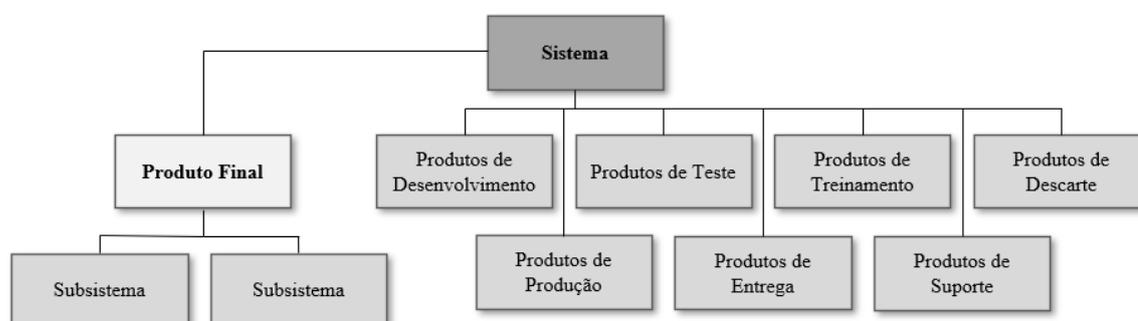


Figura 1 - Sistemas e Produtos Viabilizadores (Adaptado de EIA-632, 1999).

Os diversos tipos de aeronaves precisam garantir a aeronavegabilidade, desde as de pequeno porte acima de 2 assentos para passageiros até as de grande porte com mais de 19 assentos. Além disso, novos modelos vêm integrando o nicho de aeronaves para mobilidade urbana, os chamados eVTOL (do inglês, *Electric Vertical Take-off and Landing*), com motorização elétrica, decolagem e pouso verticais. Essas aeronaves devem cumprir os mesmos regulamentos de aeronavegabilidade de aeronaves convencionais, como o RBAC 23, RBAC 25 e RBAC 27 (LAINE *et al.*, 2019). Como esses requisitos são exigências de entrada no mercado pelas Autoridades de Aviação Civil, as empresas colocam grandes esforços em mão de obra de engenharia e financeiros para cumprir com o requerido no arcabouço regulamentar e tentar reduzir os prazos de certificação pois, sem ela, a empresa não consegue comercializar o produto. Isso reforça a necessidade de novas metodologias, procedimentos e práticas que resultem em melhores níveis de *Safety*, e outras métricas como a confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, definida como RAMS (do inglês *Reliability, Availability, Maintainability e Safety*) (FORTES *et al.*, 2017, ABRAHÃO *et al.*, 2019 e ALMEIDA *et al.*, 2021).

A ANAC com sua experiência em processos de certificação de produtos aeronáuticos, estima que o tempo de certificação da aeronavegabilidade dos requisitos do RBAC 23 ou RBAC 25 pode durar de 3 a 5 anos, dependendo da maturidade da gestão de desenvolvimento do projeto, conforme apresentado na **Figura 2**. A partir disso, o produto começa a ter um certo nível aceitável no fator *Safety*, isso após o requerimento inicial, planos, base de certificação, e no decorrer do tempo ir entregando o requerido no regulamento até a emissão do Certificado de Tipo.

Com o anseio e expectativa de entregar o primeiro produto ao cliente, ou seja, acelerar o processo de certificação de tipo, possivelmente a aeronave terá problemas na fase de operação, pois entregará um produto ao mercado sem atentar-se aos requisitos de suportabilidade ou até mesmo os de aeronavegabilidade. Esse fato pode ser comprovado devido aos inúmeros processos de correções do projeto, dificuldades em serviço, diretrizes de aeronavegabilidade, manutenção corretiva, dificuldades de infraestrutura de manutenção e outros problemas de suporte (ALMEIDA *et al.*, 2021).

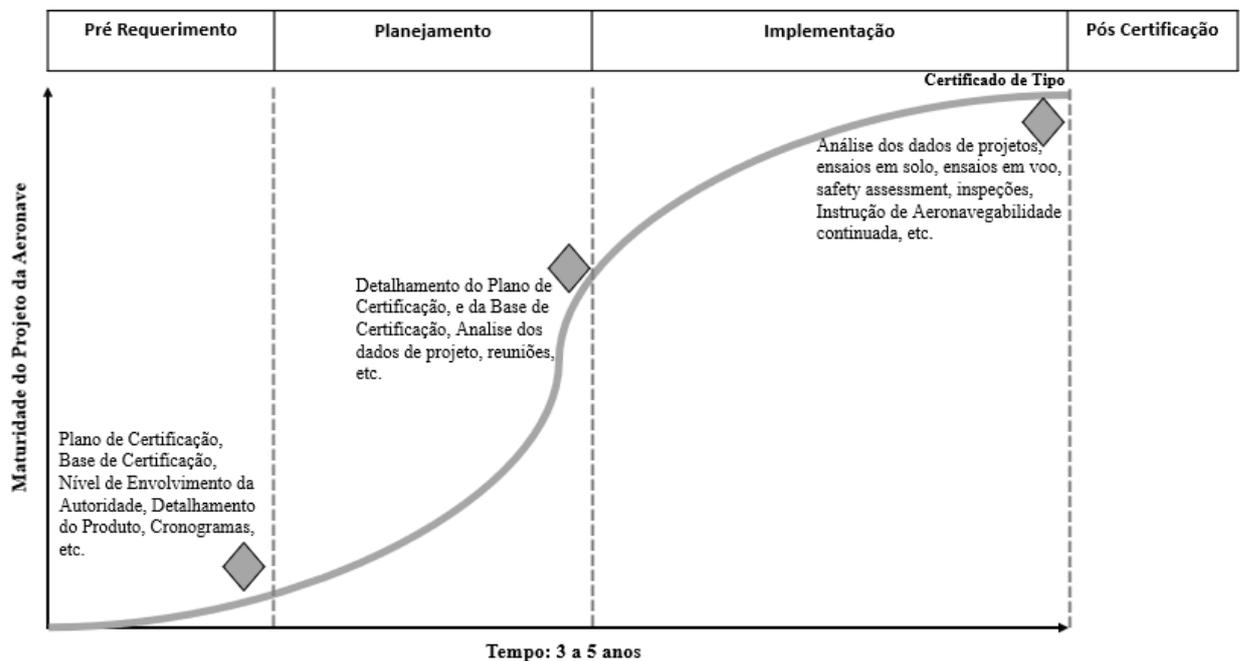


Figura 2 - Maturidade do projeto versus tempo do processo de Certificação de Tipo com os principais entregáveis por fase (Autor, 2023).

Uma especificação guia utilizado pela indústria aeroespacial, definida por ASD/AIA (2021) e DAU (2021) como Suporte Integrado do Produto (do inglês *Integrated Product Support*) e Suporte Logístico Integrado (do inglês *Integrated Logistic Support*) pelo BLANCHARD (2014) são mais detalhadas e prescritivas no que se refere a suportabilidade de qualquer sistema complexo.

Os requisitos de suportabilidade não são previstos em regulamentos do órgão homologador e não são exigidos compulsoriamente pelas autoridades de aviação na certificação de tipo. No entanto, os regulamentos aeronáuticos de certificação obtêm alguns poucos itens que garantem ao produto um certo nível de maturidade de suporte, isso devido ao apêndice A do RBAC 23. O problema começa a surgir quando o fabricante não planeja e implementa os

elementos de suporte durante o desenvolvimento do projeto e da certificação, cumprindo assim somente o mínimo requerido nos regulamentos (ALMEIDA *et al.*, 2021).

GONÇALVES *et al.* (2018) apresenta um método para otimizar os intervalos das tarefas de manutenção preventiva durante o desenvolvimento de uma aeronave, com o objetivo de reduzir os custos diretos de manutenção na fase de operação. A pesquisa relaciona o contexto do processo de certificação com elementos da aeronavegabilidade continuada, bem como elementos do processo da suportabilidade como a Manutenção dentro do desenvolvimento de uma aeronave. No entanto, é apenas uma pequena parcela de todo o conjunto de elementos de suporte que podem ser abordados em um processo de desenvolvimento e certificação aeronáutica.

O trabalho publicado por GAO (2020) enfatiza a importância do conceito de suporte para a boa relação custo-benefício da aeronave na fase de operação, além de destacar que os requisitos de suporte devem ser tratados no desenvolvimento da aeronave para evitar problemas de suportabilidade. Apesar de levantar tal relevância, não reúne todas as tarefas e elementos de suporte e nenhum modo de gerenciar todo o processo da suportabilidade no desenvolvimento da aeronave.

A publicação de SILVA *et al.* (2021) destaca a importância de considerar a capacidade de suporte ao longo do ciclo de vida de uma aeronave, e enfatiza que a capacidade de suporte é um aspecto vital que não deve ser tratado separadamente ao desenvolvimento do projeto ou após a sua concepção. Além disso, menciona que negligenciar a capacidade de suporte pode aumentar significativamente o custo total do ciclo de vida.

BAAREN *et al.* (2013) aborda sobre os requisitos de Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade com os de Custo do Ciclo de Vida do Suporte Logístico Integrado e a importância em verificar e validar esses requisitos no desenvolvimento do projeto para melhorar o custo total do ciclo de vida. No entanto o modelo proposto não apresenta como integrar esses requisitos ao processo de certificação aeronáutica, bem como no gerenciamento do grande conjunto de tarefas que se relacionam.

Capturar e entender todo esse contexto e relacionamento do desenvolvimento da suportabilidade e o processo da certificação é o objeto de estudo dessa pesquisa, tanto na questão do tratamento dos requisitos e tarefas de ambos os processos como no seu gerenciamento integrado.

1.2 Definição do Problema

O problema dessa pesquisa relaciona uma parte dos problemas de suportabilidade e o problema de gerenciamento do desenvolvimento de suporte com os problemas identificados do processo certificação durante o ciclo de vida do produto.

O problema de suporte decorre de fatores que fazem degradar a relação custo-benefício esperada para a fase de operação do produto. E o problema de gerenciamento do desenvolvimento de suporte, acontece por uma série de fatores de entendimento da gestão do processo relacionado as tarefas necessárias para um desempenho satisfatório do projeto.

Uma parte do problema de suporte é quando o produto é entregue ao primeiro cliente imaturo no que se refere ao suporte. Com isso, uma série de problemas são identificados e podem acontecer a qualquer momento, degradando a relação custo-benefício.

O problema da certificação identificado para essa pesquisa é que, os regulamentos aeronáuticos não detalham e não abordam com profundidade elementos que contribuem para que o primeiro produto entregue ao cliente esteja o mais maduro possível do ponto de vista de suporte.

Um dos fatores contribuintes da fragilidade de suporte na fase operacional acontece pela não abrangência dos requisitos de suportabilidade nas fases iniciais do ciclo de vida. A **Figura 3** demonstra na linha 1 que um produto entregue maduro do ponto de vista logístico entra na fase de operação com maior nível nas métricas de RAMS, Confiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança, (do inglês *Reliability, Availability, Maintainability e Safety*) (ABRAHÃO *et al.*, 2019).

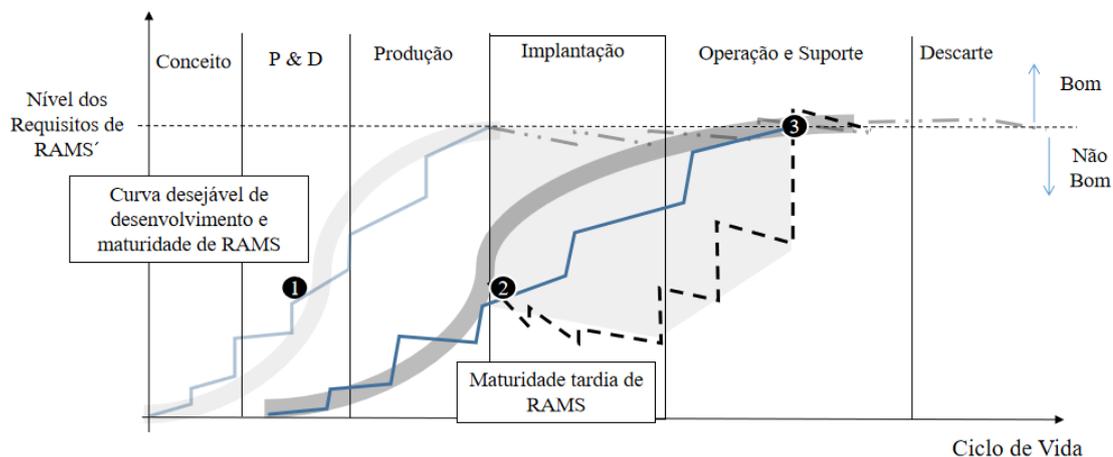


Figura 3 - Desenvolvimento atrasado da suportabilidade, com entrega da primeira aeronave imatura do ponto de vista de sua maturidade de suporte e consequente degradação da relação custo-benefício esperada (Adaptado de ABRAHÃO *et al.*, 2021).

Observa-se na primeira curva que o produto 1 entrará na fase de operação cumprindo com os requisitos de suportabilidade. Já a segunda, apresenta o produto 2 que entrou na fase de operação com pouca ou sem maturidade logística devido ao atraso do desenvolvimento do suporte. A linha pontilhada que finaliza no produto 3 mostra além do atraso, a degradação da suportabilidade ocorrida ocasionando em um produto imaturo e com desempenho ruim nas métricas de RAMS na fase de operação.

1.3 Motivação

A necessidade de resolução dos problemas de suporte evidenciados pelos usuários ao longo do tempo, principalmente em produtos já certificados ou aqueles que almejam adentrar no processo de certificação, é o fator fundamental que motiva a abordagem e pesquisa da união entre o processo de certificação de tipo com o processo de desenvolvimento de suporte.

Explorar conceitos já definidos e utilizados que buscam a melhoria da relação custo-benefício no ciclo de vida, evitar possíveis falhas ou lacunas no processo de certificação no que tange a suportabilidade o aumento da maturidade de suporte e técnicas de gestão de processos durante o desenvolvimento, são os principais fatores a buscar o estado da arte.

O custo do ciclo de vida (do inglês *Life Cycle Cost - LCC*) é um importante fator dentro das fases do ciclo de vida de um sistema complexo (BLANCHARD, 2014). Gerenciar esse fator com o tempo do processo é primordial para garantir níveis satisfatórios de desempenho de um projeto.

Uma boa gestão do projeto durante o desenvolvimento, recursos que evitam a degradação da relação custo-benefício e outros problemas de suportabilidade tanto no processo de certificação como no desenvolvimento de suporte são fatores motivadores dessa pesquisa. A **Figura 4**, do INCOSE (2006), demonstra a relação do valor previsto do orçamento com o valor comprometido no tempo em cada fase do ciclo de vida, bem como a razão do custo de correção de defeito que podem acontecer no mesmo período.

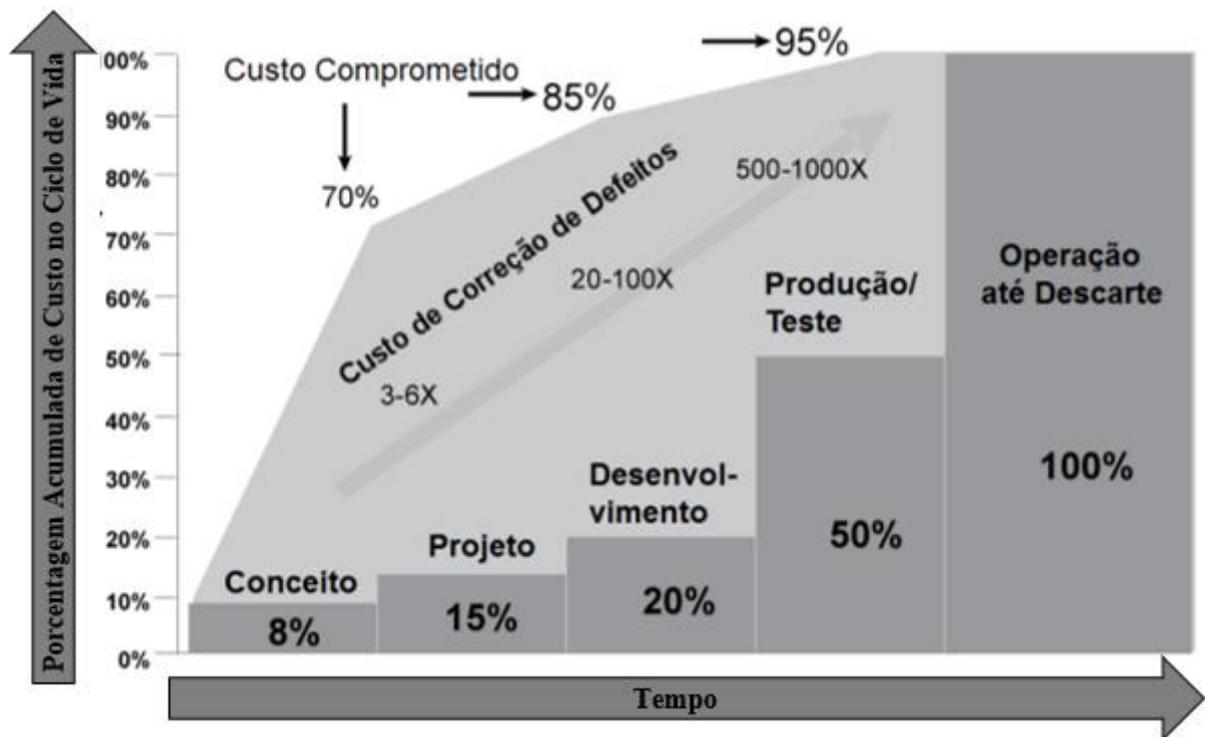


Figura 4 - Custo do ciclo de vida versus tempo (Adaptado de INCOSE, 2006).

A figura mostra a porcentagem acumulada de custo do ciclo de vida no tempo. E por exemplo se não realizar uma tarefa na fase conceitual, o custo de correção para realizar essa tarefa pode ser de três a seis vezes a mais nas próximas fases, e ficará pior se deixar para corrigir o problema na fase de operação, cujo custo poderá ser de quinhentos a mil vezes o valor previsto. Isso mostra a importância do gerenciamento do custo e tempo dentro de um processo de desenvolvimento de sistemas complexos.

A gestão do desenvolvimento da suportabilidade é um desafio de gerenciamento que é necessário para o bom desempenho operacional e econômico do produto. Assim, não capturar na fase conceitual os requisitos e necessidades que afetam a relação custo-benefício no ciclo de vida, pode comprometer o desempenho da operação (ALMEIDA *et al.*, 2021).

O domínio do conceito e das atividades do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto pode fornecer uma série de entregáveis que são essenciais para a captura de requisitos de suporte ao produto (ASD/AIA, 2021).

O Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto foi adaptado para atender às necessidades de desempenho operacional de um produto. Ele deve incluir informações detalhadas para o planejamento, implementação e coordenação dos elementos e suas atividades de modo temporal (ASD/AIA, 2021). Assim resume-se a motivação de explorar a abordagem proposta nas especificações de suporte com as diretrizes, regulamentos e planos do processo de certificação aeronáutica, e que seja adequada ao tipo ou porte do produto.

1.4 Hipótese

Com base na revisão bibliográfica e com o objetivo de iniciar um entendimento dos impactos do conceito de suporte sobre o processo de certificação, uma hipótese foi criada para resolver parte dos problemas de suporte no ambiente de desenvolvimento de uma aeronave.

A hipótese central deste trabalho é que se houver uma análise da combinação do Desenvolvimento do Plano de Suporte Integrado do Produto com o Processo de Certificação Aeronáutica de forma a parametrizar os desempenhos alcançados, então é possível entregar um modelo de gerenciamento que possa prover maior consciência situacional ao gerente do desenvolvimento do produto, possibilitando a prevenção de distorções e atrasos, tanto no processo de desenvolvimento da suportabilidade de um novo produto, quanto em sua certificação.

1.5 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é fazer uma análise combinada do Processo de Certificação Aeronáutica e o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto nas três primeiras fases do ciclo de vida, a conceitual, desenvolvimento e produção, de forma a parametrizar os desempenhos esperados de ambos, com o intuito de identificar os impactos, sinergias e estratégias decorrentes da convergência entre tarefas.

1.5.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral desse trabalho foram traçados os seguintes objetivos específicos:

1. Análise combinada do Processo de Certificação com o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto;
2. Modelagem da avaliação da maturidade de suporte;
3. Integração dos resultados da análise combinada e da modelagem de avaliação da maturidade de suporte com uma ferramenta de gerenciamento de projeto.

1.6 Relevância da Pesquisa

A presente pesquisa tem o intuito de expandir a importância do conceito de suportabilidade concomitante ao processo de certificação da aeronavegabilidade nas fases iniciais do ciclo de vida para reduzir os problemas de suporte na fase de operação do produto.

Assim a relevância é obtida por implementar uma integração de uma especificação bastante utilizada na aviação de defesa em um processo de certificação de tipo utilizado na aviação civil.

Além disso a suportabilidade não é tratada com profundidade nos documentos que regem os processos de Certificação de Tipo. Geralmente, os requisitos de aeronavegabilidade são prioridades para obter a certificação junto a autoridade de aviação, com um viés ao *Safety* (ALMEIDA *et al.*, 2021). Com isso, os problemas de suporte sempre são apontados pelos primeiros usuários do sistema ocasionando assim retrabalhos de engenharia, degradando a prontidão e aumento de custos.

1.7 Delimitação da Pesquisa

O plano do processo de certificação está baseado em um processo de Certificação de Tipo previsto nos regulamentos RBAC 21 e RBAC 23, bem como suas Instruções Suplementares e na Cartilha de Orientação para Certificação de Tipo da ANAC.

O plano do processo da suportabilidade aplicado para a análise de combinação de tarefas com a certificação foi baseado na especificação de Suporte Integrado do Produto.

Na modelagem realizada, a análise de combinação entre os planos será realizada somente nas três primeiras fases do ciclo de vida: a Conceitual, Desenvolvimento e Produção.

1.8 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco Capítulos. O primeiro abordou o contexto do trabalho, e definiu o problema de pesquisa, bem como este trabalho está organizado. O segundo trata da revisão da literatura abordando as principais áreas do conhecimento utilizadas como referencial teórico nesse trabalho. Será apresentado a base conceitual, o estudo do problema e os métodos de solução implementados durante a pesquisa. O terceiro Capítulo descreve a estratégia utilizada para a obtenção dos resultados esperados e conteúdo para as discussões. O quarto Capítulo apresenta a aplicação dos métodos empregados e os respectivos resultados. Apresenta também a discussão a respeito tanto da implementação quanto dos resultados encontrados. O último Capítulo apresenta a contextualização das contribuições do trabalho, suas conclusões e sugere a continuidade de linhas de pesquisas associadas.

2 Revisão Bibliográfica

Esse capítulo descreve as referências bibliográficas utilizadas durante o trabalho bem como as metodologias utilizadas.

2.1 Estudo do Problema de Suporte

2.1.1 A relação da Engenharia de Sistemas com o Suporte e a Certificação

As normas de engenharia de sistemas nasceram e evoluíram através da aviação de defesa, durante e pós segunda guerra mundial, com a MIL-STD-499, devido a necessidade operacional de uma descrição dos parâmetros de desempenho em uma configuração do sistema, por meio do uso de um processo iterativo de definição, síntese, análise, projeto, teste e avaliação, com isso, tornando padrão o arcabouço dessa abordagem na época (MHENNI, 2014).

A **Figura 5**, apresenta como foi essa evolução, desde a norma MIL-STD-499 até a ISO 15288 e o S.E Handbook.

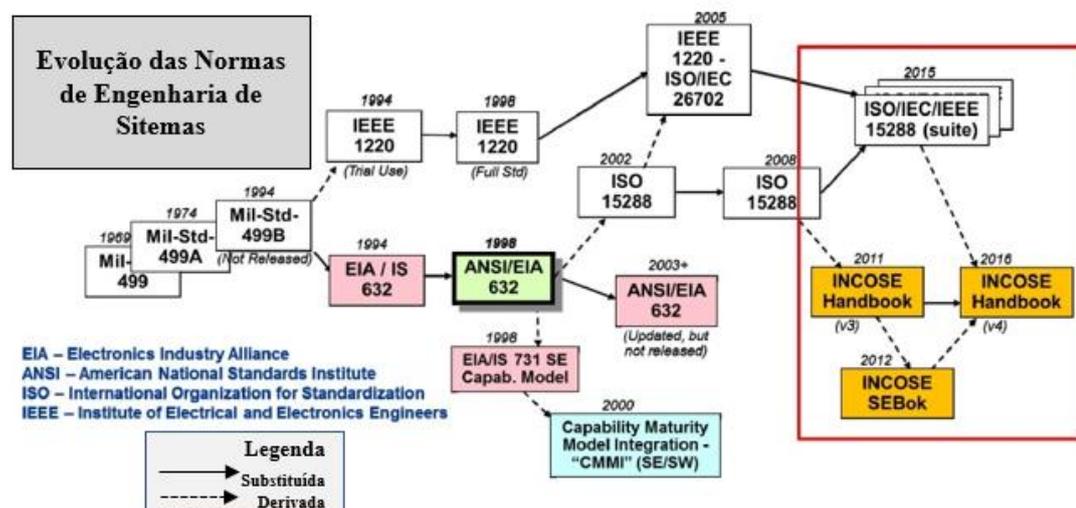


Figura 5 - Evolução das normas de Engenharia de Sistemas (Adaptado de MAASS et al., 2015).

Nesse contexto da evolução, destaca-se a EIA-632 que começou a ser utilizada para programas de certificação da aviação civil. Essa norma trouxe uma organização de sistema, no

qual estabeleceu uma relação entre o sistema e seus produtos viabilizadores e o produto final (ALMEIDA, 2011).

Como uma das principais funções no desenvolvimento de um sistema complexo como a aeronave é prover a segurança, ao longo da história da aviação, surgiram técnicas e especificações da Engenharia de Sistemas como o *System Engineering Handbook*, que incorporou conceitos da ISO 15288 (Engenharia de Sistemas e Software — Processos do ciclo de vida do sistema) e definiu os seus padrões interdisciplinares que contribuíram para uma padronização global nesta área. Essas normas são baseadas na definição das necessidades do cliente e no gerenciamento do projeto desde o início do ciclo de desenvolvimento, documentando os requisitos e, em seguida, procedendo à síntese do projeto e à verificação e validação do sistema. Essa abordagem considera as necessidades comerciais e técnicas de todos os clientes com o objetivo de fornecer um produto de qualidade que atenda às necessidades do usuário (INCOSE, 2006).

Na sua concepção, realizada pelos setores de defesa, a abordagem de Engenharia de Sistemas veio com a necessidade de estruturar e resolver as soluções para atender as necessidades de diversos tipos de usuários. Mas para isso, é preciso entender a lógica por trás, as diferentes etapas do ciclo de vida, o conceito de função, os modos de verificação e validação de cada área que é abordada e o que não aborda com um nível de detalhe necessário para o desenvolvimento do sistema.

No Brasil, especificamente no INPE, um resultado do esforço de treinamento em Engenharia de Sistemas foi a dissertação de mestrado “Engenharia de Sistemas: Planejamento e Controle de Projetos”, a primeira publicação original em língua portuguesa nessa área (PULCHÉRIO *et al.*, 1971). Publicada em 1971, essa dissertação foi posteriormente publicada como livro, com o mesmo título, com edições nos anos 1972, 1973 e 1976 (MENDONÇA, 1972).

Uma estruturação do desenvolvimento baseado na engenharia de sistemas consegue atingir todas as camadas necessárias para o desenvolvimento de uma solução. No entanto, a partir de um certo nível ou camada do desenvolvimento, sua aplicação vai depender da maturidade de desenvolvimento da empresa em especificar seus próprios processos. Com isso foram necessárias outras especificações e normas que possam complementar os processos da engenharia de sistemas como uma forma de descer as camadas, assim aprofundando nas funções e tarefas específicas de um determinado subsistema.

2.1.2 A relação entre a Engenharia de Sistemas e o Suporte

Com o objetivo de encontrar a solução com uma boa relação custo-benefício, as atividades de suporte convergem com a abordagem de engenharia de sistemas para fornecer suporte ao produto, tanto na parte de gerenciamento do projeto como em um contexto geral do processo de suporte, e assim, atender aos requisitos de desempenho esperado para a fase operacional (ASD/AIA, 2021).

Tabela 1 - Interface entre processos de engenharia de sistema e tarefas de Suporte (Adaptado pelo autor, ASD/AIA, 2023).

Processo de Engenharia de Sistemas	Tarefas do processo de Suportabilidade
Processo de planejamento do projeto	Plano de Gerenciamento da Engenharia de Sistemas (SEMP), Plano de Suporte Integrado do Produto
Processo de definição de requisitos das partes interessadas	Conceito de operações, conceito de suporte, conceito de descarte, análise de cenários
Processo de análise de requisitos	Estudo de viabilidade, cenário e análise hipotética, requisitos de suporte, saúde e segurança, requisitos de engenharia de fatores humanos (HFE)/integração de sistemas humanos (HSI)
Processo arquitetura do projeto	Estudos comerciais, análise de sensibilidade, análise de risco, requisitos de elementos do produto, medidas de desempenho técnico, Análise de Custo do Ciclo de Vida (LCCA), análise preliminar de segurança e saúde
Processo de implementação	Realização de produtos IPS na hierarquia de elementos como embalagem, treinamento, documentação eletrônica, procedimentos de suporte de suprimentos e acordos da cadeia de suprimentos, LSA, análise de custo-efetividade, LCCA, riscos de segurança e saúde, fatores humanos
Processo de integração	Disponibilidade inerente, realização de produtos IPS ou produto total como embalagem, treinamento, documentação eletrônica, procedimentos de suporte de suprimentos e acordos da cadeia de suprimentos, LSA, análise de custo-efetividade, LCCA, riscos de saúde e segurança, análise de necessidades de treinamento, fatores humanos
Processo de verificação	Verificação de requisitos de suporte e produtos de acordo com a especificação
Processo de transição	Produtos de suporte finalizados e prontos para uso
Processo de validação	Disponibilidade medida, verificação dos requisitos de suporte e produtos de acordo com os requisitos das partes interessadas
Processo de operação	Disponibilidade operacional, manutenção de serviço e uso, suporte operacional, manutenção de medidas de monitoramento e segurança
Processo de manutenção	Capacidade do produto, serviços de substituição, suporte, sustentando medidas de monitoramento e segurança
Processo de descarte	Conceito de descarte, material perigoso, riscos remanescentes

A **Tabela 1** apresenta uma interface entre os processos de engenharia de sistemas com as tarefas do desenvolvimento de suporte. Um exemplo desse relacionamento está no item:

Processo de Manutenção, que tem influência não só na suportabilidade como também na aeronavegabilidade (ASD/AIA). O Plano de Gerenciamento da Engenharia de Sistemas – SEMP por exemplo, que é um entregável da primeira fase do processo, aborda as tarefas de suporte do sistema de forma abrangente, com isso mostrando a necessidade de interface com a especificação de suporte.

Outra tarefa importante de suporte apresentada na **Tabela 1** é a Análise do Custo do Ciclo de Vida, pois ela se relaciona com outras atividades em todas as fases do desenvolvimento e é crucial para um bom desempenho do ponto de vista de suporte.

2.1.3 A relação entre a Engenharia de Sistemas e a Certificação Aeronáutica

As aeronaves e demais sistemas aeroespaciais são considerados sistemas complexos e seu desenvolvimento depende de muitos fatores, cumprimento de numerosos requisitos, condições e recursos para que possam operar de forma segura. Esses sistemas são altamente regulados no que tange a segurança da operação, ou seja, só é possível voar de forma regular após uma verificação e validação de um órgão regulador.

Um meio de considerar as soluções e necessidades dos usuários no ciclo de vida desses sistemas complexos é através da Engenharia de Sistemas. As principais referências da engenharia de sistemas são a norma ISO 15288 (*Systems Engineering – System life cycle processes*) e o INCOSE, *Systems Engineering Handbook*. Outras normas também são utilizadas, como a MIL-STD-882E (*System Safety*) e a EIA-632 (*Processes for Engineering a System*).

Regulamentos como o RBAC 25, que descreve os requisitos de aeronavegabilidade para aeronaves da categoria transporte, e o RBAC 23, que prevê os requisitos de aeronavegabilidade para a aeronaves da categoria normal, se relacionam com as normatizações de *Safety* para equipamentos e sistemas da aeronave (INCOSE, 2006).

Com isso a SAE e a RTCA, em conjunto com a indústria e autoridades de aviação civil, desenvolveram normas e diretrizes mais prescritivas como um meio aceitável de cumprimento, como é o caso da ARP-4761, ARP-4754A, DO-297, DO-178C, DO-254A, e DO-160G. A **Figura 6** apresenta como é o relacionamento dessas normas no desenvolvimento de um projeto aeronáutico (TRIVELATO *et al.*, 2011).

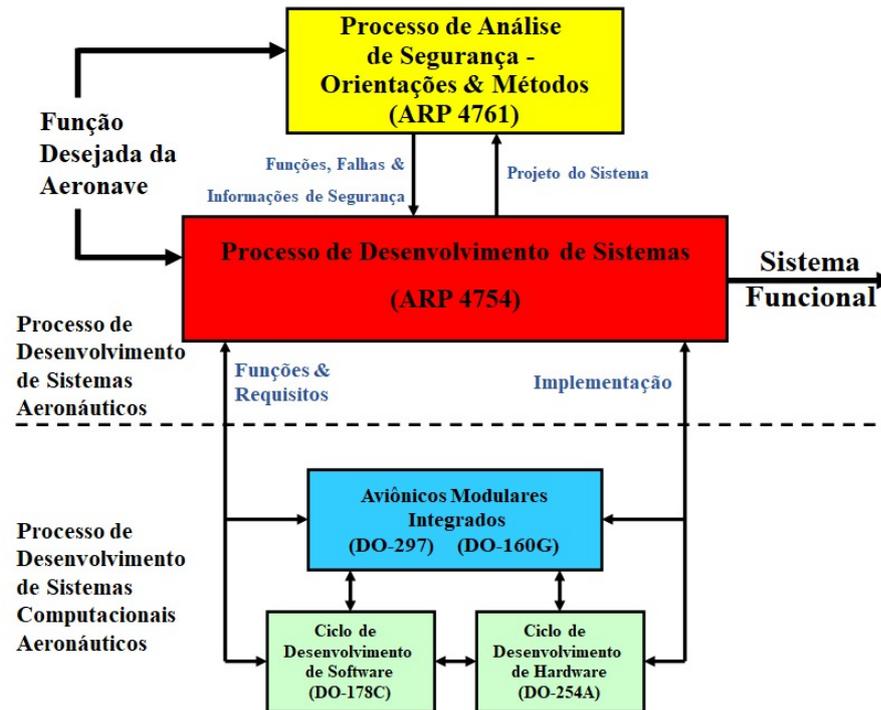


Figura 6 - Interação das normas de *Safety* para Aeronaves (adaptado de TRIVELATO *et al.*, 2011).

A ARP4754A tem em seu escopo a determinação das funções para cada sistema e subsistemas, para que assim possa implementar os recursos de *Safety*, bem como realizar a verificação e validação no ciclo de vida de desenvolvimento do sistema ou da aeronave. A **Figura 7** apresenta o processo do ciclo de vida do desenvolvimento de sistemas aeronáuticos (SAE, 2010).

O processo de desenvolvimento da ARP 4754A descreve alguns fatores relacionados a suportabilidade de um produto para a fase operacional. Essa descreve por exemplo que os requisitos funcionais, dentre eles, os requisitos de manutenibilidade, requisitos operacionais, Requisitos Físicos e de Instalação, são essenciais para um bom desempenho na fase de operação (SAE, 2010).

No entanto, a norma descreve que a abordagem desses requisitos é para funções relacionadas ao *Safety*. Um exemplo desse fato é a relação dos requisitos de manutenção atrelados ao *Instruction Continued Airworthiness* – ICA, que é um entregável do RBAC 23 e o RBAC 25. Além disso, não prescreve detalhadamente para o viés de suporte relacionado a outros fatores como disponibilidade e custos.

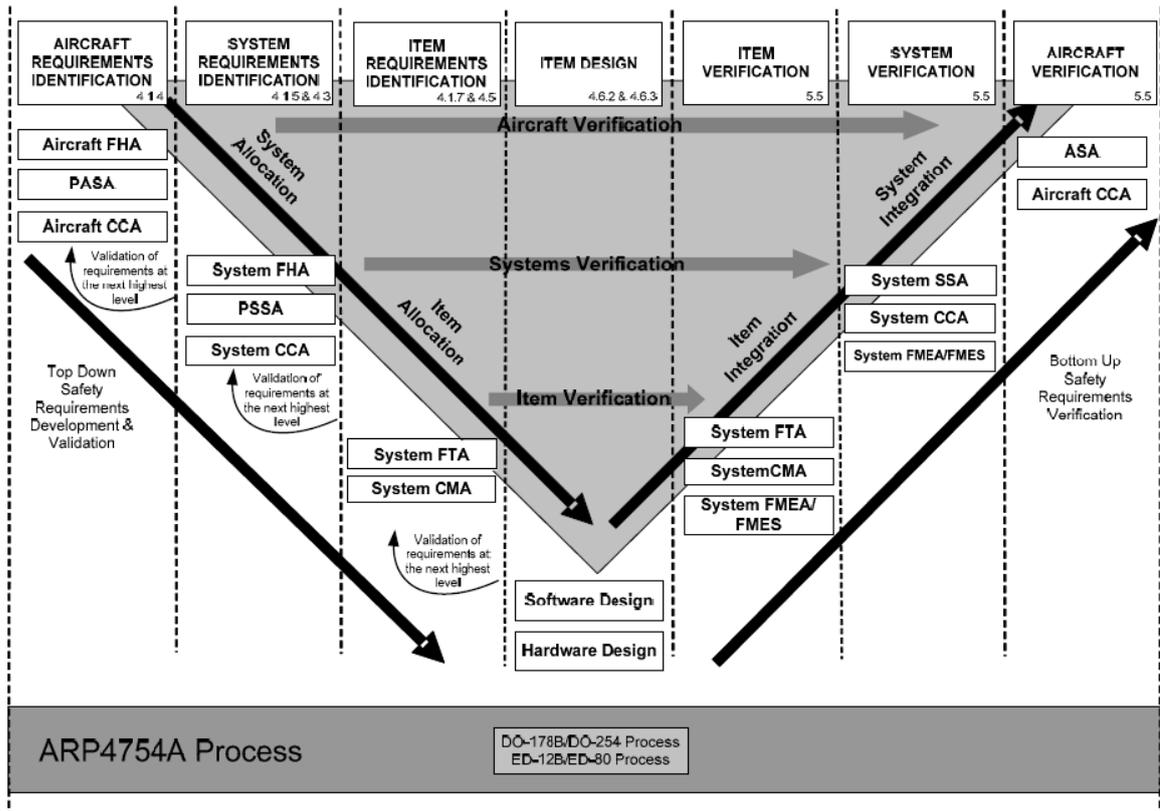


Figura 7 - Interação entre *Safety* e o Processo de Desenvolvimento (ARP-4754A, 2010).

O RBAC 23, FAR 23 e o CS 23, em suas subpartes de número 23.1309, descreve os meios de cumprimentos dos requisitos para *Safety* de sistemas e equipamentos instalados na aeronave. A Circular de Instrução 23.1309 (do inglês *Advisor Circular - AC 23.1309*) detalha em formato de guia o cumprimento desses requisitos (FAA, 2011). Essa AC descreve como normas de apoio a ARP 4754A e ARP 4761, RTCA/DO-178C e RTCA/DO-254.

Algumas saídas desses requisitos são convergentes aos do conceito de suporte, no qual a partir da função, se verifica a necessidade da análise de probabilidade de falhas, causas e efeitos de cada equipamento, componente ou sistema da aeronave.

A Autoridade de Aviação Civil da União Europeia, descreve o relacionamento do ciclo de desenvolvimento de um produto em paralelo ao processo de certificação e aprovação de uma organização de Design. Foi enfatizado a importância do Conceito de Operação - CONOPS no início do desenvolvimento, conforme também abordado no *System Engineering Handbook*, bem como outras atividades de captura dos requisitos antes da aplicação do processo de Certificação de Tipo (EASA, 2023).

2.1.4 Fases do Ciclo de Vida de Sistemas

Outro fator a se considerar na integração entre a engenharia de sistemas, a certificação, a suportabilidade e o desenvolvimento de projeto, é a estrutura organizacional do ciclo de vida. As terminologias são semelhantes e podem até ter processos e tarefas que se relacionam, mas cada uma tem a sua finalidade no projeto.

A **Figura 8** apresenta uma comparação das fases do processo de certificação com as fases do ciclo de vida da suportabilidade, Fases do ciclo de vida da Engenharia de Sistemas e as Fases do ciclo de vida de desenvolvimento de projeto.

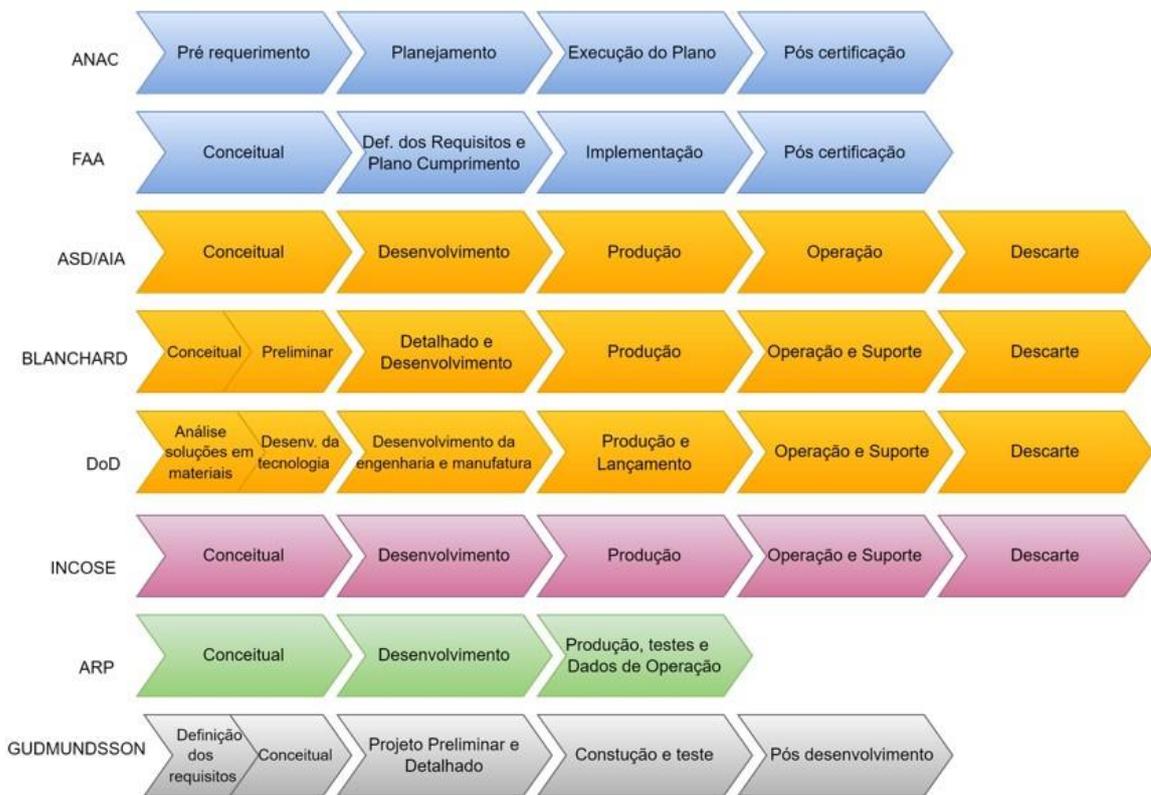


Figura 8 - Comparação das fases do processo de Certificação de Tipo x Fases do ciclo de vida da suportabilidade x Fases do ciclo de vida da Engenharia de Sistemas x Fases do ciclo de vida de desenvolvimento de projeto (Autor, 2023).

Os ciclos do processo da Certificação de Tipo da ANAC e FAA na cor azul são semelhantes, inclusive nas atividades, pois possuem acordo bilateral (ANAC, 2019 e FAA, 2017). Já as fases de suporte, em laranja, têm as terminologias parecidas com a certificação, no entanto as atividades são voltadas aos requisitos de suportabilidade (ASD/AIA, 2021,

BLANCHARD 1999 e DoD, 2005). O ciclo da Engenharia de Sistemas, na cor lilás, contém terminologias parecidas e algumas atividades relacionadas diretamente com as das fases de suporte (INCOSE, 2006). O ciclo de vida proposto pela ARP-4754A, em verde, usa terminologias próximas ao de Engenharia de Sistemas e do Suporte Integrado do Produto, porém com o viés para *Safety*, e é utilizado como uma diretriz recomendada ao processo de certificação (SAE, 2010). As fases propostas pelo (GUDMUNSSON, 2014), na cor cinza, apresenta o ciclo de vida para o desenvolvimento do projeto de uma aeronave. Ele pode se relacionar com todos os outros e a certificação, nesse caso, é obrigatória para a validação da aeronavegabilidade do produto.

No *Order 8110.4* da FAA, demonstra como são os relacionamentos entre as fases do processo de certificação com as fases típicas de desenvolvimento do projeto. Além disso, apresenta como a autoridade enfatiza a importância de capturar os requisitos de aeronavegabilidade logo no início do projeto (FAA, 2017).

Para esse trabalho, as fases do ciclo de vida são definidas como: Conceitual, Desenvolvimento, Produção, Operação e Descarte, no intuito de padronizar a terminologia em toda a análise e implementação dos métodos.

A **Figura 9**, apresenta como os requisitos de suportabilidade poderiam ser abordados no ciclo de vida pelo menos concomitante ao processo de certificação de tipo.

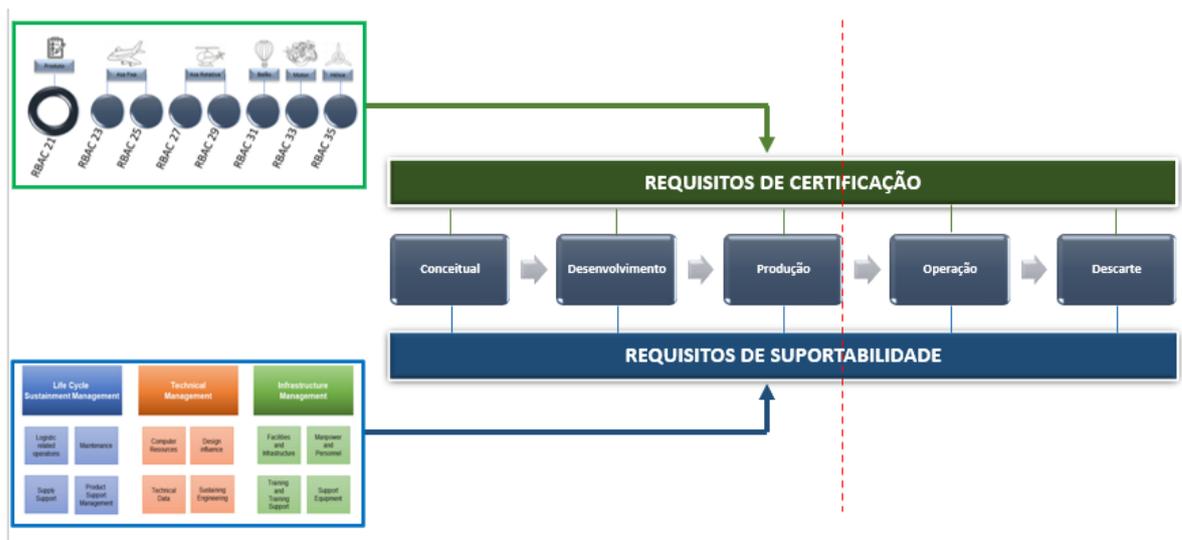


Figura 9 - Influência dos Requisitos de Suportabilidade e Aeronavegabilidade nas fases do ciclo de vida de uma aeronave (Adaptado de ALMEIDA, 2021).

O conjunto de requisitos de certificação e suportabilidade entram no ciclo de vida da aeronave para cumprir o requerido no fator de segurança e desempenho operacional. A linha

tracejada em vermelho mostra a limitação do estudo dessa pesquisa, ou seja, apenas das fases conceitual, desenvolvimento e produção. O motivo dessa limitação é que após a fase de produção, o produto já está em condições de adentrar na fase de operação.

2.2 Os problemas de suporte e certificação

Os principais motivos que degradam o sistema no tempo são: mudança do conceito de operação, mudança do ambiente operacional, treinamento inadequado, programa de manutenção inadequado e baixa confiabilidade, testes e análises de projeto ineficientes, falta de compreensão dos softwares, mudança de fornecedores, controle de configuração ruim, problemas de fabricação e problemas de gerenciamento e custos (DoD, 2005)

No baixo desempenho das métricas de RAMS acontece uma tendência de deslocamento da curva de maturidade de suporte para a direita, isso devido ao atraso ou não realização de tarefas logísticas. Exemplos de sistemas com problemas de suporte são o Rockwell B-1B e o bombardeiro Convair B-58 Hustler. O primeiro, com problemas de Confiabilidade e Manutenibilidade, resultou em baixa Disponibilidade e grande quantidade de homem hora de manutenção por hora de voo até atingir a maturidade. O segundo, um sistema complexo em termos de suporte que nunca atingiu o nível de maturidade logística esperada durante sua fase operacional. (OLIVEIRA, 2022)

Geralmente os fabricantes e projetistas priorizam uma maior alocação de recursos financeiros no processo de certificação da aeronavegabilidade no intuito de reduzir o tempo do processo. Esse fato garantirá o fator *Safety*, no entanto isso aumenta a probabilidade de problemas de suporte no decorrer do ciclo de vida, principalmente na fase de operação. Além disso, os requisitos de aeronavegabilidade não priorizam fatores como o custo do ciclo de vida na fase de operação e elementos que contribuem para um bom desempenho do ponto de vista de suporte. (ALMEIDA *et al.*, 2021)

O problema de suporte pode se tornar ainda mais grave quando se trata de aeronaves com muitos ciclos diários, como é o caso de companhias aéreas, táxis aéreos, serviços especializados como a agrícola, e escolas de treinamentos de pilotos. Com esse problema, a relação custo e tempo se transforma em gargalos que poderiam ser evitados, tanto por parte de quem fabrica, utilizando métodos do conceito de suporte mais robustos, como por parte de quem compra, analisando com um crivo mais eficiente no processo de aquisição. (ALMEIDA *et al.*, 2021)

Dessa forma, somente os requisitos de aeronavegabilidade, com um dos seus principais elementos, a Instrução de Aeronavegabilidade Continuada, do inglês *Instruction Continued Airworthiness - ICA*, previsto no apêndice A do RBAC 23, podem não ser capazes de garantir uma maturidade do ponto de vista de suporte ao primeiro produto entregue ao cliente, uma vez que a ICA prioriza em sua maior parte o conceito de *Safety*, conforme ilustrado na **Figura 10** (PETROV, 2014).

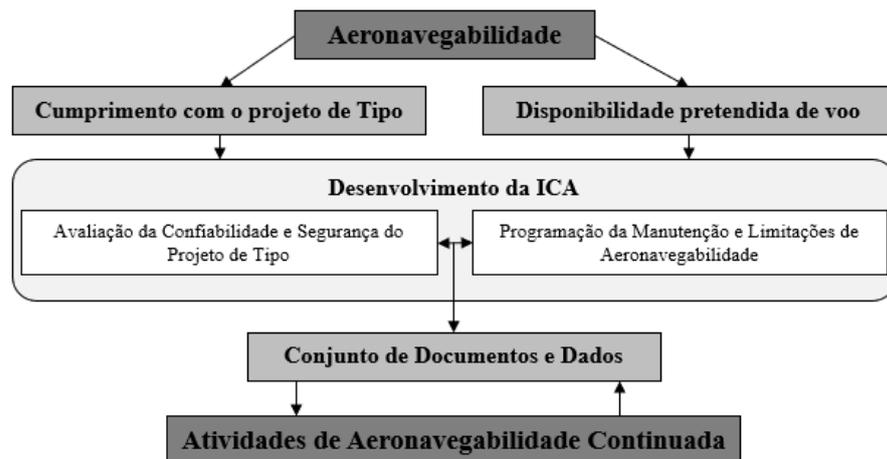


Figura 10 - Procedimento de Aeronavegabilidade da Aeronave (Adaptado de PETROV, 2014).

Observa-se que com a aeronavegabilidade no processo de certificação de tipo, o fator *Safety* prevalece e entrega recursos durante o processo com itens direcionados ao produto e, após, voltado ao continuamento da aeronavegabilidade, como exemplo a ICA, entregando itens como manuais, planos de manutenção preventiva, instruções de manutenção, publicações técnicas e as limitações de aeronavegabilidade.

No site da ANAC (<https://sistemas.anac.gov.br/certificacao/DA/DA.asp>), mais especificamente na página de Diretrizes de Aeronavegabilidade - DA, é possível constatar diversos problemas nos mais variados sistemas e componentes de todas as aeronaves certificadas em operação no Brasil desde o ano de 1975 até 2023. A DA é um documento emitido pelas autoridades de aviação civil com caráter de cumprimento obrigatório que tem por objetivo eliminar uma condição insegura existente em um produto aeronáutico, com probabilidade de existir ou de se desenvolver em outros produtos do mesmo projeto de tipo. Mesmo se tratando de um documento relacionado ao fator *Safety*, afeta direta ou indiretamente

outros fatores da suportabilidade, como a baixa prontidão e custos devidos as paradas para manutenções corretivas (ANAC, 2023).

A **Figura 11** apresenta o local de busca de todas as DA emitidas pela ANAC e pelo Departamento de Aviação Civil - DAC desde 1975 até 2023, podendo filtrar pelo fabricante da aeronave.

The screenshot shows the ANAC website interface for searching Brazilian Airworthiness Directives (DA). The page title is 'Diretrizes de Aeronavegabilidade Brasileiras (DA)'. There is a search bar with an 'Ok' button. Below the search bar, there are three options for filtering the results: 'Listadas por Fabricante / Modelo:', 'Listadas por Número de Diretriz:', and 'Listadas por Número de Emenda:'. A dropdown menu is open under the first option, showing a list of manufacturers and model ranges. The dropdown menu is currently showing 'Fabricantes' as the selected option. Below the search bar, there is a note: 'Obs: A informação é pesquisada nos seguintes campos: Número da DA, Fabricante e Assunto. Ela será pesquisada exatamente como for digitada.' Below the search bar, there is a section titled 'Lista das DA Brasileiras efetivas' with a list of filters: 'DA de Emergência Brasileira emitidas / revisadas nas últimas 2 semanas', 'DA Brasileiras emitidas / revisadas nas últimas 2 semanas', and 'DA Brasileira Quinzenal'. Below the search bar, there is a section titled 'Acesso Rápido' with a list of filters: 'DA de Emergência Brasileira emitidas / revisadas nas últimas 2 semanas', 'DA Brasileiras emitidas / revisadas nas últimas 2 semanas', and 'DA Brasileira Quinzenal'. Below the search bar, there is a note: 'Obs: Todas as listagens são classificadas por Data de Efetividade decrescente'. Below the search bar, there is a footer: 'Última atualização: 06 jul. 2023'.

Figura 11 – Página de Diretrizes de Aeronavegabilidade Brasileiras (ANAC, 2023).

2.3 Estudo do Desenvolvimento de Suporte Integrado do Produto

Com o aumento do uso do transporte aéreo por diversos fins e tipos de usuários, tanto civil como militar, tornaram-se necessários outros fatores além do *Safety*. Requisitos como o de disponibilidade e manutenibilidade tornaram-se tão importantes quanto o *Safety*, para garantir a boa relação custo-benefício principalmente na fase de operação. A especificação Suporte Integrado do Produto é empregada em sistemas complexos pois possui recursos que elevam o nível da maturidade de suporte ao produto (ABRAHÃO *et al.*, 2019 e ALMEIDA *et al.*, 2021).

A especificação Suporte Integrado do Produto foi desenvolvida pela *Aerospace and Defense Industries Association of Europe (ASD)* e pela *Aerospace Industries Association of America (AIA)* e pode ser utilizada por todos os membros ou instituições de pesquisa, para sistemas complexos em quaisquer fases do ciclo de vida (ASD/AIA, 2021).

O *Department of Defense* (DoD) e a *Defense Acquisition University* (DAU) também possui uma abordagem de Suporte Integrado do Produto com *Guidebooks* e outras ferramentas específicas para o desenvolvimento do conceito de suporte para qualquer sistema complexo.

Outra terminologia do conceito de suporte é definida por Blanchard (2014) como Suporte Logístico Integrado – ILS (do inglês *Integrated Logistic Support*), que descreve a importância dos requisitos e elementos de suporte no gerenciamento do desenvolvimento do ciclo de vida de um produto.

O processo de desenvolvimento de suporte apresenta uma interface de tarefas-chaves com os elementos necessários, como o Gerenciamento de Suporte do Produto e o Influência no Design, que atuam como base para a fluidez e feedbacks com os outros elementos dentro das fases do ciclo de vida (ASD/AIA, 2021).

As Fases do Ciclo de Vida do Suporte Integrado do Produto são sequenciais e distintas. Essas fases fornecem à organização uma estrutura com marcos de decisão e garantem visibilidade e controle de alto nível do projeto e dos processos de desenvolvimento do suporte. No entanto, geralmente as fases se sobrepõem devido a necessidades operacionais ou organizacionais. Essa estruturação e organização das fases depende muitas vezes do porte da empresa e a complexidade do produto (ASD/AIA, 2021).

Abaixo é listado e descrito as principais atividades de cada fase do ciclo de vida do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto.

I. Fase Conceitual:

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

II. Desenvolvimento

- Estudos detalhados da suportabilidade, direcionados para sua modelagem e análise de relações custo-benefício entre diferentes estratégias e alternativas de suportabilidade;
- Estudos e participação na seleção de equipamentos e fornecedores;
- Desenvolver as primeiras previsões sobre métricas de confiabilidade,

disponibilidade, manutenibilidade e testabilidade;

- Participação efetiva no desenvolvimento, testes e avaliações dos modelos de engenharia e protótipos.

III. Produção

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

IV. Operação

- Utilização do produto: Operar os produtos;
- Entregar os serviços necessários com operação contínua e eficácia nos custos;
- Avaliar e decidir sobre modificações e atualizações;
- Avaliar continuamente a eficácia e eficiência do produto;
- Suporte ao produto: fornecer suporte que permita a operação contínua do produto e serviço sustentável – Implementar modificações e atualizações.

V. Descarte

- Desmilitarizar (se aplicável);
- Descartar o produto de acordo com todas as normas, requisitos e política relacionadas à segurança (incluindo segurança de explosivos), segurança e meio ambiente – remover serviços de suporte.

2.3.1 Elementos de suporte logístico

No Desenvolvimento de Suporte Integrado do Produto, os elementos de suporte logístico são divididos em três grupos. A **Figura 12** apresenta como os grupos e elementos são divididos e relacionados (ASD/AIA, 2021).

O primeiro, denominado Gerenciamento Sustentável do Ciclo de Vida, relaciona os elementos de Operações logísticas, Manutenção, Suporte de Suprimentos e Gerenciamento de Suporte do Produto.

O segundo grupo, atribui um conjunto de elementos de Gerenciamento Técnico, com o Recurso Computacional, Influencia no Design, Dados Técnicos e Engenharia de Suporte Continuado.

E por fim, o terceiro grupo descreve o Gerenciamento de Infraestrutura, com os elementos Infraestrutura e Instalações, Mão de Obra, Treinamentos e Ferramental.



Figura 12 - Visão Geral dos elementos necessários para o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto (adaptado de ASD/AIA, 2021).

Cada elemento possui suas entradas, tarefas e saídas correlacionadas entre si que garantem um gerenciamento das necessidades do sistema com a finalidade de antecipar possíveis problemas, além de implementar soluções que aumentem o desempenho logístico e melhore o custo-benefício (ASD/AIA, 2021).

2.3.2 Operações Logísticas

O elemento de Operações Logísticas abrange tarefas que não podem ser atribuídas a uma área de manutenção de um Produto. No entanto, essas tarefas podem ser importantes para o uso adequado do produto. Para isso é realizada uma análise das operações relacionadas ao suporte. Esta análise inclui a identificação de tarefas relacionadas e requisitos relativos a pessoal, equipamentos de suporte, consumíveis, peças de reposição, instalações, documentação técnica e treinamento (ASD/AIA, 2021).

Esse elemento possui três atividades principais, cada uma com uma saída, conforme listado a seguir:

- Analisar aspectos de manuseio e uso;
- Analisar requisitos de embalagem, manuseio, armazenamento e transporte;
- Executar operações relacionadas à logística.

2.3.3 Manutenção

O elemento de Manutenção estabelece conceitos e requisitos de manutenção para o ciclo de vida do Produto. Este elemento tem um grande impacto no planejamento, desenvolvimento e aquisição de outros elementos de suporte ao produto.

Esse elemento define as tarefas de reparo, manutenção, cronograma e recursos necessários para cuidar e manter um sistema, além de definir as ações e o suporte necessários com o objetivo de atingir bons resultados da Disponibilidade Operacional do sistema (DAU, 2021).

Os objetivos da manutenção são identificar, planejar, fornecer recursos e implementar conceitos e requisitos de manutenção, bem como executar a manutenção para garantir que o produto esteja disponível a um custo acessível (ASD/AIA, 2021).

Esse elemento possui dez atividades a serem realizadas, conforme listado a seguir.

- Desenvolver o conceito de manutenção;
- Desenvolver plano de manutenção;
- Desenvolver requisitos de tarefas de manutenção preventiva;
- Executar atividades de manutenção;
- Realizar diagnósticos, prognósticos e análise de gerenciamento de saúde;
- Executar nível de análise de reparo;
- Realizar análise de tarefas de manutenção;
- Realizar a otimização da manutenção em serviço;
- Realizar análise de suporte de software;
- Realizar análise de segurança de suportabilidade.

2.3.4 Gerenciamento de Suporte ao Produto

O principal objetivo do elemento de Gerenciamento de Suporte ao Produto é planejar e gerenciar os custos e o desempenho em todas as atividades de suporte ao produto, desde o projeto até o descarte (DAU, 2021).

O elemento de Gerenciamento de Suporte ao Produto consiste em preparar o conceito de suporte desde o início do ciclo de vida, através do plano de Suporte Integrado do Produto. Para isso, são necessárias a realização de oito atividades, conforme listado a seguir (ASD/AIA, 2021).

- Analisar alternativas;

- Desenvolver o plano integrado de suporte ao produto;
- Documentar as lições aprendidas;
- Gerenciar configuração;
- Gerenciar contrato;
- Gerenciar frota;
- Gerenciar atividades de suporte em serviço;
- Fazer o gerenciamento de obsolescência.

2.3.5 Suprimentos

Os objetivos do elemento de Suprimentos são identificar, planejar, fornecer recursos e implementar ações de gerenciamento para adquirir peças de reposição, sobressalentes e todas as classes de suprimentos para garantir a disponibilidade com o menor custo possível (ASD/AIA, 2021).

Esse elemento descreve tarefas, procedimentos e técnicas de gerenciamento para determinar os requisitos de aquisição, catalogar, receber, armazenar, transferir, emitir e descartar sobressalentes e peças de reposição. Isso significa ter as peças sobressalentes, peças de reparo e todas os recursos de suprimentos disponíveis, nas quantidades certas, no lugar certo, na hora certa, e um bom custo-benefício (DAU, 2021).

Com isso, são necessárias a realização de quatro atividades, conforme listado a abaixo.

- Gerenciar estoques;
- Gerenciar garantia;
- Realizar abastecimento de material;
- Fornecer dados de provisionamento.

2.3.6 Recursos Computacionais

Os objetivos do elemento Recursos de Computacionais são identificar, planejar os recursos necessários para o gerenciamento de sistemas. Os recursos desse elemento abrangem as instalações, hardware, software, documentação, mão de obra e pessoal necessários para operar e dar suporte a sistemas de uma missão. Este elemento inclui três atividades, conforme listado abaixo (ASD/AIA, 2021).

- Gerenciar os recursos computacionais para o programa;
- Realizar análise dos recursos de computacionais;

- Fornecer os recursos computacionais.

2.3.7 Influência no Projeto

O elemento de Influência no Projeto tem uma interface com os processos de engenharia de sistemas para influenciar o desenvolvimento do projeto desde o início do ciclo de vida do produto, para facilitar a capacidade de suporte e melhorar a disponibilidade e a relação custo-benefício (ASD/AIA, 2021).

Esse elemento está alinhado com os processos de engenharia de sistemas para estruturar o projeto desde o início ao longo do ciclo de vida, facilitando a capacidade de suporte para aumentar a disponibilidade e a relação custo-benefício durante o desenvolvimento (DAU, 2021).

Esse elemento se integra com as características quantitativas do design da engenharia de sistemas, por exemplo, o RAMCT (*Reliability, Availability, Maintainability, Capability e Testability*), a capacidade de suporte, a acessibilidade, com os outros elementos de suporte. Assim, os requisitos de suporte ao produto são derivados para garantir que o produto atenda às suas metas de disponibilidade e que os custos de suporte do produto sejam gerenciados. Para isso, três atividades são realizadas, conforme listado abaixo (ASD/AIA, 2021).

- Realizar análise de custo do ciclo de vida;
- Realizar análise de suporte ao produto;
- Realizar análise de engenharia de suporte.

2.3.8 Engenharia de Suporte Continuado

O elemento de Engenharia de Suporte Continuado oferece suporte ao produto em seu ambiente operacional. Esta atividade inclui as tarefas técnicas, como por exemplo, investigações e análises de engenharia e suporte, que garantem a operação e manutenção contínuas de um produto até o seu descarte. Além disso, inclui a implementação de ações corretivas selecionadas para incluir processos de configuração ou manutenção e o monitoramento das principais métricas de integridade logística (ASD/AIA, 2021).

Esse elemento abrange tarefas técnicas de investigações e análises de engenharia logística para garantir a operação e manutenção de um sistema, com um controle total dos riscos. Além disso, envolve a identificação, revisão, avaliação e resolução de problemas ao longo do ciclo de vida de um sistema (DAU, 2021).

Com isso, esse elemento recomenda quatro atividades, conforme listado a seguir.

- Desenvolver e fornecer disposição de engenharia e recomendar as mudanças no design;
- Avaliar a adequação operacional;
- Gerenciar o descarte;
- Realizar análise técnica de engenharia.

2.3.9 Dados Técnicos

O elemento de Dados Técnicos é o conjunto de informações registradas, independente da forma ou método de registro, de natureza científica ou técnica, incluindo toda a documentação, como relatórios e dados obtidos. Os objetivos deste elemento são identificar, planejar, desenvolver, produzir e manter a integridade das publicações técnicas e documentos associados ao ciclo de vida (ASD/AIA, 2021).

Esse elemento representa as informações registradas de natureza científica ou técnica, como manuais técnicos de equipamentos e desenhos de engenharia, dados de engenharia, especificações, procedimentos e descrições de itens de dados. (DAU, 2021)

Nesse elemento, são realizadas duas atividades, conforme listado abaixo.

- Desenvolver pacote de dados técnicos;
- Produzir publicações técnicas.

2.3.10 Infraestrutura e Instalações

O elemento de Infraestrutura e Instalações consiste nos ativos e recursos móveis necessários para integrar, dar suporte e operar um produto. Inclui estudos para definir tipos de instalações, por exemplo, de treinamento, armazenamento de equipamentos, manutenção, armazenamento de suprimentos, produtos perigosos, armazenamento, sistemas de hardware/software, dentre outros (ASD/AIA, 2021).

Com isso, esse elemento recomenda duas atividades, conforme listado a seguir.

- Realizar instalações e infraestrutura;
- Fornecer instalações e infraestrutura.

2.3.11 Mão de Obra

O objetivo do elemento de Mão de Obra é fornecer recursos para identificar, planejar e manter o recurso humano que garantam as qualificações e habilidades necessárias para as atividades de suporte ao longo do ciclo de vida (ASD/AIA, 2021).

É essencial identificar no início do ciclo de vida e planejar a contratação de pessoal com as habilidades e capacitações necessárias para operar, manter e dar suporte aos sistemas ao longo de sua vida útil (DAU, 2021).

Esse elemento recomenda apenas uma tarefa, conforme listado abaixo.

- Realizar análise de mão de obra;

2.3.12 Ferramental

Os objetivos do elemento Ferramental, ou Equipamento de Suporte, são identificar, planejar, garantir recursos e implementar ações de gerenciamento para adquirir e apoiar o ferramental, móvel ou fixo, necessário para sustentar a operação e manutenção para garantir que o produto esteja sempre disponível a um custo minimizado (ASD/AIA, 2021).

Com isso, esse elemento recomenda duas atividades, conforme listado a seguir.

- Analisar os requisitos de equipamentos de suporte;
- Fornecer equipamentos de suporte.

2.3.13 Treinamento

O elemento de Treinamento tem os objetivos de identificar, planejar, implementar uma estratégia de treinamento e treinar a equipe de suporte, além de manter e dar suporte ao produto durante todo o seu ciclo de vida para garantir o desempenho e prontidão (ASD/AIA, 2021).

Nesse elemento, são realizadas seis atividades, conforme listado abaixo.

- Analisar os requisitos de treinamento;
- Implementar o treinamento;
- Desenvolver plano de treinamento;
- Realizar o desenvolvimento do treinamento;
- Realizar análise de necessidades de treinamento;
- Fornecer equipamentos de treinamento.

2.3.14 O Plano de Suporte Integrado do Produto

O Plano de Suporte Integrado do Produto - IPSP (do inglês *Integrated Product Support Plan*), estabelece as informações essenciais necessárias para iniciar e manter um programa de desenvolvimento de suporte com estratégias de gestão de atividades nas cinco fases do ciclo de vida. O IPSP é um documento que fornece as atividades chaves para o planejamento, execução e monitoramento do processo (ASD/AIA, 2021).

O Suporte Integrado do Produto aborda e documenta os planos de gerenciamento da equipe de desenvolvimento do projeto e as diretrizes para coleta de dados e análises, gerenciamento de tarefas, controle, execução, integração e interface das tarefas com o gerenciamento do programa, engenharia de sistemas e outros domínios (ASD/AIA, 2021).

O Plano Integrado de Suporte do Produto utilizado como base nesse trabalho foi de acordo com o recomendado na especificação de Suporte Integrado do Produto, com doze elementos de suporte, as atividades e as cinco fases do ciclo de vida: a conceitual, desenvolvimento, produção, operação e descarte.

A **Tabela 2** fornece um mapeamento geral das diferentes atividades do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto para as fases do ciclo de vida, todas elas aplicadas de maneira escalonada no tempo e de acordo com a necessidade em cada etapa do ciclo de vida.

Destaca-se nessa tabela a tarefa: Executar o Custo do Ciclo de Vida – LCC do elemento de Influência no Projeto, que deve acontecer desde o início do ciclo de vida no desenvolvimento da suportabilidade, pois além de se relacionar com outras tarefas, ela impacta diretamente no custo-benefício do suporte do sistema na fase de operação (ASD/AIA, 2021).

Tabela 2 - Mapeamento das atividades do desenvolvimento de suporte para as fases do ciclo de vida (Adaptado de ASD/AIA, 2021).

ELEMENTOS IPS	ATIVIDADES	CONCEITUAL	DESENVOLVIMENTO	PRODUÇÃO	OPERAÇÃO	DESCARTE
Gerenciamento de Suporte do Produto	2.1.1. Gerenciamento de Contrato					
	2.2.2. Captura de requisitos de suporte do produto					
	2.3.3. Desenvolver Plano de Suporte Integrado do Produto					
	Gerenciamento das atividades de suporte na operação					
	2.5.5. Gerenciamento da Configuração					
	Gerenciamento de obsolescência					
	2.6.6. Gerenciamento de frota					
Influência no Design	2.4.4. Lições aprendidas					
	3.1.1. Executar Análise de RAM					
	11.3.1. Executar LSA					
Infra e Instalações	3.2.2. Executar LCC					
	4.1.1. Executar Análise de Instalações e Infraestrutura					
Ferramental	12.2.1. Prover Infra e Instalações					
	5.1.1. Análise dos requisitos de equipamentos de suporte					
Manutenção	30.1.1. Prover equipamentos de suporte					
	6.1.1. Desenvolver Conceito de Manutenibilidade					
	13.2.1. Análise de Nível de Reparo					
	13.3.1. Desenvolver Plano de Manutenção					
	Executar tarefas de manutenção					
	13.4.1. Análise de Suportabilidade e segurança					
	13.5.1. Análise de Tarefas de Manutenção - MTA					
	Realizar análise da manutenção na operação					
Recursos Computacionais	13.6.1. Análise de D&PHM					
	7.1.1. Gerenciar Recursos computacionais para o Programa					
	10.2.1. Executar análises de Recursos Computacionais					
Mão de Obra	23.2.1. Prover recursos computacionais					
	14.1.1. Executar análise de mão de obra					
Suprimentos	Operações Logísticas					
	15.1.1. Análise de requisitos PHST					
	17.1.1. Fornecer dados de provisionamento					
	29.2.2. Prover suprimentos					
Eng. Suporte Continuado	Gerenciar estoque					
	Gerenciar garantia					
	19.1.1. Adequação operacional					
	19.2.1. Gerenciamento de descarte					
Dados técnicos	Executar análise técnica da engenharia					
	Desenvolver e prover recomendações de engenharia					
	20.1.1. Desenvolver pacote de dados técnicos					
Treinamentos	20.2.1. Desenvolver publicações técnicas					
	21.1.1. Análise necessidade de treinamento TNA					
	21.2.1. Desenvolver plano de treinamento					
	21.4.1. Executar desenvolvimento de treinamento					
	21.3.1. Implementação de treinamento					

2.3.15 Integração com conceitos de suporte existentes

Um Plano de Suporte Integrado ao Produto, pode ser desenvolvido para um único produto e outras partes interessadas, ou provendo meios de suporte nas diversas configurações de um produto. Pode haver casos em que o desenvolvimento de suporte precisará ser integrado com os conceitos de suporte existentes. Nesses casos, estudos comerciais e de viabilidade ajudam a identificar necessidades de troca e integração de dados. Oportunidades tecnológicas,

conceitos de suporte, e o valor agregado da integração, precisam ser considerados e equilibrados com os respectivos custos (ASD/AIA, 2021).

Uma integração do conceito de suporte com outro existente que está descrito pela (ASD/AIA, 2021), em seu capítulo 3 – item 2.4.1.4.2, apresenta por exemplo os Requisitos de Manutenção para a Certificação - CMR (do inglês *Certification Maintenance Requirement*) que é uma tarefa periódica obrigatória estabelecida durante o processo de certificação aeronáutica. O CMR destina-se a detectar e eliminar falhas latentes significativas de segurança que, em combinação com uma ou mais outras falhas ou eventos específicos, resulte em um risco ou efeito de falha catastrófica.

2.4 A Certificação Aeronáutica

A certificação é um processo paralelo ao desenvolvimento do projeto. Anteriormente o programa de certificação consumia em média 25% do orçamento do projeto, mas com o aumento da complexidade das aeronaves e sistemas modernos, pode variar até 50% do custo total do programa de desenvolvimento. Esse processo tem duas fases cruciais, o planejamento e o cumprimento dos requisitos. O modo como o fabricante estabelece o gerenciamento do processo definirá o sucesso na relação tempo e custo sem perder os níveis de aeronavegabilidade requeridos pelas autoridades de aviação (SIEMENS, 2021).

A obtenção de um Certificado de Tipo é resultado de um processo iterativo entre desenvolvedor requerente e ANAC, com diversas atividades de engenharia que abrangem um elevado número de análises, testes, ensaios e inspeções que variam de acordo com a complexidade do projeto da aeronave, motor ou hélice, podendo atingir uma ordem de grandeza de dezenas e até mesmo de milhares de atividades (ANAC, 2021).

Requisito de aeronavegabilidade significa uma exigência governamental relativa ao projeto, materiais, processos de construção e fabricação, desempenho, qualidades de voo, sistemas e equipamentos de uma aeronave e seus componentes, visando garantir a segurança da operação (ANAC, 2022).

2.4.1 História e evolução da certificação

Ao final da Segunda Guerra Mundial a comunidade internacional identificou a necessidade do desenvolvimento de princípios e padrões comuns para regular o rápido crescimento da aviação civil. As normas precisavam ser estabelecidas para garantir a segurança

e a compatibilidade das operações entre os Estados. Representantes de 52 nações reuniram-se, em dezembro de 1944, na Conferência Internacional de Aviação Civil de Chicago, para elaborar a chamada “Convenção de Chicago”. Na mesma data foi estabelecida a Organização da Aviação Civil Internacional - OACI (ANAC, 2021).

Os regulamentos da certificação são objeto de um acordo internacional no âmbito da Organização de Aviação Civil Internacional, no entanto, cada país tem a liberdade de possuir um arcabouço normativo próprio (SILVA *et al.*, 2018).

No contexto internacional, destacam-se alguns organismos certificadores, sendo no cenário civil a *Federal Aviation Administration* - FAA nos Estados Unidos e a *European Aviation Safety Agency* - EASA na Europa, e, no contexto militar, o DoD (Departament of Defense) dos Estados Unidos. Suas normas, regulamentos e atividades são seguidas por diversas nações, total ou parcialmente. No Brasil, a ANAC, criada em 2005, veio ao longo do tempo tornando-se referência em processos de certificação, devido a crescente cadeia de fabricantes e operadores, tanto de aeronaves de pequeno como grande porte (SILVA *et al.*, 2018 e CAMARGO, 2021).

A **Figura 13**, apresenta as comparações do arcabouço normativo de três das principais autoridades de aviação citadas nesse trabalho, ANAC, FAA e EASA.

País	Brasil	Estados Unidos	União Européia
Organização	ANAC	FAA	EASA
Lei	Código Brasileiro de Aeronáutica	Federal Aviation Act	Basic Regulation
Regulamento	RBAC	FAR	CS
Procedimento	MPR	Order	Type Certification Procedures
Instrução	IS	AC	IR
Correção do Produto	DA	AD	AD

Figura 13 - Comparação do arcabouço normativo, ANAC, FAA e EASA (Autor, 2023).

A capacidade de uma empresa em planejar e implementar esse arcabouço normativo passa a ser uma lacuna a ser explorada para todos que desejam fabricar e comercializar esses produtos no âmbito internacional (FORTES *et al.*, 2017).

2.4.2 A aviação Geral

O mercado da aviação geral no Brasil apresenta ainda algumas particularidades e números interessantes relacionados em diversos tipos de serviços aéreos. A aviação geral, contempla os seguintes seguimentos de operação: aviação executiva, táxi aéreo, serviço aéreo especializado, Off Shore, aviação agrícola e instrução de pilotos (CAMARGO, 2021).

No contexto da aviação geral, essa padronização normativa de desenvolvimento foi implementada no início dos anos 2000 pela *American Society for Testing and Materials – ASTM*, a *Society of Automotive Engineers – SAE*, e *Federal Aviation Administration - FAA*, devido ao crescente mercado para alguns serviços especiais e meios de transportes privados (KISH *et al.*, 2020).

Na última década, houve um aumento da migração da indústria de pequeno porte, até então conhecida como “experimental”, para uma indústria regulada através das normas consensuais da ASTM, definida nos regulamentos aeronáuticos como categoria Aeronave Leve Esportiva – ALE. Esse setor da aviação geral vem crescendo em todo o mundo, devido às regras mais flexíveis e poder operar em área densamente povoada. No entanto, o uso comercial dessa categoria é restrito apenas para treinamento de piloto e reboque de planador (ANAC, 2021).

Com o amadurecimento dessa indústria de aeronave de pequeno e médio porte atualmente existem em diversos países, inclusive no Brasil, empresas migrando da categoria ALE para a categoria Normal do RBAC 23. Aeronaves dessa categoria são mais complexas e sofisticadas aumentando assim a gama de requisitos, tanto da autoridade como dos usuários (ANAC, 2021).

Para cumprir com os requisitos de aeronavegabilidade de uma aeronave da categoria Normal do *Federal Aviation Regulation 14 CFR PART 23*, O *Certification Specification - CS 23* e o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil - RBAC 23 é necessário um planejamento e análise nas fases iniciais do projeto, testes nas fases de produção e aplicação dos requisitos operacionais e de manutenção, para assim garantir que a aeronave tenha uma conformidade do projeto e uma operação segura. Um problema desses regulamentos é o baixo número de requisitos e recursos de suporte requeridos durante o desenvolvimento do produto (ALMEIDA *et al.*, 2021).

A **Figura 14**, apresenta os regulamentos aplicáveis para a certificação de produtos aeronáuticos e da aeronavegabilidade.

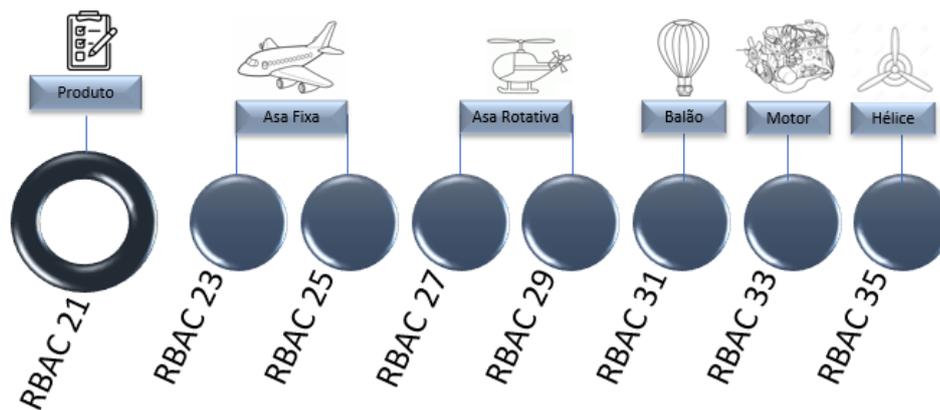


Figura 14 - Requisitos de Produto e Aeronavegabilidade na legislação aeronáutica brasileira (Autor, 2023).

O FAR 21, CS 21 e o RBAC 21 são regulamentos que descrevem como serão as regras de certificação para o produto aeronáutico ligados a elementos como de produção, projeto, certificados e modificações.

Os demais regulamentos, como o RBAC 23 e RBAC 25, são específicos para categorias de aeronaves ou produtos aeronáuticos com requisitos direcionados ao produto, como: envelope de voo, peso, desempenho, cargas, equipamentos, ensaios e as instruções de aeronavegabilidade continuada.

Nos últimos anos, as aeronaves da aviação geral tiveram uma atualização normativa relacionado ao projeto, desempenho e segurança. A ASTM, a indústria, a FAA e a EASA padronizaram um novo arcabouço para fomentar a indústria e adequar esses requisitos de acordo com o porte e complexidade da aeronave. A **Figura 15**, apresenta essa nova estrutura normativa da ASTM, com 31 sub normas relacionadas à norma F3264, entre as diversas áreas do processo de certificação, como: Voo, Estruturas, Projeto e Construção, Grupo Moto Propulsor, Equipamentos e a Interface dos tripulantes de voo e outras informações relacionadas a aeronavegabilidade (LAINE *et al.*, 2019). Uma mesma norma pode aparecer em áreas diferentes de certificação e, quando isso acontece, estão com a mesma cor na figura apresentada.

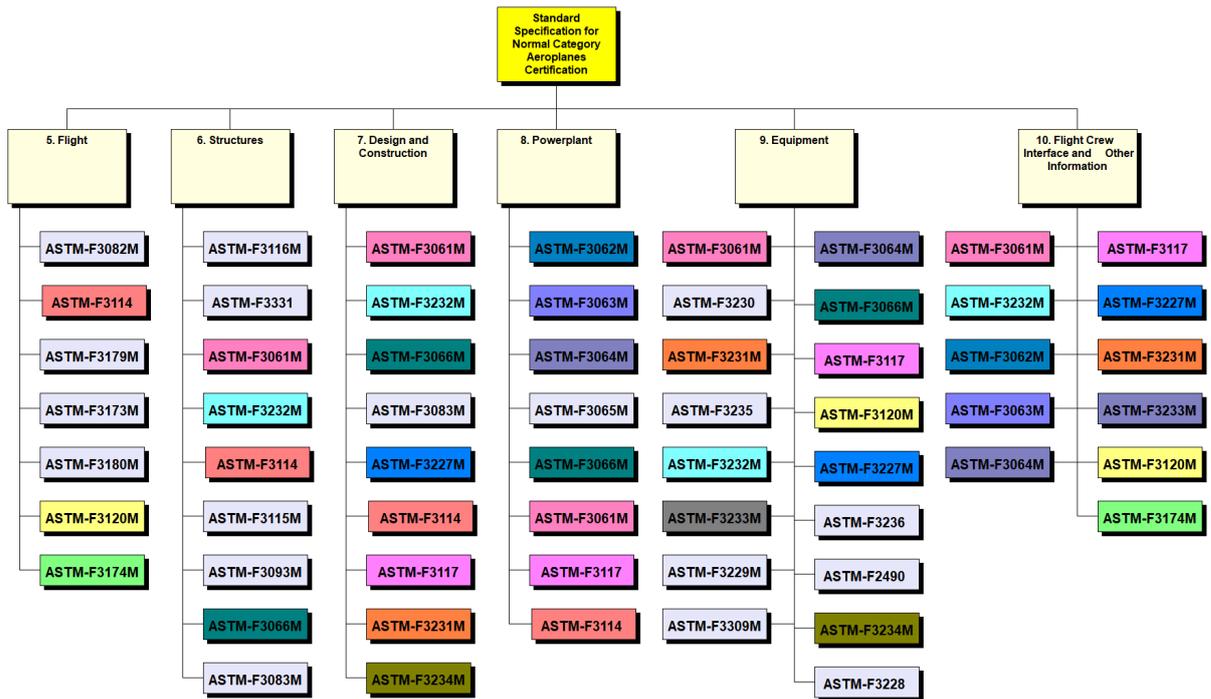


Figura 15 – Visão geral do novo ecossistema de normas da ASTM conforme a F3264 para aeronaves da categoria Normal do RBAC 23, FAR 23 e CS 23 (Autor, 2023).

Para maior compreensão da natureza do ecossistema normativo a **Tabela 3** apresenta a lista de normas da **Figura 15** associadas ao nome de cada norma que define o escopo em que cada uma delas é aplicada.

Tabela 3 – Ecossistema de normas conforme a ASTM F3264 (Autor, 2023).

ASTM-F3264 - 18b Standard Specification for Normal Category Aeroplanes Certification		
#	NORMA	DESCRIÇÃO
1	ASTM-F2490	Standard Guide for Aircraft Electrical Load and Power Source Capacity Analysis
2	ASTM-F3061M	Standard Specification for Systems and Equipment in Small Aircraft
3	ASTM-F3063M	Standard Specification for Aircraft Fuel and Energy Storage and Delivery
4	ASTM-F3064M	Standard Specification for Aircraft Powerplant Control, Operation, and Indication
5	ASTM-F3065M	Standard Specification for Aircraft Propeller System Installation
6	ASTM-F3066M	Standard Specification for Aircraft Powerplant Installation Hazard Mitigation
7	ASTM-F3082M	Standard Specification for Weights and Center of Gravity of Aircraft
8	ASTM-F3083M	Standard Specification for Emergency Conditions, Occupant Safety and
9	ASTM-F3083M	Standard Specification for Emergency Conditions, Occupant Safety and Accommodations
10	ASTM-F3093M	Standard Specification for Aeroelasticity Requirements
11	ASTM-F3114	Standard Specification for Structures
12	ASTM-F3115M	Standard Specification for Structural Durability for Small Aeroplanes
13	ASTM-F3116M	Standard Specification for Design Loads and Conditions
14	ASTM-F3117	Standard Specification for Crew Interface in Aircraft
15	ASTM-F3120M	Standard Specification for Ice Protection for General Aviation Aircraft
16	ASTM-F3120M	Standard Specification for Ice Protection for General Aviation Aircraft
17	ASTM-F3173M	Standard Specification for Aircraft Handling Characteristics
18	ASTM-F3174M	Standard Specification for Establishing Operating Limitations and Information for Aeroplanes
19	ASTM-F3179M	Standard Specification for Performance of Aircraft
20	ASTM-F3180M	Standard Specification for Low-Speed Flight Characteristics of Aircraft
21	ASTM-F3227M	Standard Specification for Environmental Systems in Small Aircraft
22	ASTM-F3228	Standard Specification for Flight Data and Voice Recording in Small Aircraft
23	ASTM-F3229M	Standard Practice for Static Pressure System Tests in Small Aircraft
24	ASTM-F3230	Standard Practice for Safety Assessments of Systems and Equipment in Small Aircraft
25	ASTM-F3231M	Standard Specification for Electrical Systems in Small Aircraft
26	ASTM-F3232M	Standard Specification for Flight Controls in Small Aircraft
27	ASTM-F3233M	Standard Specification for Instrumentation in Small Aircraft
28	ASTM-F3235	Standard Specification for Aircraft Storage Batteries
29	ASTM-F3236	Standard Specification for High Intensity Radiated Field (HIRF) Protection in Small Aircraft
30	ASTM-F3309M	Standard Practice for Simplified Safety Assessment of Systems and Equipment in Small Aircraft
31	ASTM-F3331	Standard Practice for Aircraft Water Loads

2.4.3 Problemas na Aeronavegabilidade Continuada

Outro fato a se observar, em um âmbito nacional, são os dados do gráfico da **Figura 16**, do Relatório Anual de Segurança Operacional - RASO da ANAC, que apresenta informações referentes aos acidentes aéreos reportados de 2017 a 2021 no Brasil. O que chama a atenção são os dois primeiros tipos de ocorrências, a falha ou mau funcionamento de sistema ou componente e a falha ou mau funcionamento do motor. Ambos estão diretamente ligados aos fatores de RAMS (ANAC, 2021).

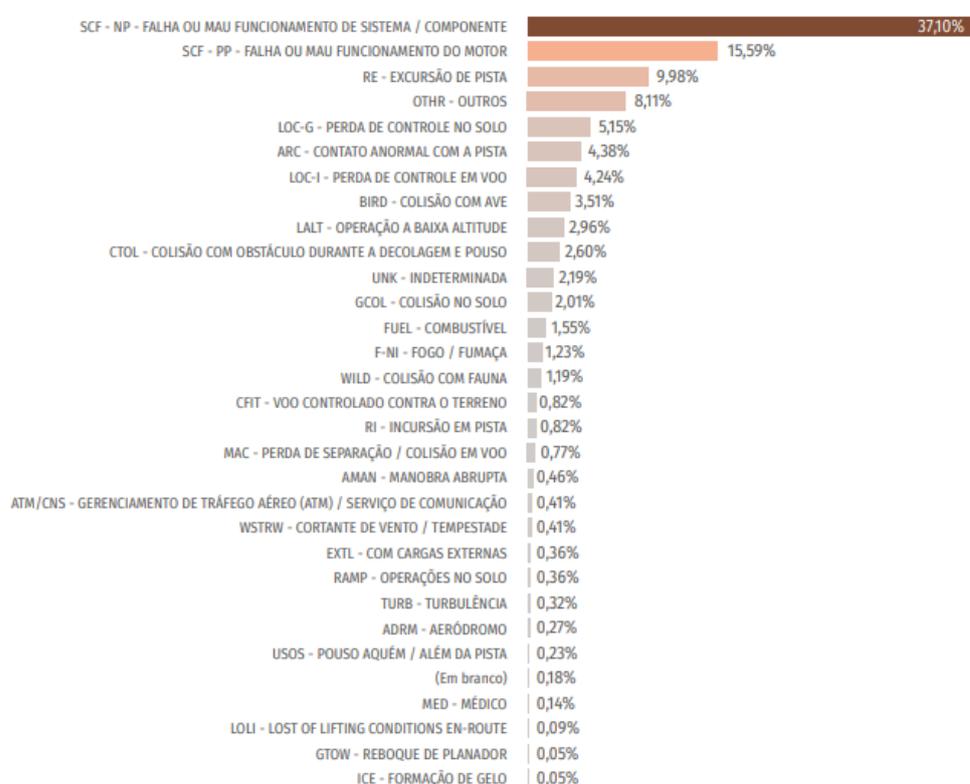


Figura 16 - Principais tipos de ocorrências para o acumulado de acidentes aéreos entre 2017 e 2021 (ANAC, 2022).

As ICA emitidas pelos fabricantes são os principais elementos da certificação que contribuem para o fator de suporte, atuando assim diretamente na prevenção e manutenção da aeronavegabilidade continuada na fase de operação. Nesses dados de acidentes aéreos apresentados pela ANAC, em que a falha já aconteceu, os fabricantes e a autoridade emitem os boletins de serviço, relatórios de dificuldades em serviço e as diretrizes de aeronavegabilidade.

Além disso, de acordo com a ANAC, em 2020, quase metade das 11,9 mil aeronaves registradas no Brasil para transporte privado e para táxi-aéreo estava impedida de voar por

algum tipo de irregularidade. O número total de aeronaves com algum tipo de problema é de 5.110, número que representava 43% dos aviões privados ou de táxi aéreo do país na época. As irregularidades mais comuns estão relacionadas à documentação vencida ou com inconformidades, mas em centenas de casos os motivos vão além da documentação. São 1.391 ocorrências relacionadas a aeronaves avariadas por acidentes e outras 463 por irregularidades técnicas. Em muitos casos, uma mesma aeronave é interdita por mais de um motivo, conforme apresentado na **Figura 17** (CNN, 2020).

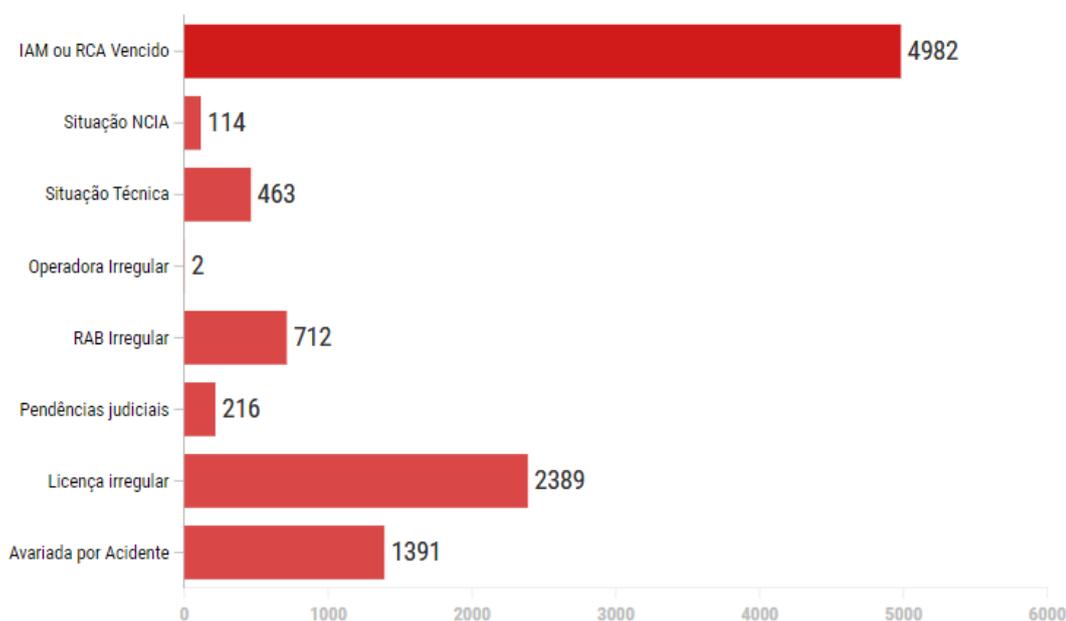


Figura 17 - Motivos para interdições de aviões e helicópteros (CNN, 2020).

Nesses casos, fatores como recursos logísticos, suprimentos e dados técnicos, se tratados no início do ciclo de vida, poderiam contribuir para uma redução desses problemas de suporte na fase operacional. As Inspeções Anuais de Manutenção – IAM, que em meados do ano de 2020 tornou-se Certificado de Verificação de Aeronavegabilidade - CVA, por exemplo, que muitas vezes vencem o prazo por falta de peças de reposição, obsolescência e infraestrutura inadequada.

2.4.4 Fases do Processo de Certificação

O processo de certificação aeronáutica divide-se em quatro etapas, a Pré-requerimento, definida neste trabalho como Conceitual, de Planejamento e Definição dos Requisitos, definida

como Desenvolvimento, de Implementação, definida como Produção e Pós Certificação, definida como Operação (ANAC, 2019). Essas definições são para padronizar as terminologias das fases dos processos aplicadas nessa pesquisa.

Para o entendimento do que acontece dentro das fases, é importante verificar qual a norma, as entradas, tarefas, saídas e o propósito de cada tarefa. A concatenação desses dados, é uma das primeiras atividades da modelagem para a posterior análise qualitativa da combinação com o processo de desenvolvimento de suporte.

Dentro de cada fase do processo existem diversas entradas, tarefas e saídas, que estão direcionados a cumprir a um determinado conjunto de requisitos das normas. Existem também os chamados *Milestones*, que são os marcos de transição de uma fase a outra, determinados pela entrega de uma tarefa.

Nas fases do processo de certificação, um Planejamento definido, estruturado e validado, aumentam as chances de sucesso no processo. Demonstrar a maturidade da equipe, desenvolver e aplicar os meios de cumprimento nas horas certas, de acordo com o padrão normativo é um desafio para qualquer empresa, pois trata-se de um elevado número de tarefas e subtarefas, com milhares de documentos, relatórios de engenharia e declarações a serem entregues à autoridade, bem como a realização testes e avaliações necessárias para demonstrar que a aeronave atende aos requisitos de segurança estabelecidos pelos regulamentos de aviação civil.

2.4.5 A Confiabilidade no processo de certificação e no conceito de Suporte

A confiabilidade no processo de certificação de tipo é requerida para sistemas, equipamentos e componentes da aeronave.

A confiabilidade está introduzida no conceito de suporte, sendo uma das métricas de RAMS, pois converge com elementos da suportabilidade e prevê atividades com recursos para melhorar o desempenho operacional da aeronave.

BLANCHARD (2014) descreve que a confiabilidade é definida pela probabilidade de um sistema operar de maneira satisfatória por um período determinado e dentro das condições para as quais ele foi especificado. De forma similar, DoD (2005) define que a confiabilidade é a probabilidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições estabelecidas por um período especificado. Esse é um relacionamento direto entre a certificação e a suportabilidade, pois ambos possuem entregáveis específicos com essa métrica, como exemplo o MTBF, do inglês *Mean Time Between Failures*.

O MTBF de um equipamento é importante pois demonstra o intervalo de falhas ao plano de manutenção preventiva, contribuindo assim para confiabilidade do sistema.

O primeiro passo para o entendimento da confiabilidade é relativo à probabilidade, que nada mais é que a relação de ocorrências de um determinado acontecimento dentro de uma série de ocorrências de um mesmo evento. A probabilidade é citada nesse conceito tendo em vista a relação entre o número de vezes que o evento ocorreu de maneira satisfatória em relação a todas as vezes que o sistema operou (ASSUMPCÃO, 2020).

A confiabilidade apresenta oito métricas que são recursos associados das tarefas de suporte para a medição do desempenho técnico e operacional do sistema (ASD/AIA). A **Tabela 4** apresenta essas métricas.

Tabela 4 – Métricas de Confiabilidade do Sistema (Adaptado de ASD/AIA, 2021).

Métricas da Confiabilidade	Reliability Metrics
– Confiabilidade inerente (RI)	– Inherent reliability (RI)
– Confiabilidade do Material (RM)	– Materiel Reliability (RM)
– Tempo Médio entre Abortar (MTBA)	– Mean Time Between Abort (MTBA)
– Tempo médio entre falhas (MTBF)	– Mean Time Between Failure (MTBF)
– Tempo médio entre falhas de missão crítica (MTBMCF)	– Mean Time Between Mission Critical Failure (MTBMCF)
– Tempo médio entre falha de tarefas (MTTF)	– Mean Time to Failure (MTTF)
– Confiabilidade da missão (RMission)	– Mission Reliability (RMission)
– Confiabilidade	– Reliability

2.4.6 A Manutenibilidade na certificação aeronáutica e no conceito de suporte

Manutenibilidade é a facilidade com que um avião pode ser mantido em condições de aeronavegabilidade pelo operador. Está diretamente relacionada à facilidade de fabricação. Processos de fabricação complicados podem resultar em uma aeronave que é difícil e onerosa de ser mantida (GUDMUNDSSON, 2014).

No Regulamento Brasileiro de Aviação Civil - RBAC 23 - e na Instrução Suplementar IS 21.001, uma das principais saídas relacionadas à manutenibilidade é a Instrução de Aeronavegabilidade Continuada - ICA. Os principais entregáveis desse elemento são listados abaixo, conforme o regulamento:

1. Plano de Manutenção: estabelece um plano de manutenção contínua da aeronave que deve ser implementado pelos operadores de aeronaves e pelos técnicos de manutenção. O plano de manutenção inclui cronogramas de manutenção, procedimentos de verificação de segurança e reparos recomendados.

2. **Registros de Manutenção:** A ICA exige que os operadores de aeronaves mantenham registros detalhados de manutenção, inspeções e outros dados relevantes para demonstrar a conformidade com os requisitos. Esses registros podem ser usados para rastrear a manutenção e o desempenho da aeronave ao longo do tempo.
3. **Instruções de Operação:** A ICA inclui instruções de operação detalhadas para a aeronave incluindo limitações de operação, procedimentos de emergência e outras informações relevantes para garantir a operação segura da aeronave.
4. **Recomendações de Melhoria:** A ICA deve incluir recomendações de melhoria contínua para a aeronave, com base em feedback de operadores de aeronaves, técnicos de manutenção e outras fontes. Essas recomendações podem incluir atualizações de software, melhorias de projeto ou outras mudanças que possam melhorar a segurança.

Em resumo, os entregáveis da ICA incluem um plano de manutenção, registros de manutenção, instruções de operação e recomendações de melhoria para a certificação de aeronavegabilidade que são usados para garantir a operação segura e efetiva da aeronave ao longo de sua vida operacional, conhecida também como aeronavegabilidade continuada.

No Suporte Integrado do Produto, a manutenibilidade é abordada como uma métrica a ser atingida através de elementos e entregáveis que garantirão ao produto um bom nível de suporte, ou seja, o produto será mais fácil de ser mantido e terá uma boa relação para outras métricas.

Além disso, de acordo com a especificação de suporte, a manutenibilidade possui 24 métricas, que são recursos dentro das tarefas de suporte para a medição da performance técnica e operacional (ASD/AIA, 2021). A **Tabela 5** apresenta essas métricas.

Tabela 5 – Métricas da Manutenibilidade (Adaptado de ASD/AIA, 2021).

Métricas da Manutenibilidade	Maintenability Metrics
– Tempo de Atraso Administrativo (ADT)	– Administrative Delay Time (ADT)
– Grupo de Ambigüidade	– Ambiguity Group
– Sem possibilidade de duplicar (CND)	– Cannot Duplicate (CND)
– Falsa taxa de alarme / nenhuma falha encontrada (NFF)	– False Alarm Rate /No Fault Found (NFF) Rate
– Isolamento de falha (FI)	– Fault Isolation (FI)
– Tempo de Atraso Logístico (LDT)	– Logistics Delay Time (LDT)
– Tempo de inatividade para manutenção (MDT)	– Maintenance Down Time (MDT)
– Índice de Manutenção (MR)	– Maintenance Ratio (MR)
– Tempo máximo para reparo (MaxTTR)	– Maximum Time to Repair (MaxTTR)
– Tempo Médio de Inatividade de Manutenção Ativa (MAMDT)	– Mean Active Maintenance Down Time (MAMDT)
– Tempo Médio de Manutenção Corretiva (MCMT)	– Mean Corrective Maintenance Time (MCMT)
– Tempo médio de inatividade (MDT)	– Mean Down Time (MDT)
– Tempo Médio de Manutenção Preventiva (Mpt)	– Mean Preventive Maintenance Time (Mpt)
– Tempo médio entre manutenções (MTBM)	– Mean Time Between Maintenance (MTBM)
– Tempo médio entre ações de manutenção (MTBMA)	– Mean Time Between Maintenance Actions (MTBMA)
– Tempo médio entre manutenções - programadas (MTBMS)	– Mean Time Between Maintenance - Scheduled (MTBMS)
– Tempo médio entre manutenções - não programadas (MTBMU)	– Mean Time Between Maintenance - Unscheduled (MTBMU)
– Tempo médio entre manutenções preventivas (MTBPM)	– Mean Time Between Preventive Maintenance (MTBPM)
– Tempo médio de reparo (MTTR)	– Mean Time To Repair (MTTR)
– Porcentagem de Manutenção Planejada (PMP)	– Planned Maintenance Percentage (PMP)
– Eficácia da Manutenção Preventiva	– Preventive Maintenance Effectiveness
– Conformidade de Manutenção Preventiva	– Preventive Maintenance Compliance
– Tempo de Manutenção Programada (Depósito, Fase, Periódica)	– Scheduled Maintenance Time (Depot, Phase, Periodic)
– Tempo de retorno (TAT)	– Turn Around Time (TAT)
– Tempo de manutenção não programada	– Unscheduled Maintenance Time

2.4.7 O fator Disponibilidade no conceito de suporte e na Certificação

A Disponibilidade é uma medida do grau em que um item está operacional. Os atores que contribuem para determinar a medida da disponibilidade é a quantidade de falhas, a necessidade de manutenção corretiva, com que frequência a manutenção preventiva é realizada, com que rapidez as falhas indicadas podem ser isoladas e reparadas, com que rapidez as tarefas de manutenção preventiva podem ser executadas e por quanto tempo os atrasos de suporte contribuem para o tempo de inatividade (DoD, 2005).

A disponibilidade pode expressa pela relação entre o tempo que o sistema ficou disponível para operação e o tempo que ele ficou indisponível (ASSUMPÇÃO, 2020).

No processo de certificação da aeronavegabilidade não se enfatiza diretamente a medição ou planos que contenha algum entregável sobre a disponibilidade. No entanto, tem se uma relação indireta através dos entregáveis de manutenibilidade da ICA, como exemplo o plano de manutenção preventiva e corretiva, que é parte da expressão para calcular o valor da disponibilidade.

A disponibilidade é dividida em três modos: a Disponibilidade Inerente, Disponibilidade Alcançada e a Disponibilidade Operacional (BLANCHARD, 2014).

A disponibilidade possui 18 métricas, associadas às tarefas de suporte para a medição da performance técnica e operacional (ASD/AIA, 2021). A **Tabela 6** apresenta essas métricas.

Tabela 6 – Métricas de Disponibilidade (Adaptado de ASD/AIA, 2021).

Métricas da Disponibilidade	Availability Metrics
– Disponibilidade Alcançada (A _A)	– Achieved Availability (A _A)
– Tempo de Inatividade (Td)	– Down Time (Td)
– Disponibilidade Inerente (AI)	– Inherent Availability (AI)
– Disponibilidade da Instalação de Manutenção (AF)	– Maintenance Facility Availability (AF)
– Disponibilidade de Material (AM)	– Material Availability (AM)
– Capacidade de Missão (MC)	– Mission Capable (MC)
– Manutenção não compatível com missões (NMCM)	– Not-Mission Capable Maintenance (NMCM)
– Sem capacidade de Missão (NMC)	– Not-Mission Capable (NMC)
– Sem capacidade de Suprimento de Missão (NMCS)	– Not-Mission Capable Supply (NMCS)
– Disponibilidade Operacional (A _o)	– Operational Availability (A _o)
– Eficácia geral do equipamento (OEE)	– Overall Equipment Effectiveness (OEE)
– Capacidade de Missão Parcial (PMC)	– Partial Mission Capable (PMC)
– Manutenção capaz de missão parcial (PMCM)	– Partial Mission Capable Maintenance (PMCM)
– Suprimento com Capacidade de Missão Parcial (PMCS)	– Partial Mission Capable Supply (PMCS)
– Disponibilidade de Pessoal (AP)	– Personnel Availability (AP)
– Taxa de Geração de Saída (SGR)	– Sortie Generation Rate (SGR)
– Disponibilidade de Sobressalentes (AS)	– Spares Availability (AS)
– Disponibilidade de Equipamentos de Suporte (ASE)	– Support Equipment Availability (ASE)

2.5 Estudo dos métodos empregados

2.5.1 Análise Qualitativa

MINAYO (2011) menciona que para uma análise qualitativa deve-se implementar um esforço metodológico que garanta a objetivação, ou seja, a produção de uma análise sistemática e aprofundada que minimize o subjetivismo, o achismo e o espontaneísmo. Para isso foi destacado dez passos que, dentre eles, cita a importância da experiência de quem está realizando a análise para atingir a compreensão e interpretação de um determinado tema de modo eficaz. Citou também sobre a organização e ordenação das informações previstas para a compreensão dos resultados a serem obtidos.

Para a verificação da combinação das tarefas da certificação aeronáutica com as da suportabilidade dessa pesquisa, foi realizado uma análise qualitativa sobre o conteúdo de modo

a capturar, organizar, estruturar, identificar e entender a relação entre os propósitos e dados fornecidos em cada entregável das tarefas.

2.5.2 O método BPMN

Com a necessidade de organizar o fluxo e entendimento dos processos, foi necessário o desenvolvimento de uma notação denominada *Business Process Model and Notation* - BPMN que permite às empresas organizar, modelar e simular diversos cenários através de diagramas interativos (GARCIA *et al.*, 2023).

A representação gráfica BPMN foi desenvolvida pela BPMI (*Business Process Management Initiative*) e publicada a sua primeira versão no ano de 2004. Atualmente está em sua versão 2.0. Ela fornece uma notação gráfica que permite descrever as etapas e o fluxo ponta a ponta de um processo. É estruturada por um conjunto de símbolos, permitindo desenvolver diagramas para o entendimento, a análise e fluxo de execução do processo. Atualmente é uma ferramenta disponível em diversas plataformas online ou até dentro de alguns softwares (TORRES *et al.*, 2023).

A abordagem proposta por este trabalho está alinhada às representações gráficas que fundamentam ao uso do BPMN, visando ser útil para o melhor entendimento dos fluxos e relacionamentos entre as tarefas, entradas e saídas do processo da certificação e da suportabilidade. Com isso foram desenhados os diagramas dos processos dentro do software *YeD*.

2.5.3 O Nível de Maturidade de Suporte

Como referência para a ferramenta de verificação de conformidade desse trabalho, será utilizado o Nível de Maturidade de Suporte, (do inglês *Support Maturity Level* - SML). Esse método descreve os níveis de maturidade de suporte através da quantidade de tarefas atingidas durante o processo de desenvolvimento da suportabilidade (ASD/AIA, 2021).

Com os resultados da implementação do método de SML, é possível mapear as principais tarefas de suportabilidade e avaliar o nível de compreensão da maturidade de suporte para a gestão do projeto (ABRAHÃO *et al.*, 2019).

O método SML pode ser usado por um Gerente de Suporte do Produto durante o desenvolvimento do processo de suporte para ajudar a identificar o nível de maturidade bem

como visualizar no tempo as tarefas e marcos necessários para um nível aceitável do ponto de vista de suporte (DoD, 2022).

O SML prevê doze níveis nas cinco fases de desenvolvimento da suportabilidade, colocando tarefas e subtarefas, bem como outros entregáveis que vão aumentando o nível de acordo com a quantidade de tarefas realizadas. A **Tabela 7** apresenta como esse modelo proposto é configurado (ASD/AIA).

Tabela 7 - Nível de Maturidade de Suporte (adaptado de ASD/AIA, 2021).

SUPPORT MATURITY LEVELS		LIFE CYCLE PHASES					
		Preparation Phase	Development Phase		Production Phase		In Service Phase
		Prepare the support	Design Support	Develop Support	Acquire the support	Provide the Support	Withdraw the support
SML 1	Operational Requirement Document (ORD)	1					
SML 2	Usage Requirements Document (URD)	2					
SML 3	System Requirements Documents (SRD)	3					
SML 4	Guidance Conference Document (GDC)	4					
SML 5	System Requirements Review (SRR)		5				
SML 6	Preliminary Design Review (PDR)		6				
SML 7	Critical Design Review (CDR)			7			
SML 8	Final Acceptance Review (FAR)				8		
SML 9	Support Solution Review (SSR)					9	
SML 10	Product Delivery/In-Service Date (ISD)						10
SML 11	In-Service Review (ISR)						11
SML 12	Out of Service Date (OSD)						12

Cada um desses níveis do SML, possui um entregável principal e uma série de subtarefas a serem executadas. Com isso, o gerente de Suporte Integrado ao Produto, junto aos planos e estratégias, consegue visualizar no tempo o contexto da maturidade do seu sistema no decorrer do desenvolvimento do produto (AIA/ASD, 2021).

A **Tabela 8** apresenta um formato de verificação de nível de suportabilidade na fase conceitual, com os níveis de 1, 2 e 3, respectivamente. Esse nível do SML aumenta de acordo com os entregáveis e atividades cumpridas ao término da fase (ASD/AIA, 2021).

Tabela 8 - Nível de detalhe da atividade necessária durante a fase de preparação (adaptado de ASD/AIA, 2021).

Nível de detalhe da atividade necessária durante a fase conceitual			
Fase do Ciclo de Vida	SML	Marco/tomada de decisão	Atividade
Fase Conceitual	1	Doc. De requisitos operacionais (ORD)	Analisar alternativas
			Desenvolver plano de IPS
			Desenvolver manutenção
	2	Doc. De requisitos do Usuário (URD)	Analisar alternativas
			Desenvolver plano de IPS
			Desenvolver manutenção
	3	Doc. De requisitos de sistema (SRD)	Analisar alternativas
			Desenvolver plano de IPS
			Desenvolver manutenção

Além disso, apresenta um formato de verificação de nível de suportabilidade na fase de desenvolvimento, com os níveis de 4, 5, 6 e 7, respectivamente, bem como o de nível de suportabilidade na fase de produção com os níveis de 8 a 9 (ASD/AIA).

Como esse método contribui para a visualização do nível de suporte do produto durante o desenvolvimento, será aplicado nesse trabalho a lógica de implementação, que é aumentar o nível de maturidade de acordo com os entregáveis e tarefas cumpridas ao término da fase.

As tarefas a serem utilizadas nessa implementação serão as da **Tabela 2** apresentado no subcapítulo anterior, pois apresenta um maior nível de detalhe, com os principais entregáveis dos dozes elementos de suporte em cada fase do ciclo de desenvolvimento de suporte do produto.

2.5.4 Método de Gerenciamento de Projeto com Earned Value

O Gerenciamento do Valor Agregado (do inglês *Earned Value Management - EVM*) é uma técnica que relaciona recursos de planejamento, cronogramas e requisitos de performance técnica. É um processo sistemático que utiliza ferramentas para integração dos custos, prazos, gerenciamento de desempenho técnico e gerenciamento de riscos do projeto. Com os resultados do EVM é possível identificar problemas relacionados ao custo e prazos antecipadamente e analisar seus impactos (KERZNER, 2009).

Um Sistema de Gerenciamento de Valor Agregado, oferece suporte ao gerente de programa integrando o escopo de trabalho com elementos de custo e prazo para planejamento e controle ideais durante todo o ciclo de vida (DAU, 2021).

O EVM é uma ferramenta de gerenciamento de programa que integra recursos de custos, cronograma e o escopo do trabalho. Ele fornece um aviso antecipado de desvios do desenvolvimento do sistema e quantifica esses problemas técnicos em termos de custo e cronograma fornecendo uma base objetiva para considerar as ações corretivas. EVM dá ao gerente de projeto, um meio de supervisão e controle dos dados necessários para demonstrar estimativas precisas do custo total do programa (DoD, 2021).

O EVM é utilizado por profissionais de diferentes áreas da indústria para gerenciar projetos e programas e é considerado parte fundamental da estrutura de gerenciamento de projetos como um meio de estabelecer medidas de desempenho do projeto (PUGA *et al.*, 2023).

Para a realização da técnica de EVM é necessária alguma ferramenta de apoio para gerar os gráficos requeridos para a avaliação do desempenho do projeto. É listado abaixo as definições dos três principais valores a serem analisados, bem como outros parâmetros de desempenho (KERZNER, 2009).

- Custo Orçado do Trabalho Planejado (Valor Planejado - VP)
- Custo Orçado do Trabalho Realizado (Valor Agregado - VA)
- Custo Real do Trabalho Realizado (Custo Real - CR)
- Variação do Custo – VC
- Variação do Prazo – VPR
- Índice de Desempenho de Custo - IDC
- Índice de Desempenho de Prazos - IDP

Para analisar se o projeto está satisfatório em qualquer etapa do projeto é necessário verificar os valores de IDC e IDP conforme listado abaixo (KERZNER, 2009).

- $IDC < 1$, O Projeto está com custo maior que o previsto no orçamento.
- $IDC > 1$, O Projeto está com custo menor que o previsto no orçamento.
- $IDC = 1$, O Projeto está com os custos iguais aos previstos no orçamento.
- $IDP < 1$, O Projeto está com o cronograma atrasado em relação ao previsto.
- $IDP > 1$, O Projeto está com o cronograma adiantado em relação ao previsto.
- $IDP = 1$, O Projeto está com o cronograma em dia em relação ao previsto.

Dada as considerações acima, é possível calcular o IDC conforme a Equação 2.1 (KERZNER, 2009).

$$IDC = \frac{VA}{CR}$$

(2.1)

Já o cálculo do IDP é expresso pela Equação 2.2 (KERZNER, 2009).

$$IDP = \frac{VA}{VP}$$

(2.2)

2.6 Comparação de referencial bibliográfico

A **Tabela 9** apresenta uma comparação entre as pesquisas e especificações abordadas nesse trabalho com os autores e seus respectivos anos de publicação. Observa-se as lacunas não preenchidas na literatura, e na última linha, uma primeira abordagem dos sete temas integrados durante o desenvolvimento desse trabalho.

2.6.1 Lacunas dos referenciais bibliográficos mais relevantes

a) Certificação Aeronáutica

Os regulamentos e diretrizes do processo de certificação aeronáutica direcionam o produto para o fator *Safety*. Com o encerramento desse processo, o produto está autorizado a ser comercializado, no entanto, o histórico e a pesquisa bibliográfica realizada nesse trabalho apresentaram que somente a aeronavegabilidade não garante um bom desempenho ou maturidade do ponto de vista de suporte na fase de operação.

Além disso, nas diretrizes e guias das autoridades de aviação civil, cita a importância de um bom planejamento e implementação do processo, mas não divulga informações ou históricos de processos finalizados ou em andamento que possam servir como referência em estratégias de gerenciamento do processo.

b) Suportabilidade

Nas quatro principais referências de suportabilidade mencionadas na revisão da literatura, ASD/AIA (2021), DAU (2021), DoD (2022) e BLANCHARD (2014), não apresentam uma implementação ou exemplo da aplicação do método SML, para que possa servir de parâmetro.

Apesar do DAU (2021) e DoD (2022) mencionarem a importância do gerenciamento de suporte durante o desenvolvimento, bem como outros recursos, elementos e técnicas como o *Earned Value*, não apresentam um exemplo detalhado ou implementação de alguns cenários que possa parametrizar e medir os desempenhos esperados para além de um bom nível de suporte, um desenvolvimento satisfatório no que tange a relação custo e tempo do processo.

Além disso, SILVA *et al.* (2021), GAO (2020) e GONÇALVES *et al.* (2018) abordam sobre a importância do conceito de suporte que deve ser realizada desde o início do ciclo de vida para o bom desempenho e relação custo-benefício na fase de operação. No entanto, como eles priorizaram uma determinada área da suportabilidade e a certificação aeronáutica, diversas lacunas no campo da pesquisa ficaram aptas a ser exploradas, como o caso de uma análise e possível integração entre tarefas dos dois diferentes processos.

3. Metodologia

Este capítulo apresenta a estratégia utilizada para a obtenção dos resultados esperados e conteúdo para as discussões, conforme descrito e sequenciado abaixo.

I. Estudo do problema;

O primeiro passo constituiu-se numa detalhada pesquisa pela literatura sobre os processos de certificação aeronáuticos existentes em todas as categorias de aeronaves com o objetivo de aumentar a compreensão dessa área do conhecimento, principalmente no que tange os modos de planejamento para execução das tarefas do ciclo de vida. Além disso foi realizado um aprofundamento na compreensão da suportabilidade dos sistemas complexos abordada no conceito do Suporte Integrado do Produto, bem como todos os elementos necessários para garantir que o suporte logístico obtenha bons níveis de desempenho em sua fase operacional.

II. Descrever como as principais autoridades de certificação tratam o ciclo do processo de certificação aeronáutica;

III. Descrever o problema de suporte e o conceito de desenvolvimento da suportabilidade de Sistemas Complexos nas fases do ciclo de vida, para entender o sequenciamento e conteúdo das atividades necessárias ao seu correto desenvolvimento;

IV. Realizar uma análise qualitativa da combinação dos processos de Desenvolvimento de Suporte Integrado do Produto com o processo de Certificação Aeronáutica para verificar como elas poderiam ser combinadas nas fases Conceitual, Desenvolvimento e Produção.

Nessa análise são necessários cinco passos, que são: capturar, organizar, estruturar, identificar e entender.

Com a modelagem dos processos, uma análise qualitativa foi realizada através das normas e instruções em cada tarefa do plano de certificação aeronáutico descrito pela ANAC e, ao mesmo tempo, relacionando tarefas do Desenvolvimento do Plano Integrado de Suporte do Produto, com uma localização de palavras chaves semelhantes, ou alguma entrada e saída que apresente um contexto convergente ou influente ao entregável da tarefa requerida pela autoridade de aviação civil.

Em seguida, foi realizado em uma mesma base de dados, organizado por fases do processo de desenvolvimento, uma análise qualitativa sobre os itens convergentes explicando o seu propósito e o motivo de tal relacionamento. A **Figura 18**, exemplifica como foi realizado essa parte da análise.

	Elemento	ID	Tarefa Certificação	SNC C+S	Tarefa Suportabilidade	Análise Qualitativa da Combinação
FASE CONCEITUAL DA CERTIFICAÇÃO (Pré Requirimento)	1. [AAC] Certificação	1.1	1.1.1. O produto a ser certificado	2.1 2.2 2.3	2.1.1. Gerenciamento de Contrato 2.2.2. Análise de Alternativas 2.3.3. Desenvolver Plano do IPS	1- No contrato de suporte do produto, saída do item 2.1, descrever os propósitos, entradas e saídas de cada tarefa. O Produto e Suporte ao longo do ciclo de vida. O output dessa tarefa, traz os elementos de suporte para o plano do processo de
	Literatura Aeronav. & Suporte		A		B C D	Descrever os propósitos de cada tarefa, entradas e saídas. Explicar os motivos dos relacionamentos.

Figura 18 – Exemplo da Análise Qualitativa entre o processo de Certificação com a Suportabilidade (Autor, 2023).

A coluna SNC C+S, representa qual elemento e atividade de suporte teve sincronização com a atividade da certificação. A tarefa (A) representa uma tarefa da certificação, enquanto (B), (C) e (D) da suportabilidade. E a última coluna detalha o motivo da possível combinação entre tarefas de ambos os processos.

Em seguida, para visualizar o fluxo e interação, os processos foram modelados em formato BPMN, pois, como se trata de duas abordagens com uma alta gama de informações, propicia no final uma visualização com o fluxograma das tarefas com suas entradas e saídas.

V. Aplicar a avaliação de nível de maturidade de suporte para dois cenários distintos.

Para a primeira linha de testes desse trabalho, foi modelado no Excel uma representação da função maturidade pelo tempo.

Esse método permite representar matematicamente o comportamento da maturidade de suporte de modo linear através das atividades transformadas em dados de cumprimento durante o desenvolvimento, alocados nas fases do ciclo de vida de modo temporal.

Uma limitação dessa representação é que não contempla outros fatores como: qualidade da execução da tarefa, maturidade de mão obra, variantes de custos e análise de riscos. Ela está

direcionada ao cumprimento ou o não cumprimento da tarefa dentro de um período pré-determinado.

Com isso, foi implementado o método Nível de Maturidade de Suporte para verificar o cumprimento das tarefas e medir o nível de maturidade de suporte durante o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto em dois diferentes cenários, conforme descrito abaixo:

Cenário 1: Teste de verificação do nível de maturidade de suporte realizando 49% das tarefas durante o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto. O valor do nível de maturidade definido nesse teste foi baseado no resultado da análise qualitativa que indicou que 51% das atividades do desenvolvimento de suportabilidade não são contempladas pela certificação. A razão da porcentagem definida nesse cenário é para demonstrar como seria se aplicasse o conjunto de tarefas que foram combinadas entre o processo da suportabilidade com o processo de certificação. Com isso, o experimento demonstrou o comportamento da linha da maturidade de suporte em um período determinado para o processo.

Cenário 2: Teste de verificação do nível de maturidade de suporte realizando 100% das tarefas durante o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto. O valor do nível de maturidade definido nesse cenário, foi para verificar como seria a trajetória da linha da maturidade de suporte caso fosse realizado todas as tarefas da suportabilidade dentro de um período determinado.

VI. Escolha da ferramenta de gestão e descrição das tarefas dos dois processos de modo a servir de dados de entrada para a ferramenta de gestão escolhida.

Foi aplicado o método de Gerenciamento de Projeto com *Earned Value* dentro do software *Monday* para medir o desempenho do projeto com parâmetros de custo de homem hora de engenharia e tempo de cumprimento das tarefas. Esse método identifica pontos importantes durante o desenvolvimento, como o valor agregado, valor planejado, o custo real da tarefa e os índices de desempenho de custo e prazo.

Em seguida, foram definidos os cenários representativos e a modelagem do problema na ferramenta de gestão.

Para realizar os testes dentro da ferramenta, foram definidos 5 cenários, conforme descrito abaixo:

Cenário 1: Teste de verificação do desempenho do projeto realizando 100% das tarefas somente do Processo de Certificação Aeronáutica.

Cenário 2: Teste de verificação do desempenho do projeto realizando 100% das tarefas somente do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto.

Cenário 3: Teste de verificação do desempenho do projeto realizando 100% das tarefas e do Processo de Certificação Aeronáutica com 100% das tarefas do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto.

Cenário 4: Teste de verificação do desempenho do projeto realizando 100% das tarefas e do Processo de Certificação Aeronáutica e realizando apenas 49% das tarefas do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto, ambos com o custo acima do valor orçado.

Cenário 5: Teste de verificação do desempenho do projeto realizando 100% das tarefas do Processo de Certificação Aeronáutica e realizando 49% das tarefas do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto, ambos com o custo três vezes acima do valor orçado.

Todos os cenários em que se realiza 49% das tarefas de suporte, foram definidos para testar como seria os índices de desempenho do projeto com relação ao custo e prazo e a integração com o nível de maturidade de suporte.

Nos cenários 3, 4 e 5 foi possível integrar o método de nível de maturidade de suporte com o gerenciamento de projeto.

VII. Execução dos testes nos cenários escolhidos e apresentação dos resultados.

Nessa etapa foram executados os testes de acordo com cada cenário definido. Ambos os cenários com o mesmo período determinado, tanto o tempo de execução de cada tarefa, como o tempo total do processo. As principais diferenças de cenários foram na relação custo e quantidade de tarefas realizadas.

Um fator considerado nos testes foram que o IDP está vinculado ao processo de certificação, ou seja, se não terminar o processo da suportabilidade, o produto terá imaturidade do ponto de vista de suporte na fase de operação.

VIII. Discussão sobre os resultados apresentados nos testes.

IX. Apontar as contribuições, limitações levantadas e linhas de pesquisa que podem ser exploradas no futuro.

A **Figura 19** apresenta em forma de fluxograma as etapas percorridas e descritas nesse capítulo, com o objetivo de sintetizar a estratégia da aplicação da metodologia descrita nessa pesquisa.

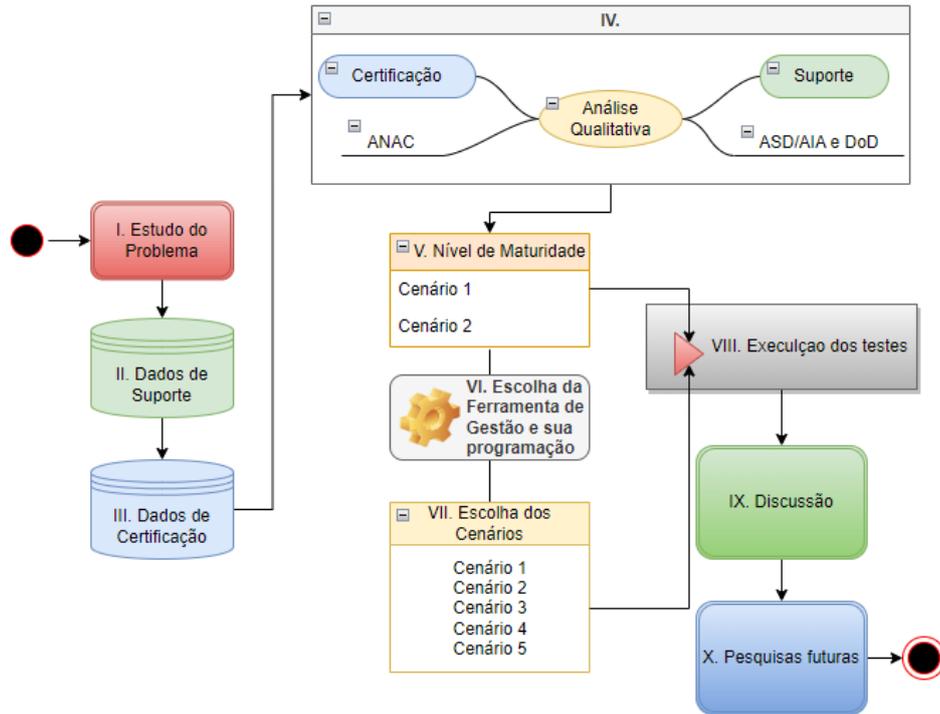


Figura 19 – Fluxograma da aplicação da metodologia (Autor 2023).

4. Aplicação da Metodologia, Apresentação dos Resultados e Discussão

4.1. Descrição da Análise de Combinação dos Processos de Certificação com o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto

O primeiro passo para a implementação dos métodos empregados nesse trabalho, foi modelar o processo de certificação utilizando uma primeira e segunda camada de tarefas das diretrizes da ANAC com o Desenvolvimento de Suporte Integrado do Produto. A primeira camada é uma tarefa, já a segunda pode ser uma subtarefa ou algum requisito dentro da norma. Como essa agência possui acordo bilateral com as principais autoridades de aviação civil, dentre elas a FAA e EASA, o modo como ela recomenda o planejamento e os meios de cumprimento são válidos para o estudo dos cenários realizados. Já as tarefas de desenvolvimento de suporte foram baseadas no Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto apenas das três primeiras fases do plano, que também são recomendadas e utilizadas no setor aeroespacial (ANAC, 2019 e ASD/AIA, 2021).

Com o grande volume de dados de ambos os processos, foi realizada uma análise para verificar dentro dos requisitos de aeronavegabilidade, algum contexto relacionado ao RAMC (*Reliability, Availability, Maintenance e Cost*) e os doze elementos de suporte.

Dentro das 3723 linhas de requisitos de aeronavegabilidade das 31 normas da ASTM conforme apresentado na **Tabela 3** para aeronaves da categoria normal do RBAC 23, apenas 23 linhas de requisitos tiveram algum contexto relacionado e foram compostos à segunda camada de tarefas dentro do plano de certificação proposto pela ANAC, previsto na IS 21.001 e a Cartilha de Certificação de Projeto de Tipo do RBAC 23. Além disso, foi alocado nessa análise, os níveis de certificação previsto no regulamento (N1 – 1 assento, N2 – 2 a 6 assentos, N3 – 7 a 9 assentos e N4 - 10 a 19 assentos), bem como qual o meio de verificação e validação do requisito (Análise, Inspeção, Demonstração, Teste e Similaridade). A **Tabela 10** apresenta uma parte dessa análise. A completa visualização pode ser verificada através do link disponibilizado no Apêndice A.

Tabela 10 – Parte da análise de conteúdo dos requisitos de certificação com a Suportabilidade (Autor, 2023)

ID	ASTM F3264-18 e suas Sub Normas - RBAC 23 Requirement ASTM FAA/ANAC	Suportabilidade Análise (RAM)	N1	N2	N3	N4
2094	12. Continued Airworthiness and Maintenance	X	X	X	X	X
2095	12.1 Instructions for Continued Airworthiness:	X				
2096	12.1.1 The applicant must prepare Instructions for Continued Airworthiness in accordance with 12.1.2 through 12.1.9 that are acceptable to the Certifying Authority.	X	X	X	X	X
2097	NOTE 4—The instructions may be incomplete at type certification if a program exists to ensure their completion prior to delivery of the first airplane or issuance of a standard certificate of airworthiness, whichever occurs later.	X	X	X	X	X
2098	12.1.2 The Instructions for Continued Airworthiness for each airplane must include the Instructions for Continued Airworthiness for each engine and propeller (hereinafter designated ‘products’), for each appliance required by this chapter, and any required information relating to the interface of those appliances and products with the airplane.	X	X	X	X	X
2099	12.1.3 If Instructions for Continued Airworthiness are not supplied by the manufacturer of an appliance or product installed in the airplane, the Instructions for Continued Airworthiness for the airplane must include the information essential to the continued airworthiness of the airplane.	X	X	X	X	X
2100	12.1.4 The applicant must prepare a program to show how changes to the Instructions for Continued Airworthiness made by the applicant or by the manufacturers of products and appliances installed in the airplane will be distributed.	X	X	X	X	X
2101	12.1.5 The Instructions for Continued Airworthiness must be in the form of a manual or manuals as appropriate for the quantity of data to be provided.	X	X	X	X	X
2102	12.1.6 The format of the manual or manuals must provide for a practical arrangement.	X	X	X	X	X
2103	12.1.7 The contents of the manual or manuals must be prepared in the English language or other language acceptable to the Certifying Authority.	X	X	X	X	X
2104	12.1.8 The Instructions for Continued Airworthiness must contain the following manuals or sections, as appropriate, and information:	X	X	X	X	X
2105	12.1.8.1 Airplane maintenance manual or section. (1) Introduction information that includes an explanation of the airplane’s features and data to the extent necessary for maintenance or preventive maintenance. (2) A description of the airplane and its systems and installations including its engines, propellers, and appliances. (3) Basic control and operation information describing how the airplane components and systems are controlled and how they operate, including any special procedures and limitations that apply. (4) Servicing information that covers details regarding servicing points, capacities of tanks, reservoirs, types of fluids to be used, pressures applicable to the various systems, location of access panels for inspection and servicing, locations of lubrication points, lubricants to be used, equipment required for servicing, tow instructions and limitations, mooring, jacking, and leveling information.	X	X	X	X	X
2106	12.1.8.2 Maintenance Instructions. (1) Scheduling information for each part of the airplane and its engines, auxiliary power units, propellers, accessories, instruments, and equipment that provides the recommended periods at which they should be cleaned, inspected, adjusted, tested, and lubricated, and the degree of inspection, the applicable wear tolerances, and work recommended at these periods. However, the applicant may refer to an accessory, instrument, or equipment manufacturer as the source of this information if the applicant shows that the item has an exceptionally high degree of complexity requiring specialized maintenance techniques, test equipment, or expertise. The recommended overhaul periods and necessary cross reference to the Airworthiness Limitations section of the manual must also be included. In addition, the applicant must include an inspection program that includes the frequency and extent of the inspections necessary to provide for the continued airworthiness of the airplane. (2) Troubleshooting information describing probable malfunctions, how to recognize those malfunctions, and the remedial action for those malfunctions. (3) Information describing the order and method of removing and replacing products and parts with any necessary precautions to be taken. (4) Other general procedural instructions including procedures for system testing during ground running, symmetry checks, weighing and determining the center of gravity, lifting and shoring, and storage limitations.	X	X	X	X	X

Observa-se a coluna: Análise RAMC, todas marcadas com “X”, ou seja, tiveram algum contexto relacionado ao requisito de suportabilidade.

Após essa seleção de requisitos, um refinamento através de uma análise qualitativa, para entender se o meio de cumprimento realmente converge com algum entregável da suportabilidade e em qual fase do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto ela está, ou se apenas tem a palavra em um aspecto de suporte, mas não se relaciona ao contexto esperado em RAMC.

Após o levantamento desses dados, foi integrado a primeira e segunda camada da certificação com as tarefas do desenvolvimento de suporte integrado do produto, com a integração de todas as entradas e saídas de ambos os processos. A **Tabela 11** e **Tabela 12** apresentam uma parte dessa análise na fase Conceitual e Desenvolvimento do Processo de Certificação. A **Tabela 13** apresenta um exemplo da estruturação do processo na fase Conceitual do Processo da Suportabilidade. As outras fases possuem um número maior de tarefas e informações, com isso esses dados estão disponíveis através do link disponibilizado no apêndice A desse trabalho.

Com essa análise, houve um total de 71 tarefas do processo de certificação, contando primeira e segunda camada. Já o processo de suporte, resultaram em 62 tarefas.

Tabela 11 – Parte da análise das tarefas da Certificação na fase Conceitual (Autor, 2023)

	Elemento	ID	Entrada	Tarefa Certificação	Saida
FASE CONCEITUAL	1. [AAC] Certificação de Tipo (RBAC 21 / IS21.001 / 23) / Cartilha de Orientação a Certificação de Tipo - SAR	1.1	1) Descrição detalhada do projeto, 2) Características e limitações operacionais 3) Conceito Operacional	1.1.1. O produto a ser certificado	PROJ_PRG_AGD
		1.2	1) Análise dos requisitos de certificação	1.2.1. A base de certificação aplicável	PROJ_PRG_BCA
		1.3	1) Descrição das atividades esperadas	1.3.1. Um plano de certificação discutido e	PROJ_PRG_PCA
		1.4	1) Descrição dos milestones esperados	1.4.1. Um cronograma do projeto contendo os principais	PROJ_PRG_CPM
		1.5	1) A complexidade do projeto; 2) O emprego de novas tecnologias, requisitos ou metodologias; 3) A competência do requerente, que inclui capacidade técnica, a experiência em certificação e seus processos e metodologias, etc; e 4) A severidade, isto é, as consequências em caso de restar algum não cumprimento ou alguma condição insegura.	1.5.1. O nível de envolvimento da autoridade	PROJ_PRG_NDE
		1.6	1) e-mails, ligações telefônicas, apresentações, reuniões presenciais, ofícios, cartas, relatórios etc;	1.6.1. A forma de comunicação entre o requerente e a autoridade	PROJ_PRG_FCA

Tabela 12 - Parte da análise das tarefas da Certificação na fase Desenvolvimento (Autor, 2023)

	Elemento	ID	Entrada	Tarefa	Saida
FASE DE DESENVOLVIMENTO	8. IS21.001 - Orientações sobre certificação de tipo. / Cartilha de Orientação a Certificação de Tipo SAR	8.1	1- PROJ_PRG_FCA	8.1.1 . Contato Inicial	PROJ_PRG_CI
		8.2	1- Descrição Geral do Produto 2- Base de Certificação 3- Planejamento de Certificação	8.2.1. Reunião de Apresentação do Projeto	PROJ_PRG_RAP
		8.3	1- Descrição Geral do Produto 2- Base de Certificação 3- Planejamento de	8.3.1. Entrada do Requerimento	PROJ_PRG_PRO
		8.4	1- PROJ_PRG_PCA	8.4.1. Designação do Coordenador e da equipe do Projeto	PROJ_PRG_RCEP
		8.5	1- PROJ_PRG_CPM	8.5.1. Analise de suficiencia de dados	PROJ_PRG_ASD
		9.1	1- PROJ_PRG_AGD	9.1.1. Analise Inicial do Projeto	PROJ_PRG_AIP
	9.2	1- PROJ_PRG_CPM	9.2.1. Reunião de Familiarização Técnica	PROJ_PRG_RFT	
	9.3	1- PROJ_PRG_RCEP	9.3.1. Reunião Preliminar do conselho de Cert. De Tipo Tipo (PTCBM)	PROJ_PRG_RPCT	
	9.4	1- PROJ_PRG_BCA	9.4.1. Base de Certificação	PROJ_PRG_BC	
	9.5	1- PROJ_PRG_ASD	9.5.1. Controle de Itens Relevantes (FCAR E CAI)	PROJ_PRG_CIR	
	9.6	1- PROJ_PRG_CPM	9.6.1. Plano de Certificação do Requerente - PCR	PROJ_PRG_PCR	
	9.7	1- PROJ_PRG_PCA	9.7.1. Planejamento e Envolvimento da Autoridade	PROJ_PRG_PEA	
	9.8	1- PROJ_PRG_NDE	9.8.1. Plano de Certificação Especifico do Programa - PCEP	PROJ_PRG_PCEP	
		9. IS21.001 - Planejamento do Processo de Design			

Tabela 13 – Parte da análise das tarefas de Suporte na fase Conceitual (Autor, 2023)

FASE CONCEITUAL DA SUPORTABILIDADE	2. [IPS] Gerenciamento de Suporte do Produto	2.1	1) Contrato 2) Dados de Feedback 3) Plano IPS 4) Especificação	2.1.1. Gerenciamento de Contrato	1- Relatório de gestão 2- Contrato de Apoio
		2.2	1) Documento de capacidade inicial 2) Dados de engenharia de projeto 3) Alternativas 4) Dados de engenharia de projeto	2.2.2. Análise de Alternativas	1- Conceito de suporte 2- Documento de Requisitos de Uso (URD) 3- Requisito de suporte ao produto 4- Documento de Requisitos Operacionais
		2.3	1) Dados de engenharia de projeto 2) Contrato 3) Especificação	2.3.3. Desenvolver IPS Plan	1- Plano IPS
		2.4	1) Dados de feedback 2) Relatórios gerenciais (em serviço)	2.4.4. Lições aprendidas	1- Lições aprendidas
		2.5	1) Dados de engenharia de projeto 2) Dados do fornecedor 3) Dados de feedback	2.5.5. Controle de Configuração	1- Configuração permitida 2- Configuração como está
		2.6	1) Planejamento de operações 2) Configuração permitida 3) Como configuração mantida 4) Dados de feedback	2.6.6. Gerenciamento de frota	1- Relatório de desempenho da frota
	3. [IPS] Influencia no Design	3.1	1) Dados de engenharia de projeto 2) Plano IPS 3) banco de dados LSA 4) Dados do fornecedor	3.1.1. Análise de RAMT	1- Relatórios de engenharia de suporte
		3.2	1) Relatório de recursos do computador 2) Contrato 3) Dados de engenharia de projeto 4) Arquivo de descarte do produto 5) Relatório F&I 6) Plano IPS 7) banco de dados LSA 8) Plano de manutenção 9) Relatório de mão de obra e pessoal 10) Dados de feedback (operações) 11) Dados de provisionamento 12) Especificação 13) Conceito de suporte	3.2.2. Executar LCC	1- Relatório LCC
	4. [IPS] Infra e Instalações	4.1	1) Plano de recursos do computador 2) Relatório de recursos do computador 3) Contrato 4) Plano IPS 5) Relatório LORA 6) banco de dados LSA 7) Dados de feedback (operações) 8) Dados de provisionamento 9) Conceito de suporte 10) Plano de equipamentos de suporte 11) Relatório do equipamento de treinamento 12) Plano de treino	4.1.1. Análise de Instalações e Infra.	1- Plano de F&I
	5. [IPS] Ferramental	5.1	1) Contrato 2) Dados de engenharia de projeto	5.1.1. Análise de requisitos dos equip. de suporte	1- Plano de equipamentos de apoio
	6. [IPS] Manutenção	6.1	1) Contrato 2) Plano IPS 3) Conceito de suporte	6.1.1. Desenvolver Conceito de Manutenção	1- Conceito de manutenção
	7. [IPS] Recursos Computacionais	7.1	1) Conceito de suporte 2) URD 3) ORD 4) Plano IPS 5) Banco de dados de lições aprendidas 6) Configuração permitida 7) Configuração como está 8) Relatórios gerenciais 9) Contrato de suporte 10) Relatório de Desempenho da Frota 11) Relatórios gerenciais (em serviço) 12) Relatório de obsolescência	7.1.1. Recursos computacionais para o Programa	1- Computador programa IPS 2- Troca de dados técnicos

4.1.1 Análise dos resultados da análise qualitativa

Na primeira análise do conteúdo, já foi possível verificar que os requisitos de aeronavegabilidade continuada possuem um contexto relacionado diretamente a alguns elementos de suporte. Esses requisitos também estão contidos no apêndice A do RBAC 23.

Em uma segunda análise de modo qualitativo, foi possível verificar o contexto e a relação entre as tarefas com a combinação de palavras-chave e, realizando uma explicação do motivo da convergência entre as tarefas dos diferentes processos.

O detalhamento dos resultados dessas análises será realizado nos próximos subcapítulos.

4.1.2 Análise dos resultados da análise qualitativa na fase Conceitual

Como resultado geral dessa análise qualitativa, tem-se que 7 das 12 tarefas de suporte da fase conceitual que convergiram com as tarefas de certificação.

A análise da combinação das tarefas foi realizada observando principalmente o que cada elemento de suporte pode interagir e agregar para conseguir realizar uma transição de fase eficaz do ponto de vista de suporte. Um exemplo dessa análise está no item (1.2.1. A base de certificação aplicável). Nessa tarefa em específico há três elementos de suporte diferentes, o Gerenciamento de Suporte do Produto com a tarefa Análise de Alternativas, chamada também de Captura dos Requisitos de Suporte, o elemento Influência no Projeto com a tarefa de Análise de RAMT (*Reliability, Availability, Maintainability e Testability*) e, por último, o elemento de Manutenção com a tarefa de Desenvolver o Conceito de Manutenibilidade.

Na **Tabela 14** é possível verificar que uma tarefa de suporte, através de seus entregáveis, pode ser combinada em mais de uma tarefa do processo de certificação. A coluna SNC C+S apresenta a identificação das tarefas dos elementos de suporte que são síncronos com a certificação. Na coluna Análise Qualitativa da Combinação, foi explicado o motivo do relacionamento entre as tarefas. Nessa tabela, só estão as tarefas que convergiram, assim, a completa visualização dessa análise está disponível no link no apêndice A.

Tabela 14 – Parte da modelagem dos processos na fase Conceitual (Autor, 2023).

FASE CONCEITUAL	ID	Tarefa Certificação	SNC C+S	Tarefa Suportabilidade	Análise Qualitativa da Combinação
	1.1	1.1.1. O produto a ser certificado	2.1 2.2 2.3	2.1.1. Gerenciamento de Contrato 2.2.2. Análise de Alternativas 2.3.3. Desenvolver Plano do IPS	1- No contrato de suporte do produto, saída do item 2.1, está relacionado com a tarefa O Produto a Ser Certificado, pois, especifica requisitos, informações e planos de interessados e usuários, que influencia diretamente ao produto especificado no processo de certificação, gerando um relatório contratual para garantir que o desenvolvimento da suportabilidade seja implementada. 2- Com as entradas da tarefa 2.2.2, é gerado as saídas Conceito de Suporte, Documentos de Requisitos do Usuário, Requisitos de Suporte do Produto e Requisitos Operacionais, que estão relacionados com a tarefa 1.1.1 O Produto a ser Certificado, pois, captura e faz o levantamento de requisitos logísticos aplicados ao produto para as fases e tarefas posteriores, como a 1.2.1 base de certificação. 3- Com as entradas da tarefa 2.3.3, é gerado o Plano do IPS, que está relacionado com a tarefa O Produto a ser Certificado. Ela tem a intenção de de agregar no planejamento e implementação dos elementos logísticos ao longo do ciclo de vida. O output dessa tarefa, traz os elementos de suporte para o plano do processo de certificação, com capacidade de integrar e alocar de forma temporal as tarefas chaves para o continuamento do processo.
	1.2	1.2.1. A base de certificação aplicável	2.2 3.1 6.1	2.2.2. Análise de Alternativas 3.1.1. Análise de RAMT 6.1.1. Desenvolver Conceito de Manutenção	1- Com os inputs da tarefa 2.2.2, é gerado outputs Conceito de Suporte, Documentos de requisitos do usuário, requisitos de suporte do produto e Documentos de requisitos Operacionais. Esses, convergem com a atividade da Base de Certificação, pois traz outros requisitos necessários além dos requeridos pelas autoridades de aviação. 2- O output dessa tarefa 3.1.1, e está relacionado com a tarefa Base de Certificação, pois, apresenta análises de confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e testabilidade. Esses fatores iniciados nessa etapa e em paralelo a certificação, influenciará no nível de maturidade logística do produto nas próximas fases do ciclo de vida. 3- O Output da tarefa 6.1.1, Conceito de Manutenção, converge com a tarefa Base de Certificação, pois apresenta elementos iniciais do plano de manutenção e outras estratégias de suporte a ser realizada na certificação, como a Instrução de Aeronavegabilidade Continuada - ICA.
	1.3	1.3.1. Um plano de certificação discutido e acordado com a autoridade	2.1 2.2 2.3 3.1 4.1	2.1.1. Gerenciamento de Contrato 2.2.2. Análise de Alternativas 2.3.3. Desenvolver Plano do IPS 3.1.1. Análise de RAMT 4.1.1. Análise de Instalações e Infraestrutura	1- Com os inputs da tarefa 2.2.2, é gerado outputs Conceito de Suporte, Documentos de requisitos do usuário, requisitos de suporte do produto e Documentos de requisitos Operacionais. Esses, estão relacionados com a atividade Um Plano de Certificação Discutido e Acordado com a Autoridade, pois, traz outros requisitos necessários além dos requeridos pelas autoridades de aviação. 2- Com o input da tarefa 2.3.3, é gerado o IPS Plan, que está relacionado com a tarefa Um Plano de Certificação Discutido e Acordado com a Autoridade. Ela tem a intenção de agregar no planejamento e implementação dos elementos logísticos ao longo do ciclo de vida. O output dessa tarefa, traz os elementos de suporte para o plano do processo de certificação, com capacidade de integrar e alocar de forma temporal as tarefas chaves para o continuamento do processo. 3- No contrato de suporte do produto, output do item 2.1, está relacionado com a tarefa Um Plano de Certificação Discutido e Acordado com a Autoridade, pois, especifica requisitos, informações e planos de stakeholders e usuários, em que influencia diretamente ao produto especificado no processo de certificação.
	1.4	1.4.1. Um cronograma do projeto contendo os principais milestones	2.3	2.3.3. Desenvolver Plano do IPS	1- Com o input da tarefa 2.3.3, é gerado o IPS Plan, que está relacionado com a tarefa Um Cronograma do Projeto Contendo os Principais Milestones. Ela tem a intenção de agregar no planejamento e implementação dos elementos logísticos ao longo do ciclo de vida. O output dessa tarefa, traz os elementos de suporte para o plano do processo de certificação, com capacidade de integrar e alocar de forma temporal as tarefas chaves para o continuamento do processo.
	1.5	1.5.1. O nível de envolvimento da autoridade	2.2 2.3 2.5	2.2.2. Análise de Alternativas 2.3.3. Desenvolver Plano do IPS 2.5.5. Controle de Configuração	1- Com os inputs e outputs da tarefa 2.2.2, é gerado outputs Conceito de Suporte, Documentos de requisitos do usuário, requisitos de suporte do produto e Documentos de requisitos Operacionais. Esses, estão relacionados com a atividade O nível de envolvimento da autoridade, pois, traz outros requisitos necessários além dos requeridos pelas autoridades de aviação. 2- Com o input e outputs da tarefa 2.3.3, é gerado o IPS Plan, que está relacionado com a tarefa O Nível de Envolvimento da Autoridade. Ela tem a intenção de agregar no planejamento e implementação dos elementos logísticos ao longo do ciclo de vida. O output dessa tarefa, traz os elementos de suporte para o plano do processo de certificação, com capacidade de integrar e alocar de forma temporal as tarefas chaves para o continuamento do processo. 3- Os outputs da tarefa 2.5.5 converge pois garante que todo o processo de suporte tera um controle de configuração para o nível de envolvimento com a autoridade de aviação.

Para visualizar o fluxo e a interação entre as tarefas, entradas e saídas do processo, foi aplicado a modelagem em BPMN.

A **Figura 20** demonstra como foi modelado em formato BPMN a primeira tarefa, denominada: (1.1.1 O produto a ser certificado).

Os itens em amarelo são as entradas, em azul são as saídas, em cinza são as tarefas do desenvolvimento de suporte e, em verde, as tarefas do processo de certificação. Do lado esquerdo o fluxo do processo de suporte que interagem entre si e posteriormente se integram com a atividade de certificação do lado direito do diagrama. As simbologias do diagrama representam um início, com tarefas chaves em paralelo relacionadas com suas entradas e saídas e finalizando a tarefa com entregável. Observa-se que as saídas das tarefas de suportabilidade se juntam para complementar a tarefa de certificação.

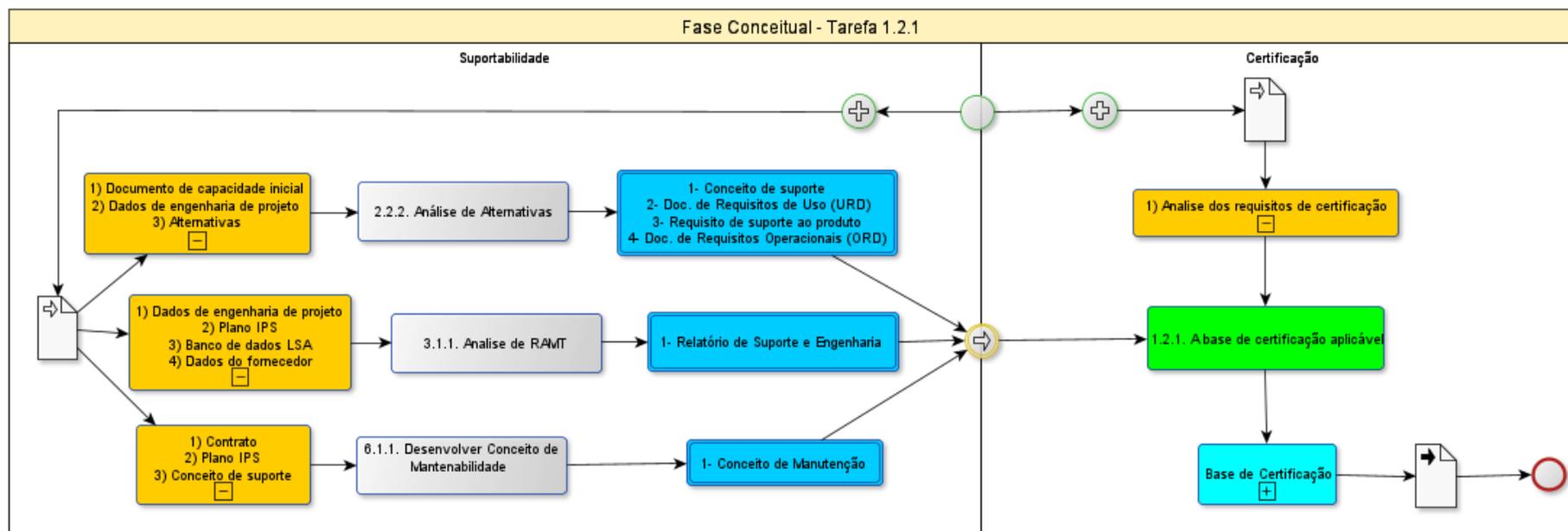


Figura 20 - Tarefa 1.2.1 A base de certificação aplicável, modelada em BPMN (Autor, 2023).

Para verificar a combinação das tarefas, foi modelado no software de gerenciamento de projetos *Monday*, que possui a ferramenta de *Gantt*, e permite visualizar de modo temporal e planejado as tarefas síncronas dos dois processos na fase Conceitual. A **Figura 21** apresenta o resultado desse alinhamento dos planos.

As linhas da cor verde representam as atividades do processo de certificação enquanto as linhas de cor amarelo são as tarefas de suporte, gerenciadas no tempo de forma trimestral.

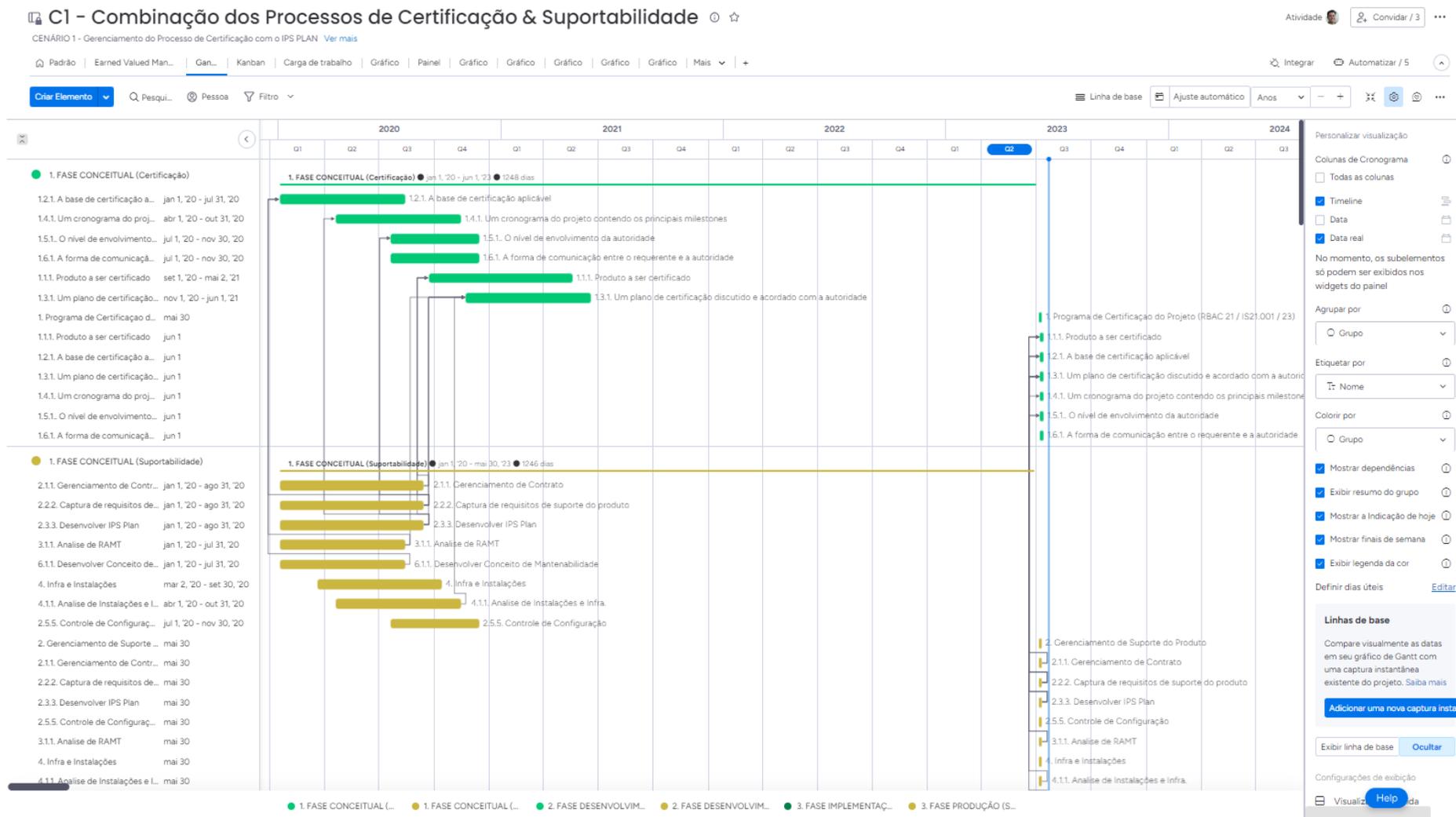


Figura 21 – Parte da combinação temporal das tarefas de Certificação e Suporte na fase Conceitual, modelado no Monday (Autor, 2023).

4.1.3 Análise dos resultados da análise qualitativa na fase Desenvolvimento

Na fase de desenvolvimento, 12 das 28 tarefas de suporte obteve convergência com a certificação.

A **Tabela 15** apresenta parte das tarefas que podem ser combinadas dentro da fase de desenvolvimento. Observa-se novamente que mais de uma tarefa de suporte pode ser relacionada a uma tarefa da certificação.

Nessa fase, elementos de suporte como os de Gerenciamento de Suporte do Produto, Mão de Obra, Influência no Projeto, Dados Técnicos e Recursos Computacionais, foram os que tiveram a sincronização de tarefas na fase de desenvolvimento do processo de certificação.

A **Figura 22** demonstra o modelo em formato BPMN de duas tarefas que convergiram: a (8.5.1 Análise de suficiência de dados) da certificação, com outras três da suportabilidade e a (10.1.1. Gerenciamento de recursos computacionais para o programa), (20.1.1. Desenvolver pacote de dados técnicos) e (20.2.1. Desenvolver publicações técnicas).

Para relacionar as tarefas do plano no tempo, foi modelado, no software *Monday*, as tarefas síncronas do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto na fase de Desenvolvimento com as da Certificação utilizando a ferramenta de *Gantt*. A **Figura 23** apresenta o resultado desse alinhamento.

As linhas da cor verde representam as atividades do processo de certificação, enquanto as linhas de cor amarelo representam as tarefas da suportabilidade, ambas gerenciadas no tempo de forma trimestral.

Tabela 15 - Parte da modelagem dos processos na fase Desenvolvimento (Autor, 2023).

FASE DE DESENVOLVIMENTO	ID	Tarefa Certificação	SNC	Tarefa Suportabilidade	Análise da Sincronização
	8.2	8.2.1. Reunião de Apresentação do Projeto	16.3.1 16.7.1	16.3.1. Análise de Alternativas 16.7.1. Desenvolver IPS Plan	1- Com os inputs da tarefa 16.3.1, é gerado os outputs Conceito de Suporte, Documentos de requisitos do usuário, requisitos de suporte do produto e Documentos de requisitos Operacionais. Esses, estão relacionados com a atividade Reunião de Apresentação do Projeto, pois, traz outros requisitos necessários além dos requeridos pelas autoridades de aviação a ser debatidos nessa etapa do desenvolvimento. 2- Com o input da tarefa 16.7.1, é gerado o IPS Plan, que está relacionado com a tarefa Reunião de Apresentação do Projeto. Ela tem a intenção de agregar no planejamento e implementação dos elementos logísticos ao longo do ciclo de vida. O output dessa tarefa, traz os elementos de suporte para o plano do processo de certificação, com capacidade de integrar e alocar de forma temporal as tarefas chaves para o continuamento do processo. O IPS Plan deve ser debatido nessa etapa do desenvolvimento concomitante a certificação.
	8.4	8.4.1. Designação do Coordenador e da equipe do Projeto	14.1	14.1.1. Executar análise de mão de obra	1- Com o output da tarefa 14.1.1, Relatório de Pessoal e Mão de Obra, a tarefa Designação do Coordenador e da equipe do Projeto, estão relacionadas. O relatório fornece recursos de pessoal, com as habilidades necessárias para realizar as tarefas de manutenção e outras de suporte ao longo do ciclo de vida.
	8.5	8.5.1. Análise de suficiência de dados	10.1 20.1 20.2	10.1.1. Gerenciamento de Recursos Computacionais para o Programa 20.1.1. Desenvolver pacote de dados técnicos 20.2.1. Desenvolver publicações técnicas	1- Os outputs Plano de Recursos Computacionais do IPS e Mudanças de Dados Técnicos do elemento de recursoS computacionais, estão relacionados com a tarefa Análise de suficiência de dados. Esses outputs de suporte fornecerão recursos de gerenciamento de configuração e recursos computacionais para a tarefa do plano da certificação. 2- Com os inputs da tarefa 20.1.1, é gerado outputs capaz de apoiar estrategicamente na tarefa de Análise de Suficiência de Dados do plano da certificação, com os dados técnicos de aquisição, engenharia, produção e suporte. Consiste em todas as informações técnicas aplicáveis, por exemplo: desenhos, listas associadas, especificações, padrões, requisitos de desempenho, provisões de garantia de qualidade, publicações técnicas e detalhes logísticos. 3- O output da tarefa 20.2.1, Publicações Técnicas, converge com a tarefa de Análise de Suficiência de Dados, pois, ele traz recursos dos manuais que contém instruções para a instalação, operação, manutenção, treinamento e suporte de sistemas e equipamentos de suporte. As publicações técnicas normalmente incluem instruções operacionais e de manutenção, listas de peças ou detalhamento de peças e informações técnicas relacionadas ou procedimentos exclusivos de procedimentos administrativos.
	9.1	9.1.1. Análise Inicial do Projeto	11.1	11.1.1. Análise de RAMT	1- O output dessa tarefa 3.1.1, Relatório de Engenharia de Suporte, está relacionado com a tarefa Análise Inicial do Projeto, pois, apresenta análises de confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e testabilidade. Esses fatores iniciados nessa etapa e em paralelo a certificação, influenciará no nível de maturidade logística do produto nas próximas fases do ciclo de vida.
	9.2	9.2.1. Reunião de Familiarização Técnica	14.1	14.1.1. Executar análise de mão de obra	1- Com o output da tarefa 14.1.1, Relatório de Pessoal e Mão de Obra e a tarefa Reunião de Familiarização Técnica estão relacionadas. O relatório fornece recursos de pessoal, com as habilidades necessárias para realizar as tarefas de manutenção e outras de suporte nessa etapa do ciclo de vida, concomitante ao processo de certificação.
	9.3	9.3.1. Reunião Preliminar do conselho de Cert. De Tipo Tipo (PTCBM)	14.1	14.1.1. Executar análise de mão de obra	1- Com o output da tarefa 14.1.1, Relatório de Pessoal e Mão de Obra e a tarefa Reunião Preliminar do conselho de Cert. De Tipo Tipo (PTCBM) estão relacionadas. O relatório fornece recursos de pessoal, com as habilidades necessárias para realizar as tarefas de manutenção e
	9.4	9.4.1. Base de Certificação	11.1 11.3 13.1 13.3 13.4 13.5 16.7 20.2	11.1.1. Análise de RAMT 11.3.1. Executar LSA 13.1.1. Desenvolver Conceito de Manutenibilidade 13.3.1. Desenvolver Plano de Manutenção 13.4.1. Análise de Suportabilidade e segurança 13.5.1. Análise de Manutenção programada MTA 16.7.1. Desenvolver IPS Plan	1- O output da tarefa 3.1.1, Relatório de Engenharia de Suporte, está relacionado com a tarefa Base de Certificação, pois, apresenta análises de confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e testabilidade. Esses fatores iniciados nessa etapa e em paralelo a certificação, influenciará no tratamento da base regulamentar a ser discutida, assim, fornecerá recursos de suporte para aumentar nível de maturidade logística do produto nas próximas fases do ciclo de vida. 2- Com o output da tarefa 11.3.1, Dados do LSA, a tarefa Base de Certificação estão relacionadas. A análise de dados de suporte fornecerá uma fonte de informação para o projeto e desenvolvimento dos requisitos e recursos de suporte. A convergência das tarefas se dá pelo tratamento dos dados de suporte fornecidos pelos inputs e output dessa tarefa do IPS, que podem ser utilizadas no processo da certificação. 3- Com o output da tarefa 13.1.1, o Conceito de Manutenção, converge com tarefa Base de Certificação com considerações de manutenção, restrições e estratégia para o suporte operacional que rege os níveis de manutenção e o tipo de atividades de manutenção a serem realizadas para o produto.
	9.6	9.6.1. Plano de Certificação do Requerente - PCR	16.7	16.7.1. Desenvolver IPS Plan	1- Com o input da tarefa 16.7.1, é gerado o IPS Plan, que está relacionado com a tarefa Plano de Certificação do Requerente - PCR. Ela tem a intenção de influenciar no planejamento e implementação dos elementos logísticos ao longo do ciclo de vida. O output dessa tarefa, traz os elementos de suporte para o plano do processo de certificação, com capacidade de integrar e alocar de forma temporal as tarefas chaves para o continuamento do processo. O IPS Plan deve ser debatido nessa etapa do desenvolvimento concomitante a certificação.

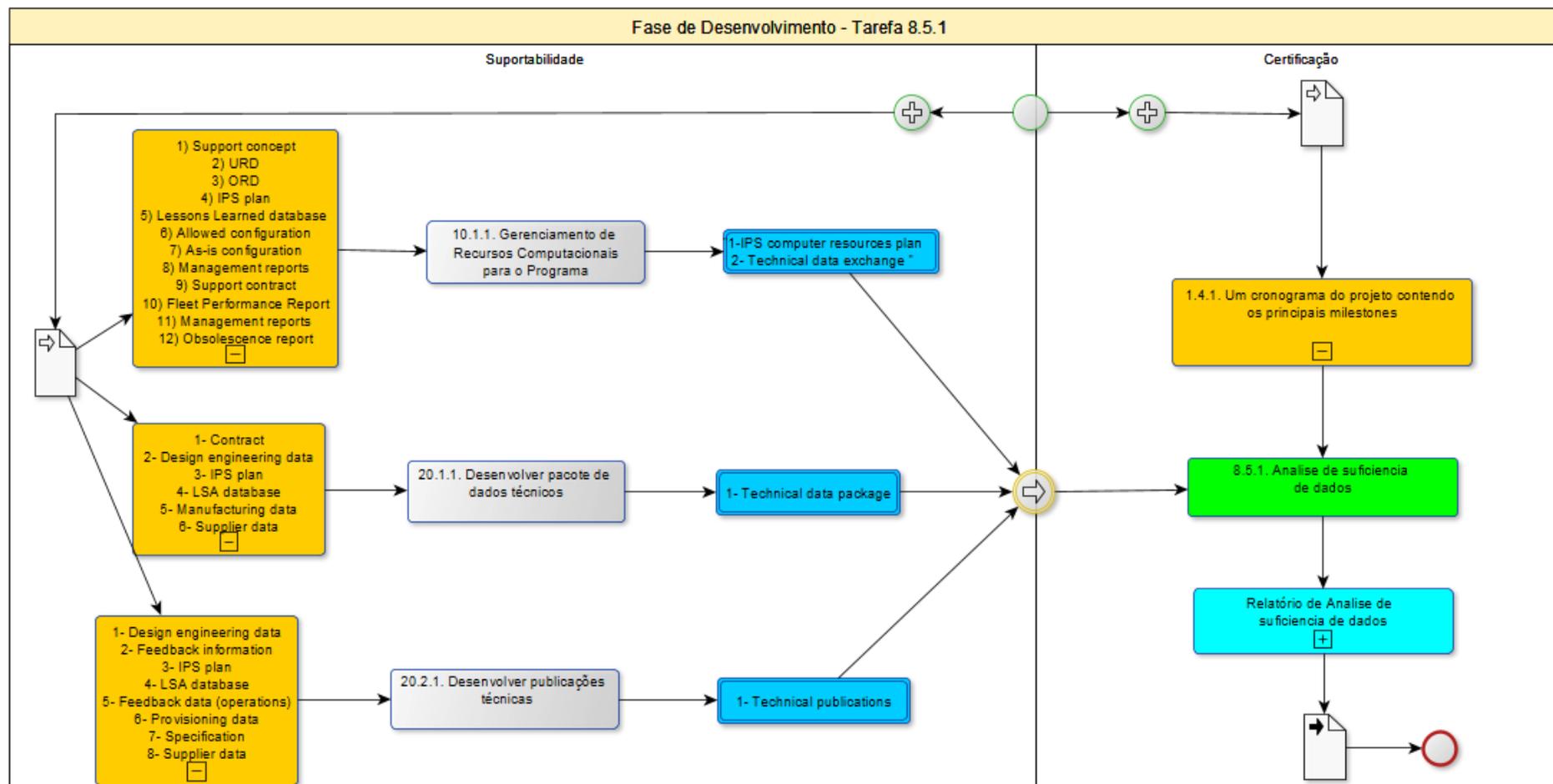


Figura 22 - Tarefa 8.5.1 Análise de suficiência de dados, modelada em BPMN (Autor, 2023).

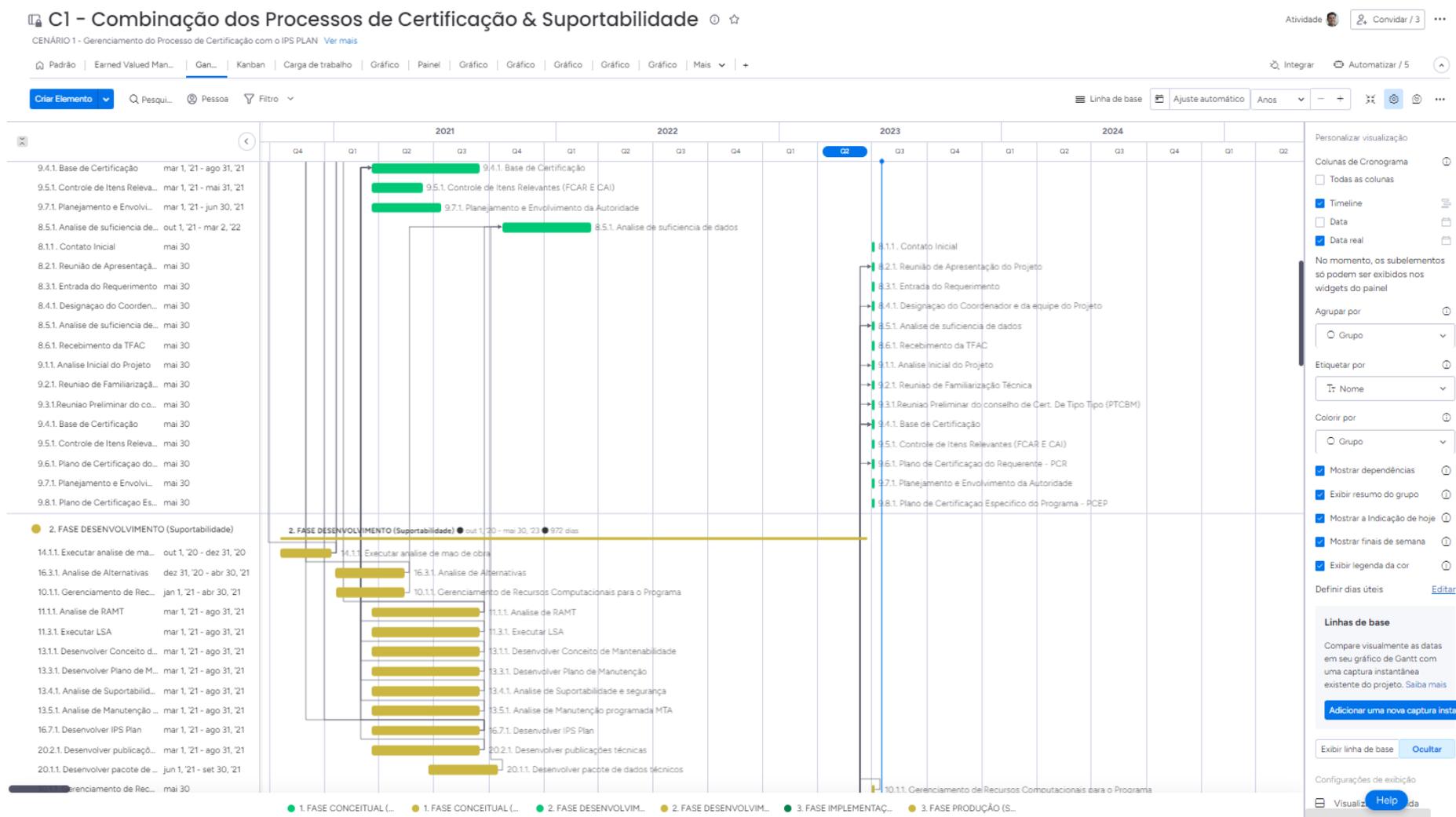


Figura 23 – Parte da combinação temporal das tarefas de Certificação e Suportabilidade na fase de Desenvolvimento, modelado no Monday (Autor, 2023).

4.1.4 Análise dos resultados da análise qualitativa na fase Produção

Na fase de produção, 10 das 22 tarefas da suportabilidade que são convergentes com as tarefas de certificação. Devido a sua extensão, a **Tabela 16** da fase de produção apresenta apenas uma parte da análise.

Assim como em todas as outras tabelas da modelagem, houve uma organização e identificação para as programações em outras ferramentas de gerenciamento de projeto. A análise da combinação entre as tarefas foi realizada sobre cada entregável de ambos os processos que convergiram.

Tabela 16 - Parte da modelagem dos processos na fase Produção (Autor, 2023).

ID	Tarefa Certificação	SNC C+S	Tarefa Suportabilidade	Análise da Sincronização
FASE PRODUÇÃO	22.18. INSTRUÇÕES PARA AERONAVEGABILIDADE CONTINUADA			
	(b) As <u>Instruções para Aeronavegabilidade Continuada para cada avião</u> devem incluir as Instruções de Aeronavegabilidade Continuada para cada motor e hélice (doravante denominados "produtos"), para cada equipamento exigido pela ANAC e qualquer informação necessária relacionada à interface desses equipamentos e produtos com o avião. Se as Instruções para Aeronavegabilidade Continuada não forem fornecidas pelo fabricante de um equipamento ou produto instalado no avião, as Instruções para Aeronavegabilidade Continuada do avião devem incluir as informações essenciais para a aeronavegabilidade continuada do avião.	24.1 28.1	24.1.1. Executar LSA 28.1.1. Gerenciamento de Contrato	1- Com o output da tarefa 24.1.1, Dados do LSA, a Instrução de Aeronavegabilidade Continuada terá uma fonte de informação para o projeto e desenvolvimento de requisitos e recursos de suporte. A convergência das tarefas se dá pelo tratamento dos dados de suporte fornecidos pelos inputs e outputs dessa tarefa do IPS. 2- Com os outputs da tarefa 28.1.1, Relatório de Gerenciamento e Contrato de Suporte, está relacionado com a Instrução de Aeronavegabilidade Continuada - ICA através de seus inputs e, também, pela geração de relatórios com diversos elementos de suporte já estruturados das fases anteriores, que impactam nos relatórios de ICA que estão sendo desenvolvidos nessa fase do ciclo de vida.
	(c) O requerente deve submeter à ANAC um programa para mostrar como as mudanças nas Instruções de Aeronavegabilidade Continuada, feitas pelo requerente ou pelos fabricantes de produtos e equipamentos instalados no avião, serão distribuídas.	28.2.1	28.2.1. Gerenciamento de Configuração - CM	1- Os outputs da tarefa 28.2.1, que trazem recursos de gerenciamento de configuração e estão diretamente relacionados ao elemento de Instrução de Aeronavegabilidade Continuada, pois influencia como os dados de suporte serão tratados durante o decorrer do desenvolvimento até a operação do produto.
	(a) As Instruções para Aeronavegabilidade Continuada devem ser na forma de um manual ou manuais, conforme apropriado à quantidade de dados a serem fornecidos.	31.1 31.2	31.1.1. Desenvolver pacote de dados técnicos 31.2.1. Desenvolver publicações técnicas	1- O output da tarefa 31.1.1, Technical Data Package, converge com a tarefa de Manuais da Aeronavegabilidade Continuada, pois, ela traz uma descrição técnica de um item adequado para apoiar uma estratégia de aquisição, produção, engenharia e suporte. A descrição define a configuração de projeto necessária e os procedimentos para garantir a adequação do desempenho do item. Consiste em todas as informações técnicas aplicáveis (por exemplo, desenhos, listas associadas, especificações, padrões, requisitos de desempenho, disposições de garantia de qualidade, publicações técnicas e detalhes de embalagem). 2- O output da tarefa 31.2.1, Publicações Técnicas, converge com a tarefa de Manuais da Aeronavegabilidade Continuada, pois, ele traz recursos dos manuais que contêm instruções para a instalação, operação, manutenção, treinamento e suporte de sistemas e equipamentos de suporte. As publicações técnicas normalmente incluem instruções operacionais e de manutenção, listas de peças ou detalhamento de peças e informações técnicas relacionadas ou procedimentos exclusivos de procedimentos administrativos.
	(b) O formato do manual ou dos manuais deve garantir uma organização prática.	31.1 31.2	31.1.1. Desenvolver pacote de dados técnicos 31.2.1. Desenvolver publicações técnicas	1- O output da tarefa 31.1.1, Technical Data Package, converge com a tarefa de Manuais da Aeronavegabilidade Continuada, pois, ela traz uma descrição técnica de um item adequado para apoiar uma estratégia de aquisição, produção, engenharia e suporte. A descrição define a configuração de projeto necessária e os procedimentos para garantir a adequação do desempenho do item. Consiste em todas as informações técnicas aplicáveis (por exemplo, desenhos, listas associadas, especificações, padrões, requisitos de desempenho, disposições de garantia de qualidade, publicações técnicas e detalhes de embalagem). 2- O output da tarefa 31.2.1, Publicações Técnicas, converge com a tarefa de Manuais da Aeronavegabilidade Continuada, pois, ele traz recursos dos manuais que contêm instruções para a instalação, operação, manutenção, treinamento e suporte de sistemas e equipamentos de suporte. As publicações técnicas normalmente incluem instruções operacionais e de manutenção, listas de peças ou detalhamento de peças e informações técnicas relacionadas ou procedimentos exclusivos de procedimentos administrativos. As publicações técnicas podem ser apresentados em qualquer forma ou característica, incluindo mas não limitado a cópia impressa, áudio e exibições visuais, fita magnética, discos e outros dispositivos eletrônicos.
	(a) Manual ou seção de manutenção do avião.	26.1 26.2 26.3 26.4	26.1.1. Desenvolver Plano de Manutenção 26.2.1. Análise de Suportabilidade e segurança	1- Com o output da tarefa 26.1.1, Plano de Manutenção, a tarefa Manual ou Seção de Manutenção do Avião, convergem entre si, pois ambas apresentam recursos internos aos manuais de manutenção, a elaboração da ICA, plano de manutenção preventiva e corretiva. 2- Com o output da tarefa 26.2.1, o Relatório de Segurança e Suporte, converge com tarefa de Manual e Seção de Manutenção da Aeronave pois, já veio estruturado da convergência da tarefa Base de Certificação, assim aplicando recursos e resultados de análises de segurança com a suportabilidade do produto para a fase de operação.
	(1) Informação introdutória que inclua uma explicação dos dados e das características do avião na medida necessária para manutenção ou manutenção preventiva;		26.3.1. Desenvolver melhorias de Manutenção Preventiva	3- O output da tarefa 26.3.1, PMTR (Requisitos da tarefa de manutenção preventiva), converge com a tarefa Manual ou Seção de Manutenção da Aeronave, pois ela define e seleciona os requisitos de manutenção com intervalos de tempo para componentes e equipamentos.
	(2) Uma descrição do avião e seus sistemas e instalações, incluindo seus motores, hélices e equipamentos;		26.4.1. Análise de D&PHM	4- Com o output da tarefa 26.4.1, Relatório de Testabilidade, está relacionado com a tarefa de Manual ou Seção de Manutenção pois, ela traz resultados do DPHM (Diagnóstico, prognósticos e monitoramento da Saúde), recursos esses que são fundamentais para a Instrução de Aeronavegabilidade Continuada - ICA.
	(3) Informações básicas de controle e operação descrevendo como os componentes e sistemas do avião são controlados e como eles operam, incluindo quais quer procedimentos especiais e limitações aplicáveis;			
	(4) Informações de serviço que cubram detalhes sobre pontos de serviço, capacidades de tanques, reservatórios, tipos de fluidos a serem utilizados, pressões aplicáveis aos vários sistemas, localização dos painéis de acesso para inspeção e serviço, pontos de lubrificação, lubrificantes a serem usados, equipamentos necessários para serviço, instruções e limitações de reboque, informações de amarração, levantamento e nivelamento.			

A **Figura 24** apresenta a tarefa de Gerenciamento de Configuração, (do inglês *Configuration Management*), que é abordada na Engenharia de Sistemas e faz parte da especificação do Suporte Integrado do Produto, que é importante para garantir a integridade das informações contidas na ICA, atualizadas e disponíveis ao longo do tempo de operação. Nesse contexto, a relação entre esse item de suporte e a tarefa (22.18.3 Programa de mudanças no ICA), são fundamentais para garantir a segurança e a eficiência operacional da aeronave no que se refere a parte de controle documental durante todo o seu ciclo operacional, aumentando assim outros fatores além do *Safety*.

Essa tarefa da ICA aborda o conceito de mudanças e modificações que serão realizadas ao longo da fase operacional.

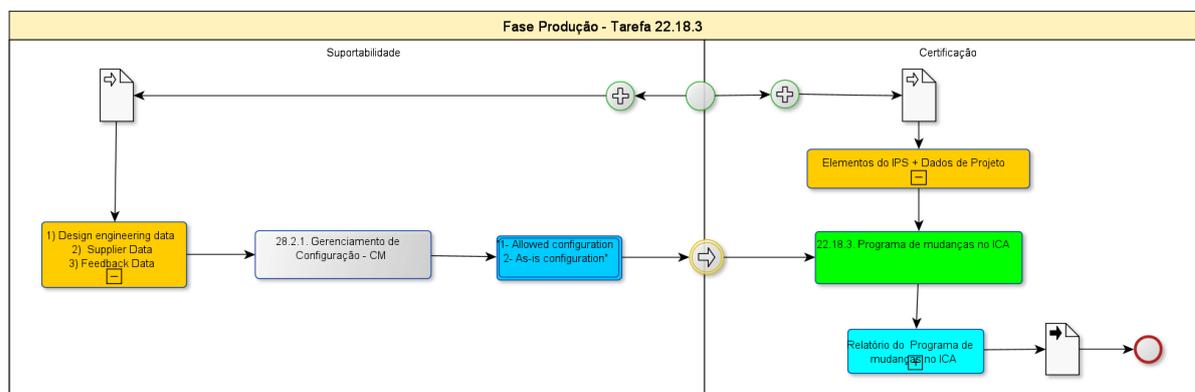


Figura 24 - Análise de Sincronização das tarefas convergentes entre os planos na fase de Produção, Tarefa 22.18.3, modelado em BPMN (Autor, 2023).

Para colocar as tarefas no tempo foram modeladas no software *Monday* as tarefas combinadas do Desenvolvimento de Suporte da fase de Produção com as da Certificação integrado na ferramenta *Gantt*. A **Figura 25** apresenta uma parte desse alinhamento entre os planos.

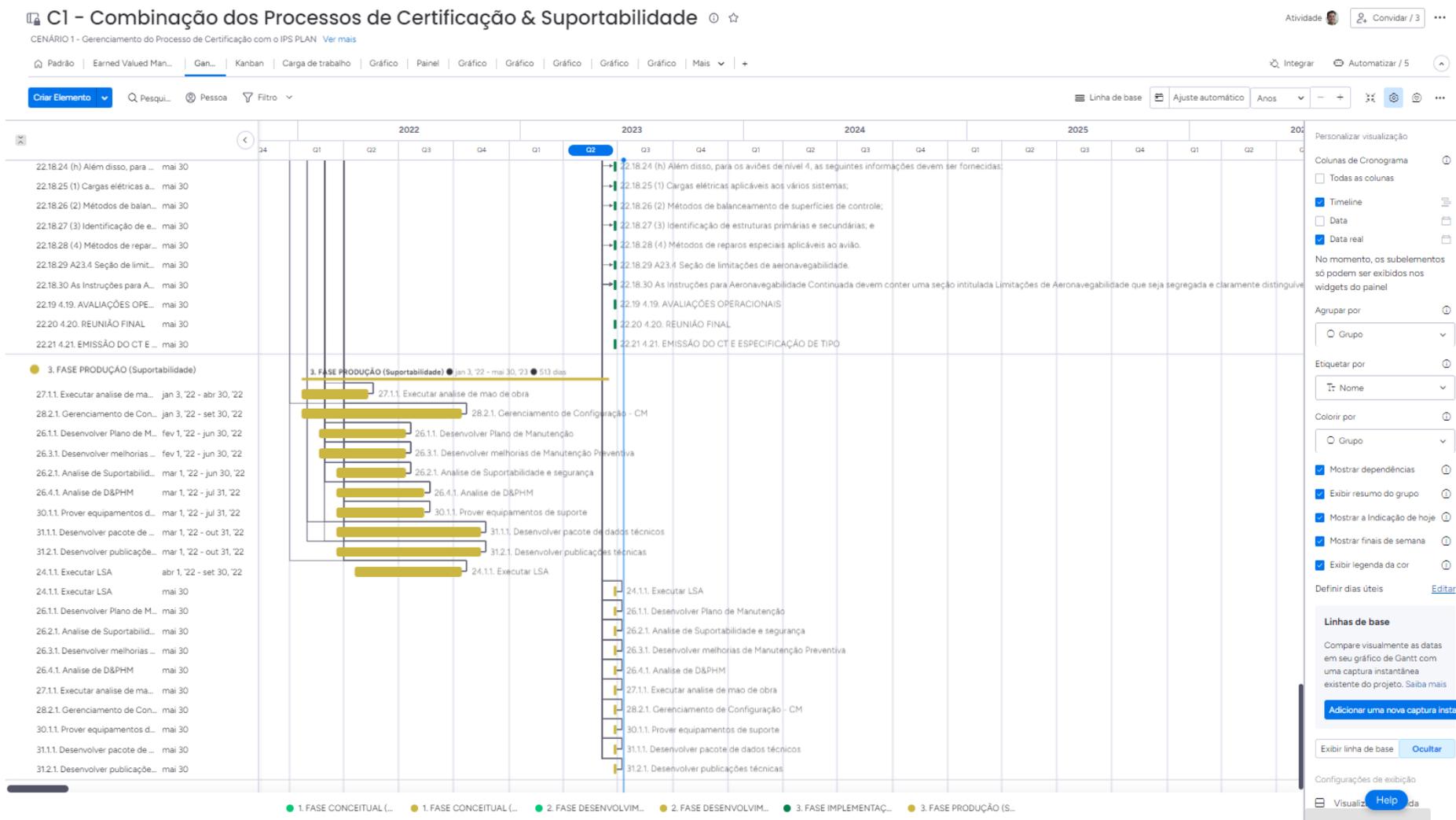


Figura 25 – Parte da combinação temporal das tarefas de Certificação e Suportabilidade na fase de produção, modelado no Monday (Autor, 2023).

As linhas da cor verde representam as atividades do processo de certificação enquanto as linhas de cor amarelo representam as tarefas do Desenvolvimento de Suporte Integrado do Produto, ambas gerenciadas no tempo de forma anual. Nesse caso a forma anual foi utilizada devido ao longo período necessário para o cumprimento das tarefas.

O tempo total desse cenário modelado com a sincronização entre planos foi de 3 anos e 4 meses. Esse tempo está dentro do esperado para uma certificação de uma aeronave da categoria normal do RBAC 23, conforme estabelecido na modelagem.

Um fator importante a se considerar é que esse tempo do processo pode variar devido a diversas restrições como: porte, complexidade do produto, maturidade da equipe, infraestrutura, recursos computacionais utilizados, dentre outros.

4.1.5 Discussão dos resultados da análise qualitativa nas três primeiras fases do ciclo de vida

O resultado somando a porcentagem das convergências entre as tarefas de suporte com as tarefas da certificação é aproximadamente 49% de sincronização.

Isso infere que algumas entradas e saídas das tarefas de suporte entregam itens novos ou algum item que pode ser complementado em uma determinada tarefa da certificação, como veremos nas discussões nos próximos subcapítulos.

A partir dos resultados dessa análise, foi possível servir de dados de entrada para as aplicações dos métodos de Nível de Maturidade de Suporte e de Gerenciamento de Projeto.

4.1.6 Discussão dos resultados na fase conceitual

O resultado da análise qualitativa nessa fase, de todas as tarefas dos processos, traz alguns pontos importantes a serem considerados, conforme listado abaixo:

- Das 12 tarefas de suporte nessa fase, 7 foram síncronas ao plano de certificação.
- As saídas dos elementos de Gerenciamento de Suporte do Produto e Influência no Projeto foram predominantes na maior parte das principais tarefas de certificação dessa fase.
- A tarefa 2.3 - Desenvolver o Plano de Suporte Integrado do Produto, pode ser utilizada em quatro das seis tarefas chaves da fase conceitual. A sua saída pode ser parte integrante do plano de certificação agregando no planejamento e implementação das tarefas dos elementos logísticos ao longo do ciclo de vida.

Assim, o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto na fase conceitual pode ser utilizado no processo de certificação, para:

- Identificar requisitos de suporte necessários para todo o ciclo de vida do produto, determinar quais atividades serão necessárias e como elas serão realizadas.
- Definir as responsabilidades das partes interessadas no suporte ao produto. Isso inclui os fornecedores, os usuários finais, as equipes de manutenção e as equipes de suporte técnico.
- Identificar os recursos necessários para fornecer suporte ao produto. Isso inclui pessoal, infraestrutura, ferramentas, equipamentos e suprimentos.
- Gerenciar os custos associados ao suporte do produto. Ele permite que a equipe de gerenciamento de projeto planejem, monitorem e controlem os custos relacionados às atividades de suporte.

Com isso, as tarefas da fase Conceitual do processo de certificação aeronáutica e a fase Conceitual da Suportabilidade estão relacionadas pois ambas ocorrem no início do ciclo de vida do produto e são críticas para garantir que os requisitos do usuário sejam compreendidos e atendidos adequadamente no início e durante todo o processo de desenvolvimento e operação da aeronave.

Na fase conceitual do processo de certificação aeronáutica o fabricante da aeronave deve identificar a missão da aeronave, as especificações de desempenho, os requisitos regulatórios e as necessidades do usuário. Nessa fase é importante que o fabricante comece a considerar os requisitos de suporte como manutenção, peças de reposição, manuais e publicações técnicas, para garantir que esses requisitos sejam considerados ao longo do processo de desenvolvimento.

Da mesma forma, na fase conceitual da suportabilidade, o fabricante deve identificar os requisitos de suporte para a aeronave como manutenção, treinamento e gerenciamento de configuração. Nessa fase o fabricante deve trabalhar em estreita colaboração com os usuários e outras partes interessadas para entender suas necessidades e expectativas em relação ao suporte do produto.

Assim, conclui-se que parte das tarefas do Processo de Certificação na fase conceitual e parte das tarefas do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto estão relacionadas, pois ambos buscam capturar, analisar e alocar as necessidades e expectativas dos usuários e outras partes interessadas para desenvolver requisitos de suporte adequados para a aeronave ao longo de todo o seu ciclo de vida, podendo assim melhorar os níveis de RAMS nas fases posteriores.

4.1.7 Discussão dos resultados na fase de Desenvolvimento

Nessa fase do processo de certificação, a partir da análise realizada, das 28 tarefas de suporte, apenas 12 foram relacionadas através de suas entradas e saídas.

Elementos como os de Gerenciamento de Suporte do Produto, Mão de Obra, Influência no Projeto, Dados Técnicos e Recursos Computacionais, foram os que tiveram a sincronização de tarefas com o Processo de Certificação na fase de desenvolvimento.

O resultado da análise qualitativa nessa fase trouxe alguns pontos importantes a serem considerados, conforme listado abaixo:

- As saídas dos elementos de Gerenciamento de Suporte do Produto, Mão de Obra e Influência no Projeto foram predominantes na maior parte das principais tarefas de certificação dessa fase.
- A tarefa 16.7 - Desenvolver o Plano de Suporte Integrado do Produto, pode ser utilizada em três das seis tarefas chaves da fase de Definição dos Requisitos e Planejamento de Cumprimento. A sua saída pode ser parte integrante do plano de certificação, agregando no planejamento e implementação das tarefas dos elementos de suporte ao longo do ciclo de vida.
- A tarefa 9.4.1 – Base de Certificação obteve convergência com sete tarefas de quatro diferentes elementos de suporte. Essa tarefa de certificação determina as condições especiais do produto, níveis equivalentes de segurança, isenções e meios aceitáveis de cumprimento dos requisitos.

Nessa fase quase 43% das tarefas de suporte foram síncronas em alguma tarefa do processo de certificação. Assim, constata-se que elas podem ser relacionadas e concomitantes em um planejamento.

4.1.8 Discussão dos resultados na fase de Produção

Os elementos de suporte do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto que se relacionam com as tarefas da certificação nessa fase são: Manutenção, Gerenciamento de Suporte do Produto, Influência no Projeto, Dados Técnicos, Mão de Obra e Ferramental.

Nesse contexto, verificou-se que parte das tarefas dos elementos de suporte na fase de produção são diretamente relacionadas com a Instrução de Aeronavegabilidade Continuada - ICA, uma vez que ambos são focados no contexto da garantia da manutenção da aeronave durante a fase operacional.

A ICA é um elemento obrigatório que deve ser desenvolvido pelo fabricante da aeronave e aprovado pela autoridade de aviação no fim da Certificação de Tipo. Ela detalha as informações necessárias para manter a aeronave em condições de aeronavegabilidade bem como descreve as tarefas de manutenção, inspeções e modificações, incluindo instruções de reparo, informações sobre peças e materiais, e outros aspectos que são essenciais para manter a operação segura.

Assim, alguns elementos de suporte, incluindo a Manutenção, Dados Técnicos e Ferramental, são diretamente relacionados com a ICA uma vez que fornecem as informações e as capacidades necessárias para realizar as tarefas de manutenção, inspeções e modificações descritas na mesma.

O resultado da análise qualitativa nessa fase trouxe alguns pontos importantes para serem considerados, conforme listado abaixo:

- Das 22 tarefas de suporte nessa fase, 10 foram síncronas ao plano da certificação.
- As saídas dos elementos de Manutenção, Influência no Projeto, Dados Técnicos, Gerenciamento de Suporte do Produto, Mão de Obra e Ferramental, foram predominantes na maior parte das principais tarefas de certificação dessa fase.
- As tarefas 26.1.1 - Desenvolver Plano de Manutenção, 26.2.1 - Análise de Suportabilidade e Segurança, 26.3.1 - Desenvolver melhorias de Manutenção Preventiva e 26.4.1 - Análise de DPHM (*Diagnostics, Prognostics and Health Management*), todas do elemento de Manutenção, podem ser utilizadas em oito das cinquenta tarefas chaves da fase de Produção. A sua saída pode ser parte integrante do plano de certificação principalmente com a integração ao ICA.
- Nessa fase, evidenciou a proximidade entre os recursos de suporte, principalmente com os das tarefas do elemento de manutenção, com os elementos da ICA.
- Algumas saídas das tarefas do elemento Influência no Projeto são assíncronos e podem complementar o desenvolvimento da ICA, uma vez que ela não aborda itens como o Custo do Ciclo de Vida – LCC e alguns elementos de Análise de Suporte do Produto.

4.1.9 Discussão sobre as tarefas que não foram combinadas

Através da modelagem e análise dos resultados da análise qualitativa, foram constatados alguns elementos e tarefas do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto que não convergiram ao Processo de Certificação. Esse fato acontece porque as saídas das tarefas, como exemplo dos elementos Gerenciamento de Suporte Continuado, Suprimentos e Operações Logísticas, entregam itens relacionados ao ambiente operacional, ou seja, essas se afastam do escopo de *Safety* dos regulamentos aeronáuticos.

Ficou claro na análise que a certificação não aborda itens que podem contribuir para uma boa relação custo-benefício na fase operacional, pois não tem em seu escopo de trabalho tarefas como o Custo do Ciclo de Vida do elemento Influência no Projeto, que deve ser realizada no início do ciclo de vida do desenvolvimento de suporte do produto.

É importante ressaltar que mesmo com a não integração de parte dessas tarefas verificadas na análise, com um planejamento e gerenciamento do projeto, é possível realizar cada uma delas, sempre verificando a adequabilidade do uso com o porte e complexidade do produto. A **Tabela 17** apresenta o resultado da análise qualitativa as tarefas não combinadas do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto ao Processo de Certificação.

Essa tabela apresenta uma parte do resultado da análise qualitativa das tarefas dos elementos de suporte que irão completar o plano da suportabilidade, ou seja, as tarefas que garantirão um nível mais elevado de maturidade do ponto de vista de suporte.

Tabela 17 – Tarefas não convergentes do Desenvolvimento da Suportabilidade ao Processo de Certificação (Autor, 2023).

1. Fase Conceitual (Suportabilidade)	
Elemento	Descrição da Tarefa
Gerenciamento de Suporte do Produto	2.4.4. Lições aprendidas
	2.6.6. Gerenciamento de frota
Influência no Projeto	3.2.2. Executar LCC
Ferramental	5.1.1. Análise de requisitos dos equipamentos de suporte
Recursos computacionais	7.1.1. Recursos computacionais para o Programa
2. Fase Desenvolvimento (Suportabilidade)	
Elemento	Descrição da Tarefa
Recursos computacionais	10.2.1. Executar análises de Recursos Computacionais
Influência no Projeto	11.2.1. Executar LCC
Infraestrutura	12.1.1. Análise de Instalações e Infraestrutura
	12.2.1. Prover Infra e Instalações
Manutenção	13.2.1. Análise de Nível de Reparo
	13.6.1. Análise de D&PHM
Operações Logísticas	15.1.1. Análise de requisitos PHST
Suprimentos	17.1.1. Fornecer dados de provisionamento
Ferramental	18.1.1. Análise de requisitos dos equipamentos de suporte
Engenharia de Suporte Continuado	19.1.1. Adequação operacional
	19.2.1. Gerenciamento de descarte
Treinamento	21.1.1. Análise necessidade de treinamento
	21.2.1. Desenvolver plano de treinamento
	21.3.1. Implementação de treinamento
	21.4.1. Realizar desenvolvimento de treinamento
3. Fase Produção (Suportabilidade)	
Elemento	Descrição da Tarefa
Recursos computacionais	23.1.1. Gerenciamento de Recursos Computacionais para o Programa
	23.2.1. Prover recursos computacionais
Influência no Projeto	24.2.1. Executar LCC
Infraestrutura	25.1.1. Análise de Instalações e Infraestrutura
	25.2.1. Prover Infra e Instalações
Gerenciamento de Suporte do Produto	28.1.1. Gerenciamento de Contrato
	28.3.1. Gerenciamento de obsolescência
	28.4.1. Lições Aprendidas
Suprimentos	29.1.1. Fornecer dados de provisionamento
	29.2.2. Prover suprimentos
Treinamento	32.1.1. Implementação de treinamento
	32.2.1. Realizar treinamento

Baseado nos resultados da análise qualitativa, em que 51% das tarefas do desenvolvimento da suportabilidade não foram combinadas ao processo de certificação, será possível utilizar outros métodos e aplicar cenários, conseguindo visualizar o impacto de não realização de tarefas, que por exemplo tem a função relacionada a custo e não é abordada no processo de certificação, bem como as demais tarefas dentro de cada elemento de suporte que foram exclusivas quando equiparado ao processo de certificação de tipo, mas que pode impactar diretamente na maturidade de suporte do produto na fase de operação.

Para aplicar esse conjunto de elementos e tarefas exclusivas é necessário entender o conceito de suporte, a captura dos requisitos e *feedbacks* que acontecem durante o desenvolvimento do processo.

Em ASD/AIA (2021), apresenta como acontece a interação em alto nível do processo da suportabilidade. Como exemplo, a tarefa 3.2.2 – Executar o Custo do Ciclo de Vida, do elemento Influência no Projeto, que se relaciona com pelo menos uma tarefa de todos os outros elementos de suporte e atua desde o início da fase conceitual até a fase de descarte do ciclo de vida.

Em BLANCHARD (2016) aborda de forma prática, que as tarefas atreladas ao Custo do Ciclo de Vida, obtêm custos relacionados a operação, a manutenção, relacionado a documentação técnica e gerenciamento do banco de dados, a equipamentos de suporte, custos de sistemas informatizados, custos relacionados a estoque e distribuição, de treinamentos para a operação e manutenção, custos de suprimentos e ao descarte.

4.2 O método Nível de Maturidade de Suporte

4.2.1 Descrição da metodologia

Os dados gerados na análise qualitativa da combinação das tarefas dos processos serviram de entrada para aplicar esse método.

Além disso, os dados de estimativa do tempo do processo são necessários para a execução desse método. Com isso, foi utilizado o prazo de 3 anos, conforme definido pela ANAC como tempo mínimo de execução de um processo de certificação de tipo de uma aeronave que se enquadre no RBAC 23. Cada tarefa de suporte equivale a uma porcentagem definida que totalizam em 100%.

Na implementação do método, a maturidade de suporte é medida em função do tempo associado diretamente com cada atividade dos elementos de suporte do Desenvolvimento do

Suporte Integrado do Produto, ou seja, a quantidade de tarefas executadas irá refletir diretamente no nível de suporte.

Uma limitação da aplicação dos cenários, é que não se verifica a qualidade de execução e fatores relacionados a custo e riscos.

4.2.2 Análise dos resultados do Cenário 1

Os dados de entrada para o cenário 1 foram gerados através da análise qualitativa, sendo 58% de sincronização de tarefas na fase conceitual, 43% na fase de desenvolvimento e 45% na fase de produção, resultando assim em aproximadamente 49% das tarefas do Desenvolvimento de Suporte realizadas concomitante nas três primeiras fases do Processo de Certificação.

Com os dados da modelagem estabelecidos, foi possível obter um resultado para demonstrar como a linha de trajetória do nível de maturidade vai se comportando ao longo do tempo, de acordo com a quantidade de tarefas executadas no processo.

Cada ponto em azul representa a porcentagem de tarefas implementadas no marco de transição de uma fase para outra. A linha crescente representa o comportamento da maturidade em função do tempo, desde a fase conceitual até a de produção, conforme apresentado no gráfico da **Figura 26**.

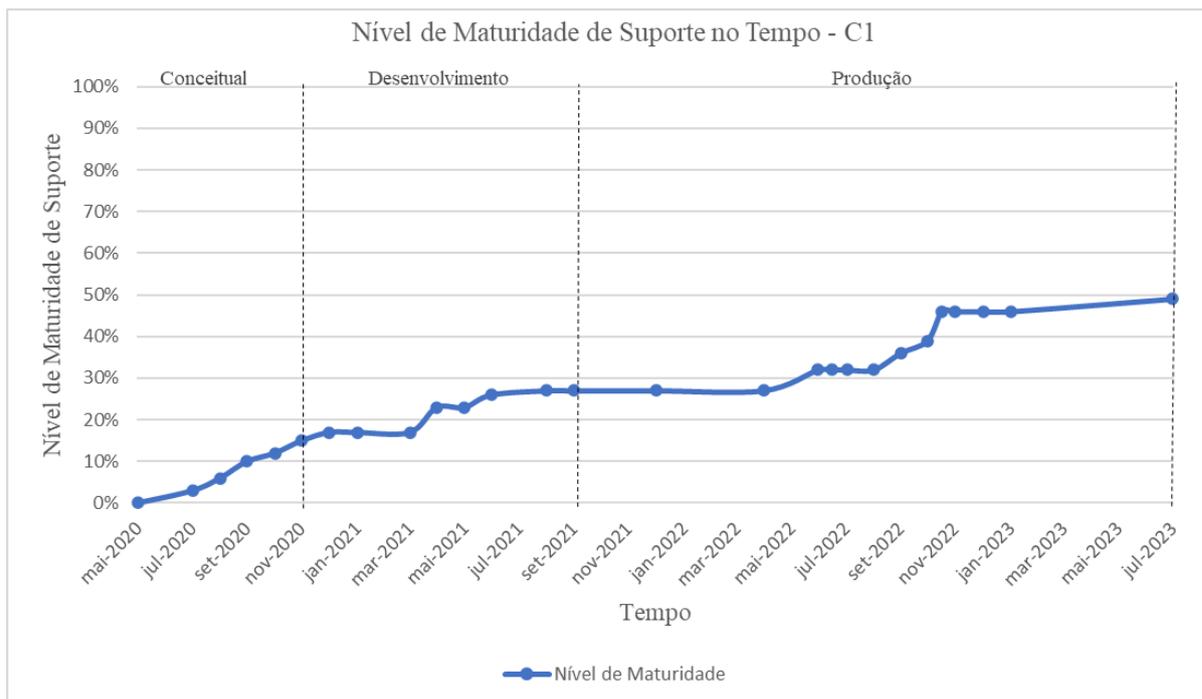


Figura 26 - Nível de Maturidade de Suporte no Tempo, cenário com 49% das tarefas de suporte realizadas nas três primeiras fases do ciclo de vida (Autor, 2023).

A linha e os pontos podem variar no tempo de acordo com as estimativas estabelecidas e realizadas durante o desenvolvimento do processo de suporte. O período estimado para cada tarefa foi entre 2 a 9 meses, sendo que o tempo pode variar para menos ou mais de acordo com a quantidade de homem hora de engenharia alocados. Algumas tarefas das fases também podem ser realizadas em paralelo, simulando assim um cenário otimizado de gerenciamento do projeto.

4.2.3 Análise dos resultados do Cenário 2

Os dados de entrada para o cenário 2 é de 100% de combinação e realização de tarefas na fase conceitual, desenvolvimento e produção, resultando assim em uma total concomitância das tarefas do Desenvolvimento de Suporte Integrado do Produto nas três primeiras fases do processo de certificação aeronáutica. Essa realização concomitante de planos dos diferentes processos pode ser realizada com a alocação do homem hora de engenharia dentro do período determinado.

Com os dados estabelecidos, foi possível obter um resultado para demonstrar como a linha de trajetória do nível de maturidade vai se comportando ao longo do tempo, de acordo com a quantidade de tarefas executadas no processo.

Cada ponto em azul representa a porcentagem de tarefas implementadas no marco de transição de uma fase para outra. A linha crescente representa o comportamento da maturidade em função do tempo, desde a fase conceitual até a de produção, conforme apresentado no gráfico da **Figura 27**.

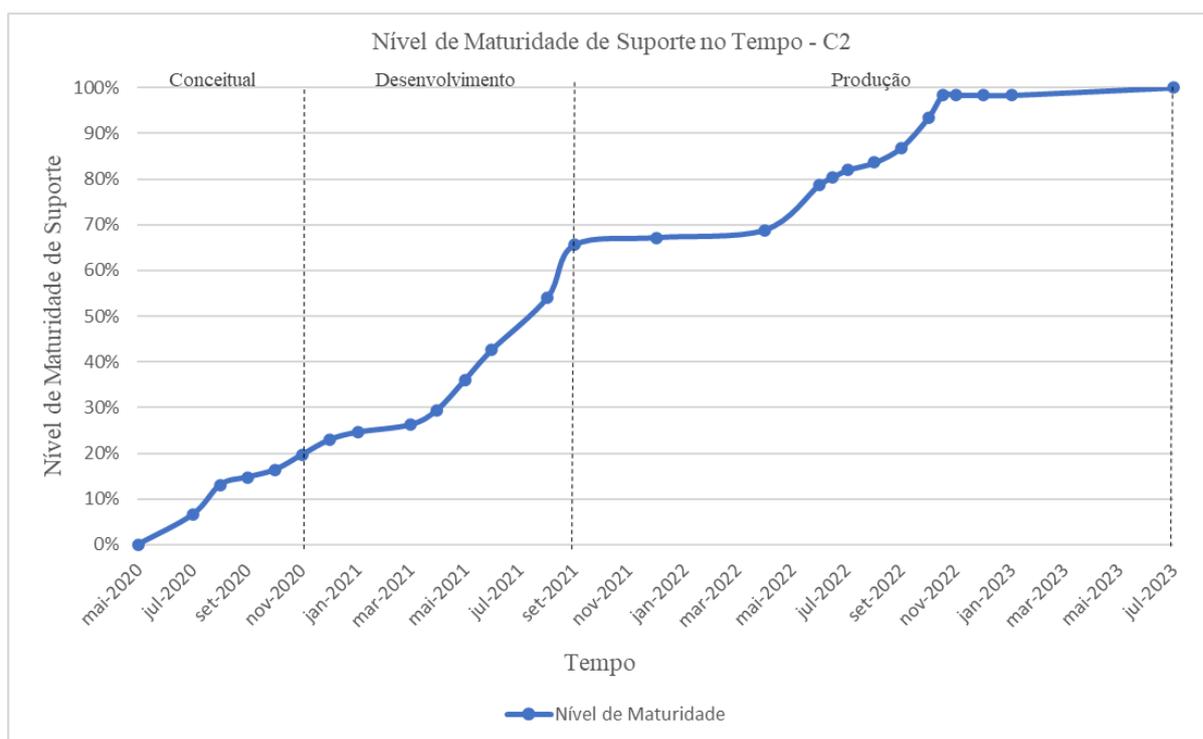


Figura 27 - Nível de Maturidade de Suporte no Tempo, cenário com 100% das tarefas de suporte realizadas nas três primeiras fases do ciclo de vida (Autor, 2023).

4.2.4 Discussão sobre a aplicação do método de Nível de Maturidade de Suporte

O cenário 1 com 49% de combinação, apresenta uma justificativa das aeronaves que cumprem somente o mínimo requerido com o regulamento de aeronavegabilidade na Certificação de Tipo terem problemas de suportabilidade na fase de operação. Já o cenário 2 com 100% de tarefas integradas, espera-se que o produto seja entregue ao primeiro cliente maduro do ponto de vista de suporte, pois cumpriu 100% da aeronavegabilidade e suportabilidade.

A **Figura 28** representa como as tarefas síncronas entre os dois planos podem atuar concomitantes dentro das fases do ciclo de vida. A primeira curva tracejada seria o modo

desejado de cumprimento das tarefas para obter um bom nível de suporte ao adentrar na fase de operação. Já a segunda, um escorregamento da curva para a direita já no meio da fase de operação, ocasionando em uma imaturidade do ponto do de vista de suporte, pois atrasou ou não cumpriu com o mínimo de tarefas recomendadas de suporte.

Uma limitação dessa representação é que contém apenas as tarefas síncronas nas três primeiras fases do desenvolvimento, ou seja, faltaram parte das tarefas de certificação e de suporte, bem como a fase de Operação e Descarte do ciclo de vida.

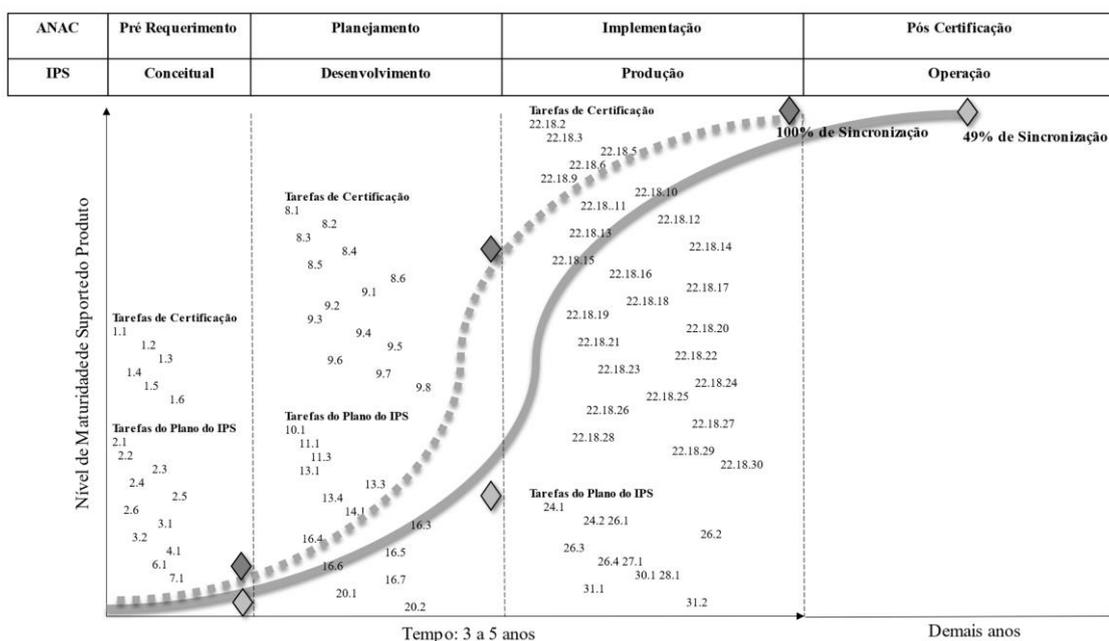


Figura 28 – Comportamento esperado versus atrasado apontando o nível de maturidade de suporte durante o ciclo de vida com a combinação das tarefas do processo de Certificação e Suportabilidade (Autor, 2023).

4.3 Aplicação do método de Gerenciamento de Projeto com *Earned Value*

4.3.1 Descrição da metodologia

Os dados gerados na análise qualitativa da combinação das tarefas dos processos e da aplicação do método de Nível de Maturidade de Suporte, serviram de entrada para aplicar o método de Gerenciamento de Projeto com *Earned Value*.

A partir dos dados estruturados nas etapas anteriores foram modelados no software de gerenciamento de projeto *Monday* cinco cenários para avaliar os impactos e medir os índices de desempenho de custo e prazo do desenvolvimento do processo de certificação e da suportabilidade. A ferramenta possui fórmulas automatizadas e integradas que, através de uma programação dos dados, é capaz de aplicar a metodologia de *Earned Value* em paralelo ao método de *Gantt*.

É importante enfatizar que só foi possível obter os resultados de *Earned Value*, devido à modelagem e análises realizadas em toda a base normativa para o plano do processo de certificação e das tarefas, entradas e saídas do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto.

Nessa modelagem houve algumas limitações, que são:

- Escopo de tarefas de certificação de uma aeronave de nível 2 da categoria Normal do RBAC 23 (2 a 6 assentos).
- Tarefas apenas das fases conceitual, desenvolvimento e produção.
- Os valores estimados nesse trabalho para a aplicação do método de *Earned Value* no desenvolvimento do processo de certificação e da suportabilidade, foram baseados em uma média internacional de H/h de engenharia aeronáutica, conforme apresentado na **Tabela 18**. Sendo assim, pode variar de acordo com o nível de experiência do profissional, a complexidade do produto, porte da empresa e outras restrições de produto e processo.
- Tempo do processo (3 a 5 anos).
- O *Monday* tem uma limitação de inclusão de eixo secundário nos gráficos. Com isso, foi programado no Excel algumas análises com dados não cumulativos para visualizar a linha de nível de maturidade de suporte do produto.

Tabela 18 – Custo de Mão de Obra de Engenheiro Aeronáutico em dólar. (Adaptado de U.S. Bureau Labor Statistics, 2022).

percentual	10%	25%	50% (Média)	75%	90%
Salário por hora	\$ 37.58	\$ 46.94	\$ 61.00	\$ 77.33	\$ 84.75
Salário Anual (2)	\$ 78,170	\$ 97,620	\$ 126,880	\$ 160,840	\$ 176,280

4.3.2 Descrição da ferramenta de gerenciamento de Projeto escolhida

A interface da plataforma de gerenciamento de projeto do *Monday* foi escolhida pois, é possível testar diferentes cenários com um alto volume de dados e informações, gerando uma interessante visualização geral dos resultados e andamento do desenvolvimento do processo. No entanto, para conseguir essa visão geral, é necessária uma programação com automatização e integração dos dados obtidos. A **Figura 29**, apresenta uma parte dessa programação da fase Conceitual dentro da plataforma.

A **Figura 30**, apresenta parte da programação da técnica de *Earned Value* dentro da plataforma. As colunas com números possuem uma inclusão automatizada com fórmulas matemáticas para a obtenção dos resultados de custos e índices de desempenho previsto no método. Cada tarefa teve a sua estimativa de custo específica e distribuída em cargos de engenharia aeronáutica de nível júnior, pleno e sênior com um valor de H/h da média internacional. O tempo de cada tarefa foi estimado por fase do ciclo de vida para que todo o processo acompanhe o período total da certificação, que pode ser de três a cinco anos. Esse tempo é baseado nos históricos de processos de certificação da ANAC.

Essas estimativas de custos e prazos utilizando a plataforma de gerenciamento de projeto integrado ao *Earned Value* são para demonstrar os problemas que podem acontecer durante o desenvolvimento por não realizar tarefas chaves do processo da suportabilidade, ou seja, apresentar como esses problemas de gerenciamento do desenvolvimento de projeto que podem acontecer e trazer prejuízos tanto para quem desenvolve como para quem opera o produto.

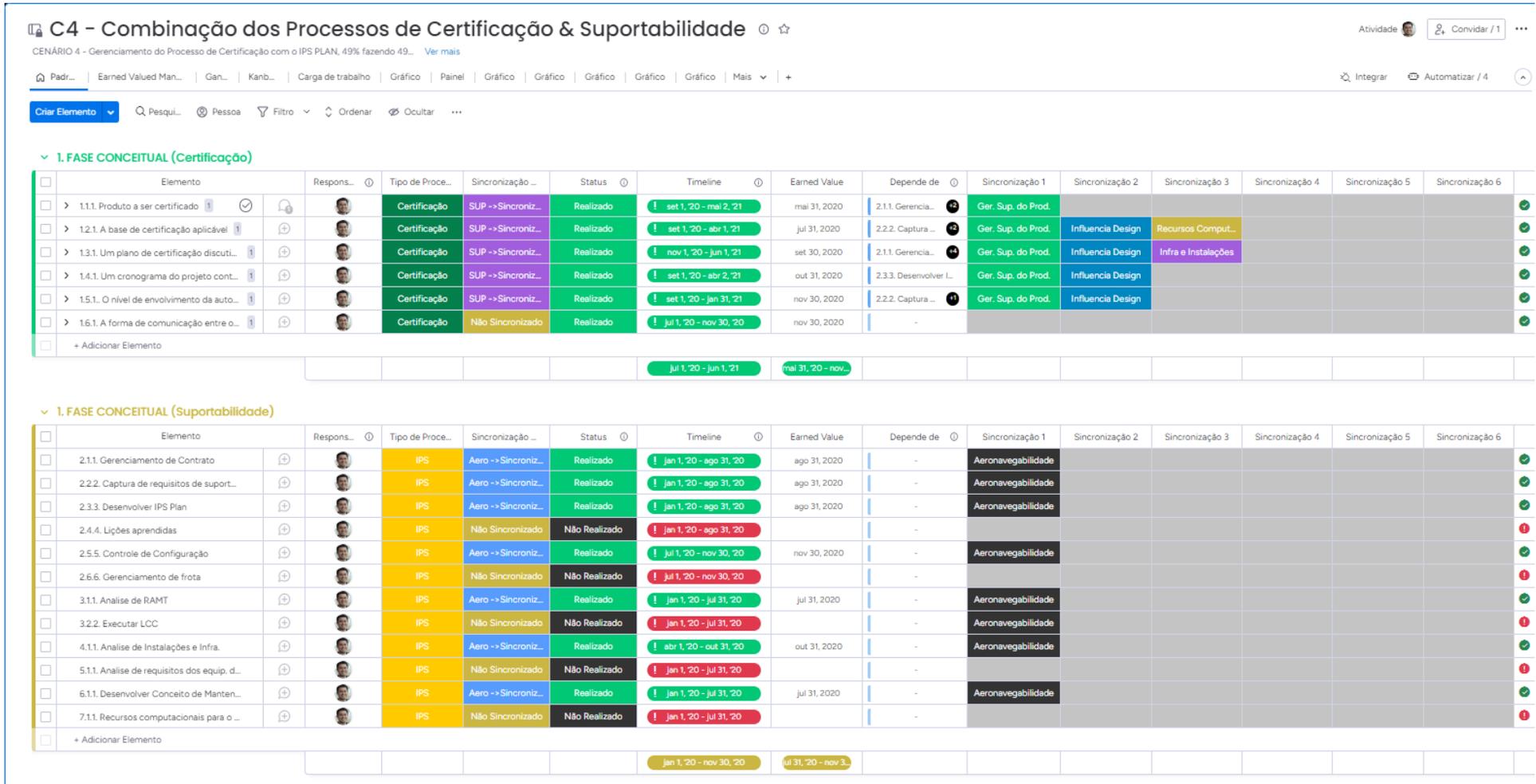


Figura 29 – Parte da programação e integração dos dados no Monday (Autor, 2023).

C4 – Combinação dos Processos de Certificação & Suportabilidade

Atividade Compartilhar / 1 ...

CENÁRIO 4 - Gerenciamento do Processo de Certificação com o IPS PLAN, 49% fazendo 49... [Ver mais](#)

Padr... | Earned Value Man... | Gan... | Kanb... | Carga de trabalho | Gráfico | Painel | Gráfico | Gráfico | Gráfico | Gráfico | Gráfico | Mais ▾ | +

Integrar Automatizar / 4

Criar Elemento ▾ Q Pesqui... 👤 Pessoa 🔍 Filtro ↕ Ordenar 👁 Ocultar ...

1. FASE CONCEITUAL (Certificação)

Elemento	Esforo utilizado	Déficit de es...	Custo Real	Valor Planej...	Valor Agreg...	Tipo de custo	Problema	monday Doc	VC Variação...	Variação de Prazo	IDC Indice de De...	IDP Indice de De...	Fórmula	SML no Tempo	+
1.1.1. Produto a ser certificado	60 horas	90 horas	R\$ 1,246,000	\$1,236,000	R\$ 1,236,000	H/h engenharia	Não		10,000	0	0.992	1	1.538	1.515%	
1.2.1. A base de certificação aplicável	10 horas	120 horas	R\$ 1,174,000	\$1,164,000	R\$ 1,164,000	H/h engenharia	Não		10,000	0	0.991	1	1.538	1.515%	
1.3.1. Um plano de certificação discuti...	10 horas	90 horas	R\$ 796,000	\$786,000	R\$ 786,000	H/h engenharia	Não		10,000	0	0.987	1	1.538	1.515%	
1.4.1. Um cronograma do projeto cont...	20 horas	60 horas	R\$ 796,000	\$786,000	R\$ 786,000	H/h engenharia	Não		10,000	0	0.987	1	1.538	1.515%	
1.5.1. O nível de envolvimento da auto...	10 horas	50 horas	R\$ 373,000	\$363,000	R\$ 365,000	H/h engenharia	Não		8,000	2,000	0.979	1.006	1.538	1.515%	
1.6.1. A forma de comunicação entre o...	10 horas	40 horas	R\$ 197,000	\$189,000	R\$ 193,000	H/h engenharia	Não		4,000	4,000	0.98	1.021	1.538	1.515%	
Total	120 horas	450 horas	R\$ 4,582,000	\$4,524,000	R\$ 4,530,000				52,000	6,000	5.917	6.027	9.228	9.091%	

1. FASE CONCEITUAL (Suportabilidade)

Elemento	Esforo utilizado	Déficit de es...	Custo Real	Valor Planej...	Valor Agreg...	Tipo de custo	Problema	monday Doc	VC Variação...	Variação de Prazo	IDC Indice de De...	IDP Indice de De...	Fórmula	SML no Tempo	+
2.1.1. Gerenciamento de Contrato	0 horas	120 horas	R\$ 300,000	\$153,000	R\$ 153,000	H/h engenharia	Não		147,000	0	0.51	1	1.515		
2.2.2. Captura de requisitos de suport...		120 horas	R\$ 300,000	\$153,000	R\$ 153,000	H/h engenharia	Não		147,000	0	0.51	1	1.515		
2.3.3. Desenvolver IPS Plan		120 horas	R\$ 300,000	\$153,000	R\$ 153,000	H/h engenharia	Não		147,000	0	0.51	1	1.515		
2.4.4. Lições aprendidas		0 horas		\$153,000		H/h engenharia	Não		0	-153,000	0	0	1.515		
2.5.5. Controle de Configuração		140 horas	R\$ 300,000	\$153,000	R\$ 153,000	H/h engenharia	Não		147,000	0	0.51	1	1.515		
2.6.6. Gerenciamento de frota		0 horas		\$153,000		H/h engenharia	Não		0	-153,000	0	0	1.515		
3.1.1. Analise de RAMT		140 horas	R\$ 300,000	\$153,000	R\$ 153,000	H/h engenharia	Não		147,000	0	0.51	1	1.515		
3.2.2. Executar LCC		0 horas		\$153,000		H/h engenharia	Não		0	-153,000	0	0	1.515		
4.1.1. Analise de Instalações e Infra.		100 horas	R\$ 300,000	\$153,000	R\$ 153,000	H/h engenharia	Não		147,000	0	0.51	1	1.515		
5.1.1. Analise de requisitos dos equip. d...		0 horas		\$153,000		H/h engenharia	Não		0	-153,000	0	0	1.515		
6.1.1. Desenvolver Conceito de Manten...		140 horas	R\$ 300,000	\$153,000	R\$ 153,000	H/h engenharia	Não		147,000	0	0.51	1	1.515		
7.1.1. Recursos computacionais para o ...		0 horas		\$153,000		H/h engenharia	Não		0	-153,000	0	0	1.515		
Total	0 horas	880 horas	R\$ 2,100,000	\$1,836,000	R\$ 1,071,000				1,029,000	-765,000	3.57	7	19,181	0%	

Figura 30 – Parte da programação e integração dos dados para a aplicação do *Earned Value* no *Monday* (Autor, 2023).

4.3.3 Análise dos resultados no Cenário 1

No cenário 1 foram consideradas somente as tarefas do plano de certificação, que são: a Conceitual, Desenvolvimento e Produção. O gráfico da **Figura 31** representa a função do valor de custo de mão de obra de engenharia em função de um período. A linha azul representa o Custo Real (CR), a linha amarela, o Valor Agregado (VA) e a linha lilás, o Valor Planejado (VP).

Com os dados estimados são plotadas as linhas dos três principais valores do *Earned Value*, que são o (VP), (VA) e o (CR). Observa-se que as linhas de VP e VA estão sobrepostas pois se o projeto tiver uma execução saudável, o VA será um espelho do VP ao longo da trajetória no tempo. No final do processo o valor de CR ficou superior ao VA e isso significa que o custo real ultrapassou o valor agregado de meados de 2022 até o término do processo.

Esse cenário simula um gerenciamento do processo de certificação executado entre 2020 e 2023. Como resultado obteve-se um desenvolvimento próximo do saudável pois não houve grandes variações no custo real em relação ao valor agregado e do valor planejado em relação ao valor agregado. No entanto como o custo real ficou superior ao valor agregado, tem-se um IDC insatisfatório.

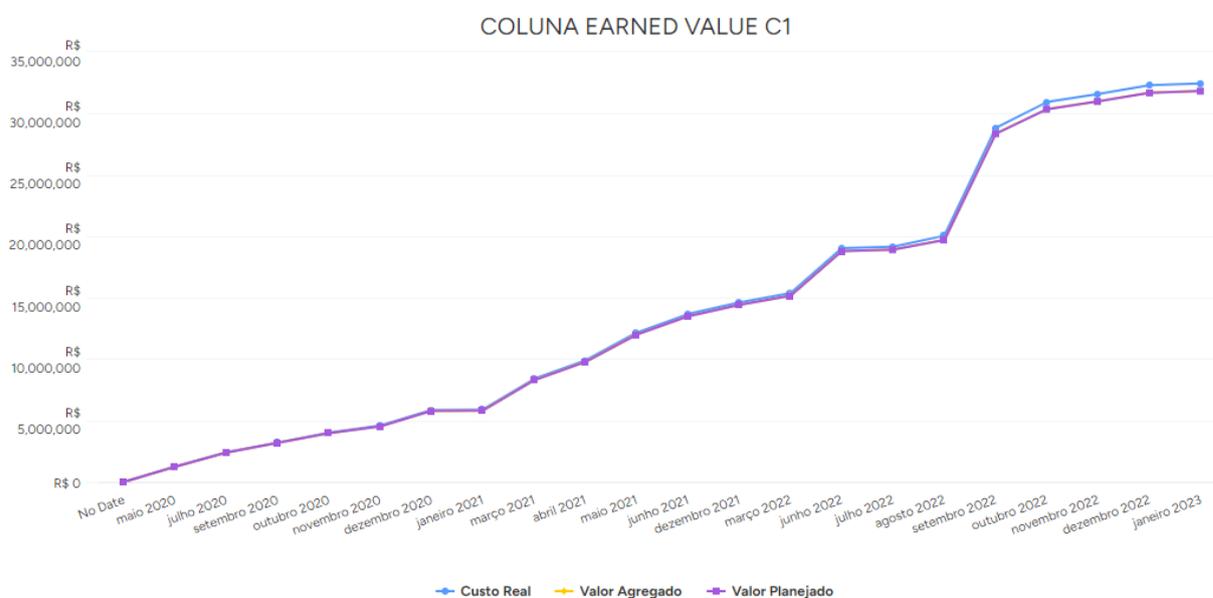


Figura 31 - Gráfico de *Earned Value* do Cenário 1, somente o plano do processo de certificação, programado no Monday (Autor, 2023).

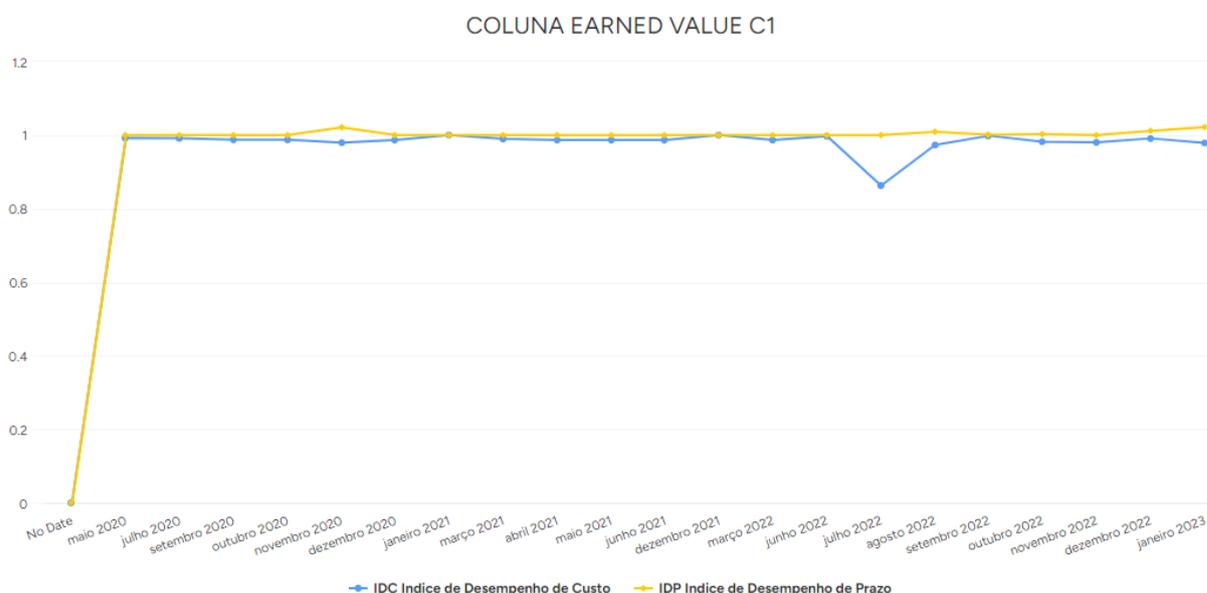
A **Tabela 19** apresenta a identificação dos resultados gerados no cenário 1.

Tabela 19 – Identificação dos resultados no cenário 1 (Autor, 2023).

Item	Certificação
VP	R\$ 31.814.000,00
VA	R\$ 31.814.000,00
CR	R\$ 32.434.250,00
IDC	IDC < 1 Insatisfatório
IDP	IDP ≥ 1 Satisfatório
Tarefas realizadas	71
Tarefas não realizadas	0

Ao fim da fase de implementação do processo de certificação a aeronave recebe o certificado de tipo. Nessa etapa do ciclo de vida da aeronave, ela alcança um certo nível de maturidade de suporte devido aos recursos das Instruções de Aeronavegabilidade Continuada – ICA. Porém, nesse cenário 1, fica impossibilitado de se medir o nível de maturidade de suporte por não ter sido realizada nenhuma atividade planejada do Desenvolvimento de Suporte Integrado do Produto.

O gráfico da **Figura 32** apresenta os resultados dos índices de desempenho de custo e prazo do cenário 1.

**Figura 32 - IDC e IDP do cenário 1, programado no Monday (Autor, 2023).**

Conforme o método de *Earned Value*, o IDP ficou dentro do planejado pois obteve um valor igual a 1 e, em alguns momentos até adiantado, com valor maior que 1. O IDC ficou um

pouco acima do valor agregado em algumas etapas durante o desenvolvimento, com valor menor que 1, sendo insatisfatório no índice de custo.

4.3.4 Análise dos resultados no Cenário 2

No cenário 2 foram consideradas apenas as tarefas das três primeiras fases do ciclo de vida somente do processo da suportabilidade. O gráfico da **Figura 33** representa a função do valor de custo da mão de obra de engenharia em função de um período. A linha azul representa o CR, a linha amarela, o VA e, a linha lilás, o VP.

Nesse cenário as linhas de VP e VA estão sobrepostas pois o VA foi um espelho do VP ao longo da trajetória no tempo. O valor de CR ficou superior ao VA, isso significa que o custo real ultrapassou o valor agregado desde o fim do ano de 2020 até o término do processo.

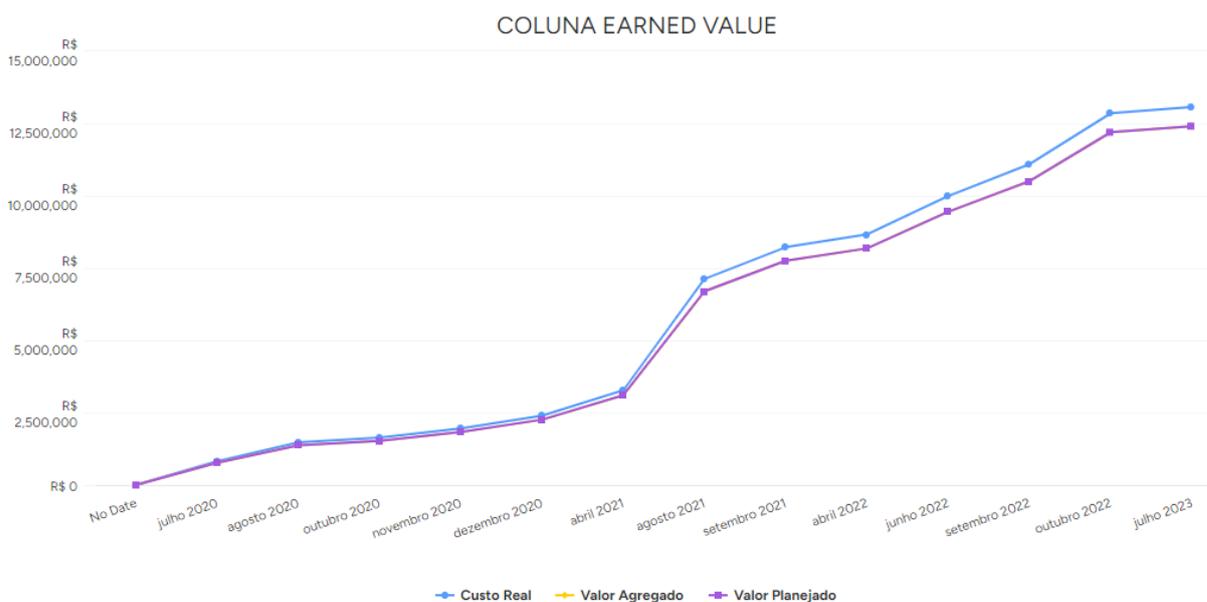


Figura 33 - Gráfico de *Earned Value* do Cenário 2, programado no Monday (Autor, 2023).

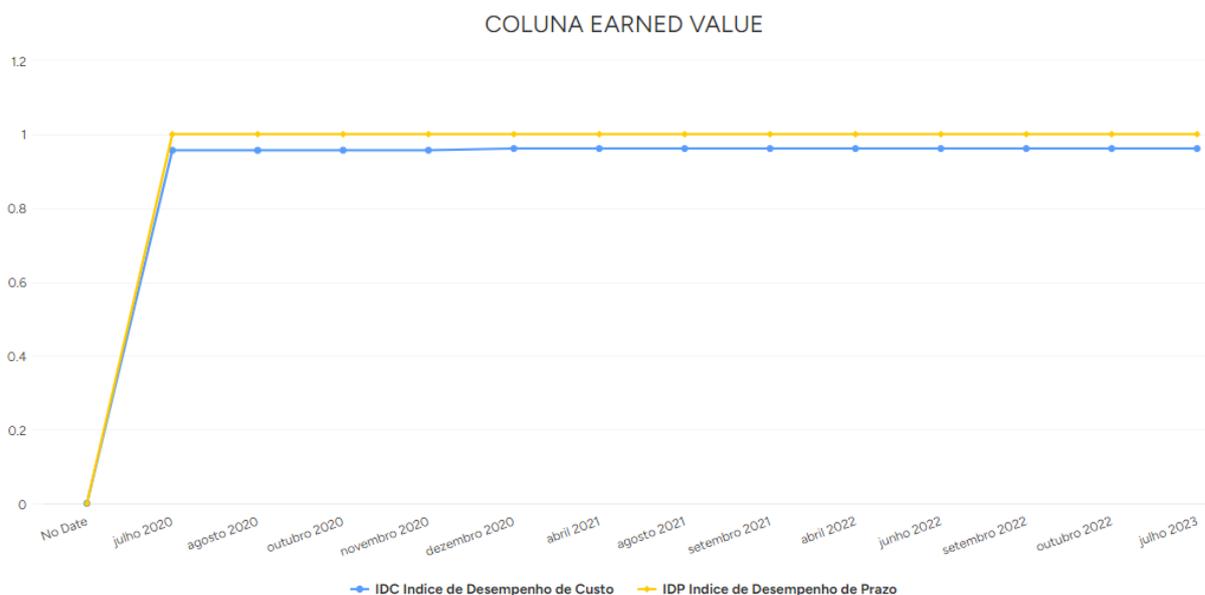
A **Tabela 20** apresenta a identificação dos resultados gerados no cenário 2.

Tabela 20 – Identificação dos resultados no cenário 2 (Autor, 2023).

Item	Suportabilidade
VP	R\$ 12.411.000,00
VA	R\$ 12.411.000,00
CR	R\$ 13.075.000,00
IDC	IDC < 1 Insatisfatório
IDP	IDP ≥ 1 Satisfatório
Tarefas realizadas	62
Tarefas não realizadas	0

Esse cenário simula um gerenciamento do processo de suportabilidade executado entre 2020 e 2023. O IDC ficou insatisfatório devido a variação de custo em relação ao valor agregado durante o desenvolvimento do processo.

O gráfico da **Figura 34** apresenta os resultados dos índices de desempenho de custo e prazo do cenário 2.

**Figura 34 - IDC e IDP do cenário 2, programado no Monday (Autor, 2023).**

O IDP ficou dentro do planejado pois obteve um valor igual a 1 na maior parte do tempo. O IDC ficou um pouco abaixo do esperado em algumas etapas durante o desenvolvimento, com valor menor que 1, tendo gerado um cenário insatisfatório no índice de custo.

4.3.5 Análise dos resultados no Cenário 3

O cenário 3, foi aplicado 100% das tarefas das três primeiras fases da certificação com 100% das três primeiras fases do Desenvolvimento da Suportabilidade. O gráfico da **Figura 35** apresenta a função do valor de custo da mão de obra de engenharia em função de um período. A linha azul representa o CR, a linha amarela, o VA e, a linha lilás, o VP.

Nesse cenário as linhas de VP e VA estão sobrepostas ao longo da trajetória no tempo e o valor de CR ficou superior ao VA, isso significa que a partir de um determinado período o custo real ultrapassou o valor agregado, gerando assim problemas de planejamento do custo do ciclo de vida do produto.

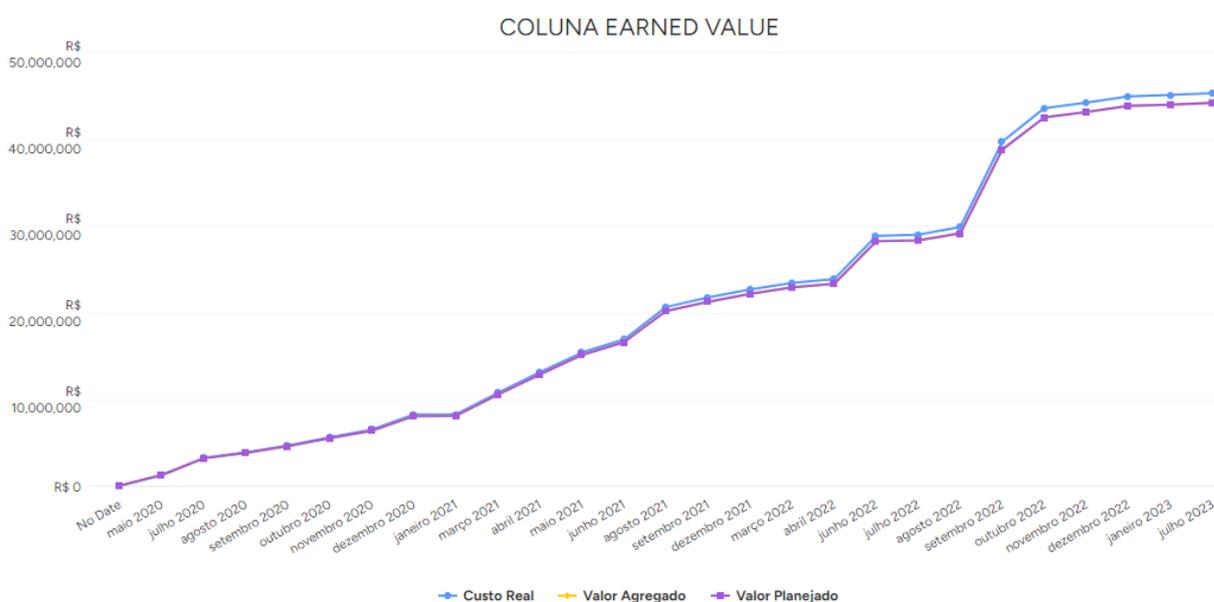


Figura 35 - Gráfico de *Earned Value* do Cenário 3, programado no Monday (Autor, 2023).

A **Tabela 21** apresenta a identificação dos resultados gerados no cenário 3.

Tabela 21 – Identificação dos resultados no cenário 3 (Autor, 2023).

Item	Certificação + Suportabilidade
VP	R\$ 44.225.000,00
VA	R\$ 44.225.000,00
CR	R\$ 45.354.250,00
IDC	IDC < 1 Insatisfatório
IDP	IDP ≥ 1 Satisfatório

Tarefas realizadas	133
Tarefas não realizadas	0

O gráfico da **Figura 36** apresenta os resultados dos índices de desempenho de custo e prazo do cenário 3.

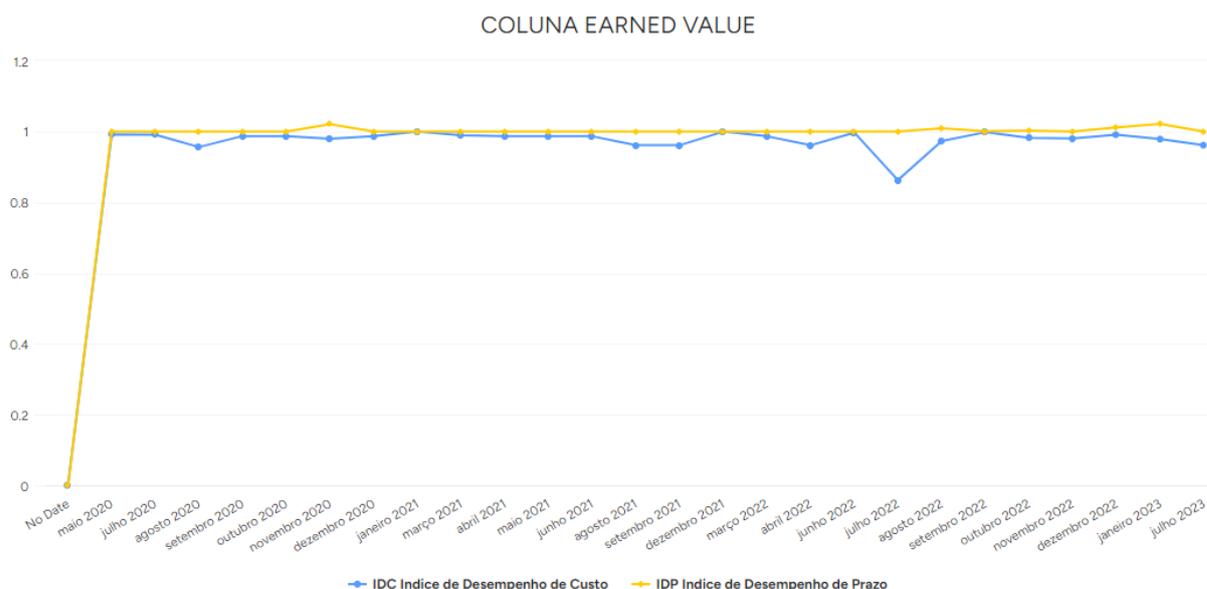


Figura 36 - IDC e IDP do cenário 3, programado no Monday (Autor, 2023).

O IDP ficou dentro do planejado pois obteve um valor igual a 1 e, em alguns momentos, até adiantado, com valor maior que 1. O IDC ficou com valor menor que 1, ou seja, abaixo do esperado, tornando-se assim um cenário insatisfatório no índice de custo.

O gráfico da **Figura 37** apresenta a integração do método de *Earned Value* com o método do Nível de Maturidade de Suporte com valores não cumulativos, ou seja, é possível analisar as linhas da certificação distintas da suportabilidade. As linhas com os custos mais altos, de cor azul o CR, de cor laranja o VP e de cor amarela o VA, representam os valores da certificação, enquanto as linhas com custos mais baixos, de cor verde o CR, de cor lilás o VP e, de cor vermelha o VA, da suportabilidade. As linhas da certificação estão separadas das linhas de suportabilidade com valores representados no eixo vertical da esquerda no gráfico. Já no eixo vertical da direita é representada a porcentagem da maturidade de suporte no tempo. A linha tracejada demonstra o crescimento da maturidade no tempo dentro das fases do ciclo de vida.

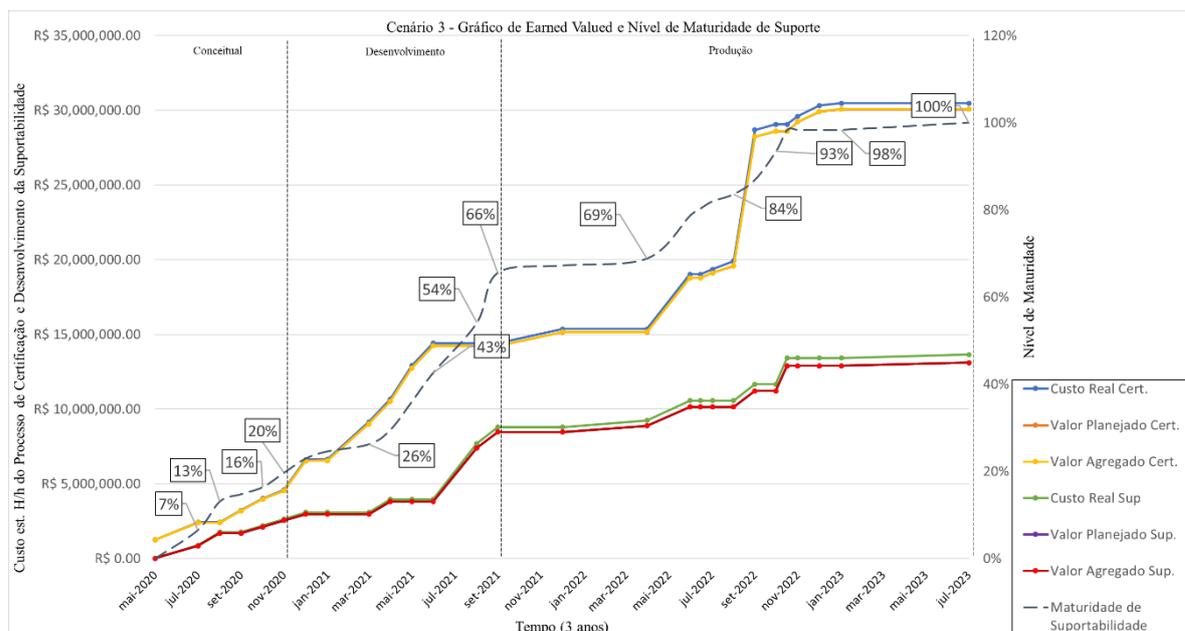


Figura 37 - Cenário 3, Gráfico de *Earned Value* integrado com o Nível de Maturidade de Suporte no tempo (Autor, 2023).

Nesse cenário, houve um cumprimento de total das tarefas do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto, alcançando um nível de 100% de maturidade de suporte ao fim da fase de produção.

4.3.6 Análise dos resultados no Cenário 4

O cenário 4 foi aplicado 100% das tarefas das três primeiras fases da certificação com 49% das três primeiras fases do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto. O gráfico da **Figura 38** representa um cenário com problemas de gerenciamento do processo, pois houve variações das linhas ao longo do tempo. A linha azul representa o CR, a linha amarela o VA e, a linha lilás o VP.

Nesse cenário as linhas de VP e VA não estão sobrepostas ao longo da trajetória no tempo e o valor de CR ficou inferior ao VP e superior ao VA. Isso significa que o custo real não ultrapassou o valor planejado e com isso, impacta diretamente no valor agregado. Isso aconteceu porque não foram realizadas 51% das tarefas de suportabilidade. Já as tarefas de suporte que foram realizadas tiveram um custo real acima do valor agregado. Com isso, considera-se como insatisfatório o índice de desempenho de custo desse cenário.

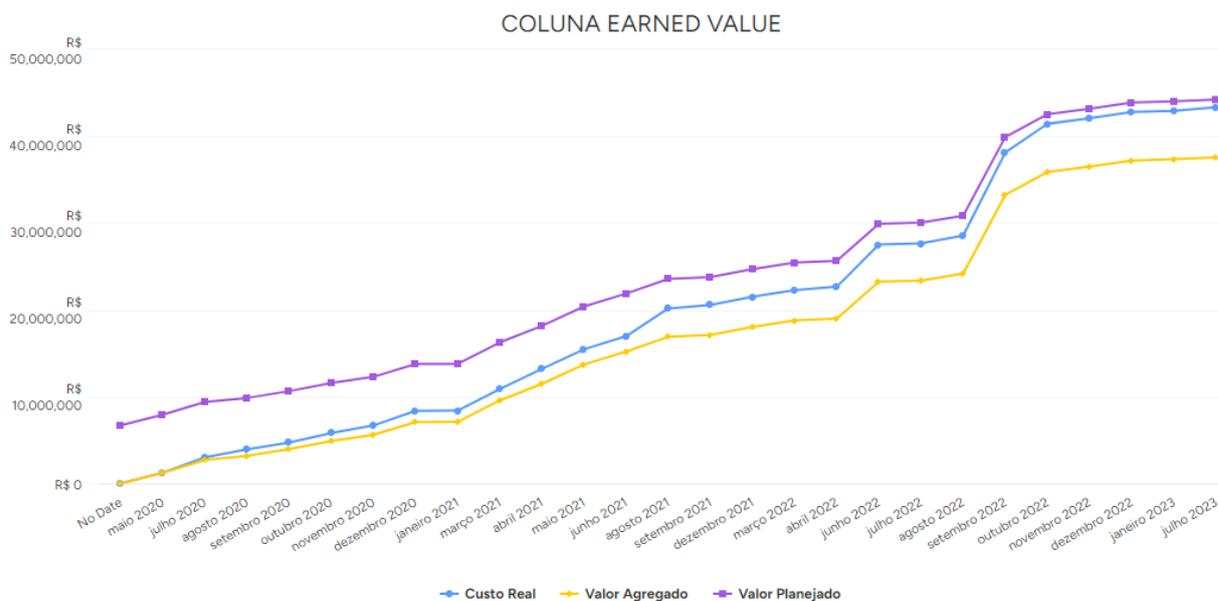


Figura 38 - Gráfico de *Earned Value* do Cenário 4, programado no Monday (Autor, 2023).

A **Tabela 22** apresenta a identificação dos resultados gerados no cenário 4.

Tabela 22 – Identificação dos resultados no cenário 4 (Autor, 2023).

Item	Certificação + Suportabilidade
VP	R\$ 44.225.000,00
VA	R\$ 37.558.000,00
CR	R\$ 43.334.000,00
IDC	IDC < 1 Insatisfatório
IDP	IDP ≥ 1 Satisfatório
Tarefas realizadas	100
Tarefas não realizadas	33

O gráfico da **Figura 39** apresenta a integração do método de *Earned Value* com o método do Nível de Maturidade de Suporte, avaliado em 49%. As linhas com os custos mais altos, de cor azul o CR, de cor laranja o VP e, de cor amarela o VA, representam os valores da certificação, enquanto a linhas com custos mais baixos, da cor verde o CR, da cor lilás o VP e, da cor vermelha o VA, da suportabilidade. As linhas da certificação estão separadas das linhas de suportabilidade, com valores representados no eixo vertical da esquerda no gráfico. Já no eixo vertical da direita é representada a porcentagem da maturidade de suporte no tempo. A

linha tracejada demonstra o crescimento da maturidade no tempo dentro das fases do ciclo de vida.

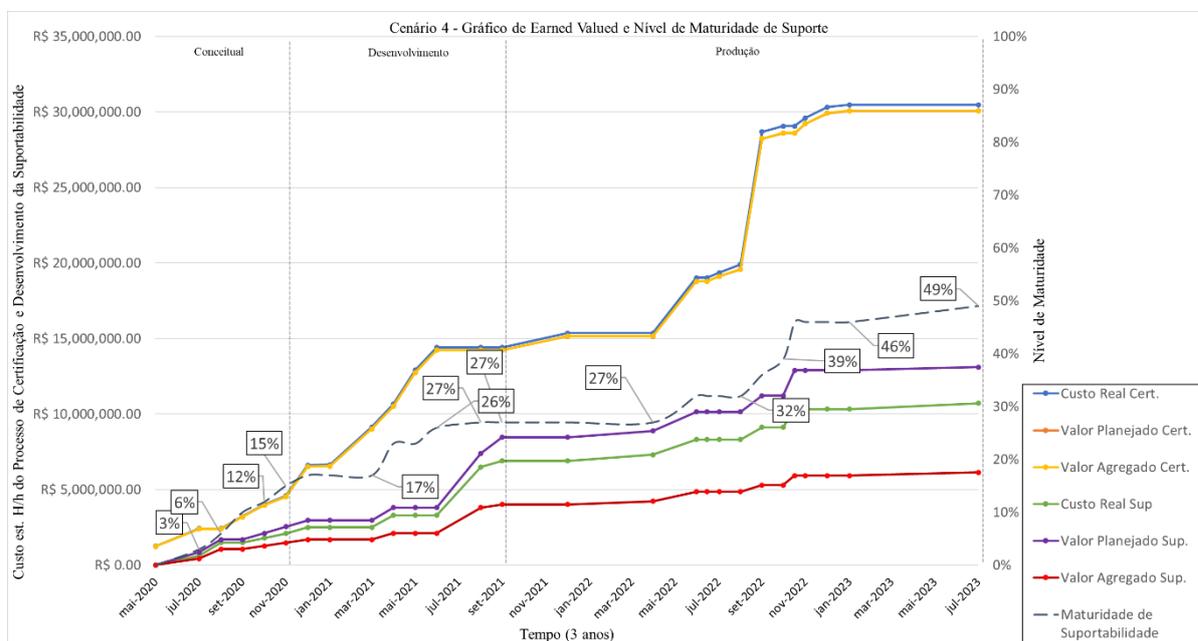


Figura 39 - Cenário 4, Gráfico de *Earned Value* integrado com o Nível de Maturidade de Suporte no tempo (Autor, 2023).

Nesse gráfico, observa-se a diferença do CR na linha de cor verde em relação ao VP de cor lilás e VA de cor vermelha onde o CR ficou abaixo do planejado e acima do agregado porque não realizou 51% das tarefas de suporte.

Além disso, a linha tracejada apresenta o nível de maturidade de suporte crescendo ao longo do tempo, no entanto, não atingindo o nível de maturidade desejável ao fim da fase de produção, chegando nesse cenário em 49%.

Esse problema de gerenciamento do processo da suportabilidade poderia ter sido evitado caso o gerente de suporte do produto tivesse constatado as adversidades do desenvolvimento do processo em meados de 2020.

O gráfico da **Figura 40** apresenta os resultados dos índices de desempenho de custo e prazo do cenário 4. O resultado ao final do processo nesse cenário não foi considerado satisfatório pois houve grandes variações de custo no desenvolvimento da suportabilidade. Observa-se o IDC com valores menores que 1 na maior parte do processo.

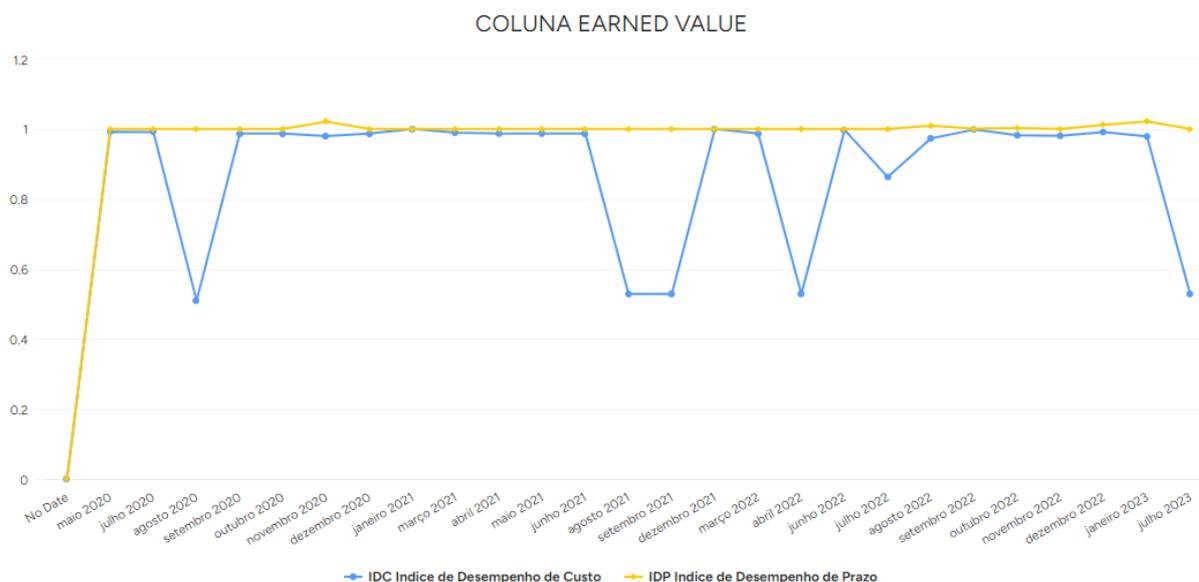


Figura 40 - IDC e IDP do cenário 4, programado no Monday (Autor, 2023).

4.3.7 Análise dos resultados no Cenário 5

No cenário 5 foi aplicado 100% das tarefas das três primeiras fases da certificação com o custo real três vezes acima do orçado, concomitante a 49% das tarefas três primeiras fases do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto com custo três vezes acima do orçado e não realizando 51% das tarefas de suporte. O gráfico da **Figura 41** representa um cenário problemático de gerenciamento de projeto, tanto da certificação como da suportabilidade. A linha azul representa o CR, a linha amarela, o VA e, a linha lilás, o VP, todas em função do período do processo da certificação.

Nesse cenário muito crítico, é possível observar como as linhas de CR, VP e VA estão distintas ao longo da trajetória no tempo. O valor de CR ficou superior ao VP e isso significa que o custo real ficou muito acima do valor agregado e planejado. Esse fato pode ser observado durante o desenvolvimento do projeto, no início do ano de 2021 e, daquele momento para frente, os diversos problemas de desenvolvimento tem a tendência de aumentar.

Para esse cenário, foi simulado três vezes o valor acima do orçado conforme estabelecido na **Figura 4** desse trabalho, no intuito de demonstrar o custo da correção de defeitos e problemas durante o desenvolvimento do projeto, com relação apenas ao homem hora de engenharia gasto.



Figura 41 - Gráfico de *Earned Value* do Cenário 5, programado no Monday (Autor, 2023).

A **Tabela 23** apresenta a identificação dos resultados gerados no cenário 5.

Tabela 23 – Identificação dos resultados no cenário 5 (Autor, 2023).

Item	Certificação + Suportabilidade
VP	R\$ 44.225.000,00
VA	R\$ 37.558.250,00
CR	R\$ 114.774.090,00
IDC	IDC < 1 Insatisfatório
IDP	IDP ≥ 1 Satisfatório
Tarefas realizadas	100
Tarefas não realizadas	33

Observa-se o custo real total do processo da certificação com a suportabilidade em R\$ 114.774.090,00 que, em alguns casos, dependendo do porte da empresa, pode além de gerar altos prejuízos, inviabiliza a continuação do desenvolvimento. O resultado desse cenário mostra a importância do gerente do programa de desenvolvimento em planejar e obter uma consciência situacional da sua gestão para garantir uma boa assertividade nas tomadas de decisões.

O gráfico da **Figura 42** apresenta a integração do método de *Earned Value* com o método do Nível de Maturidade com os dados do Cenário 5, avaliado em 49% de suporte. As

linhas com os custos mais altos, de cor azul o CR, de cor laranja o VP e, de cor amarela o VA, representam os valores da certificação, enquanto a linhas com custos mais baixos, da cor verde o CR, da cor lilás o VP e, da cor vermelha o VA, da suportabilidade. As linhas da certificação estão separadas das linhas de suportabilidade, com valores representados no eixo vertical da esquerda no gráfico. Já no eixo vertical da direita é representada a porcentagem da maturidade de suporte no tempo. A linha tracejada demonstra o crescimento da maturidade no tempo dentro das fases do ciclo de vida. Nesse caso, ao término do processo de certificação, obtém um bom nível de maturidade da aeronavegabilidade. No entanto, com o nível de maturidade da suportabilidade em 49%, o produto é entregue imaturo do ponto de vista de suporte ao primeiro cliente.

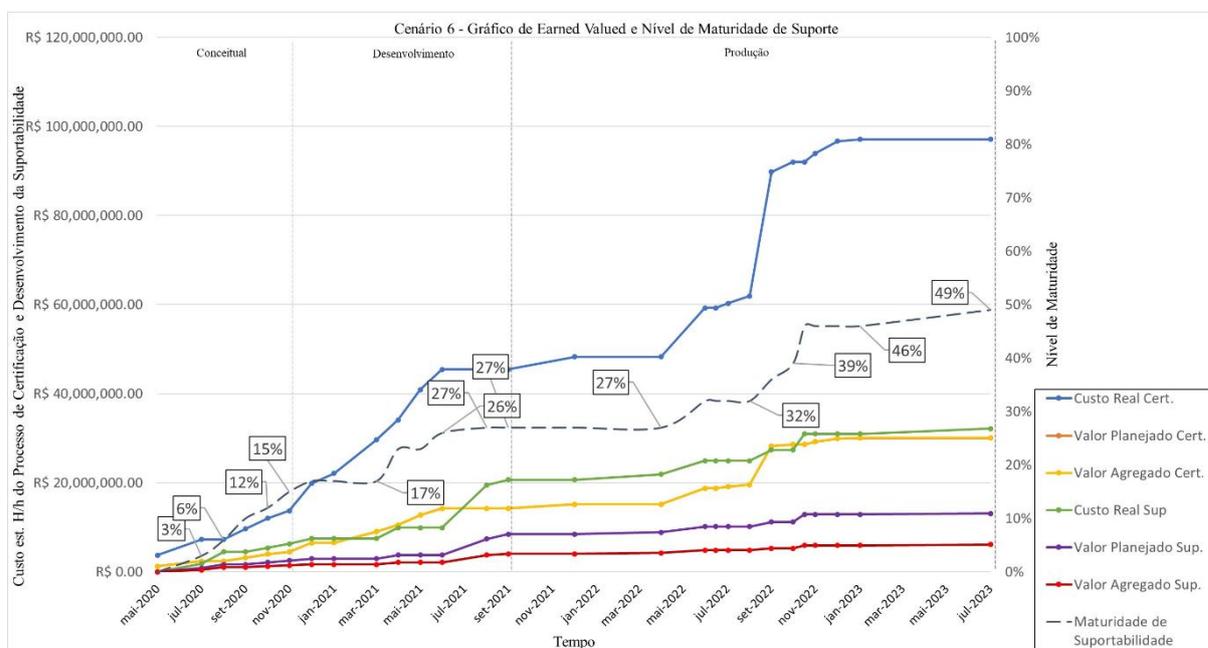


Figura 42 - Cenário 5, Gráfico de *Earned Value* integrado com o Nível de Maturidade de Suporte no tempo (Autor, 2023).

Nesse gráfico, observa-se a diferença do CR na linha de cor verde em relação ao VP de cor lilás e VA de cor vermelha onde o CR ficou acima do planejado e muito acima do orçado porque não realizou 51% das tarefas de suporte e gastou três vezes mais. As tarefas de certificação desse cenário também tiveram uma grande diferença devido ao CR na linha azul ser aproximadamente três vezes o valor de VA de linha amarela.

Além disso, a linha tracejada apresenta a integração do nível de maturidade de suporte crescendo ao longo do tempo, no entanto, não atingindo o nível de maturidade de suporte desejável ao fim da fase de produção, chegando nesse cenário em 49% e com um problema relacionado ao índice de custo e não execução de tarefas durante o desenvolvimento da suportabilidade.

O gráfico da **Figura 43** apresenta os resultados dos índices de desempenho de custo e prazo do cenário 5. O resultado ao final do processo nesse cenário não foi considerado satisfatório pois houve grandes variações no desenvolvimento da suportabilidade, com custo muito acima e não realizando 51% das tarefas. Já na certificação, da mesma forma, realizou todas as tarefas com custos muito acima do valor orçado. Observa-se o IDC com valores inferiores a 1 em todo o período.

O IDP se manteve com o resultado igual a 1, ou seja, satisfatório. Os valores de entrada para o cálculo do IDP estão vinculados ao processo de certificação e desconsidera as atividades de suporte. Isso significa que mesmo com os problemas de não realizar atividades do desenvolvimento da suportabilidade, o processo de certificação é finalizado dentro do prazo previsto, assim entregando um produto ao primeiro cliente aeronavegável mas com possíveis problemas de suporte.

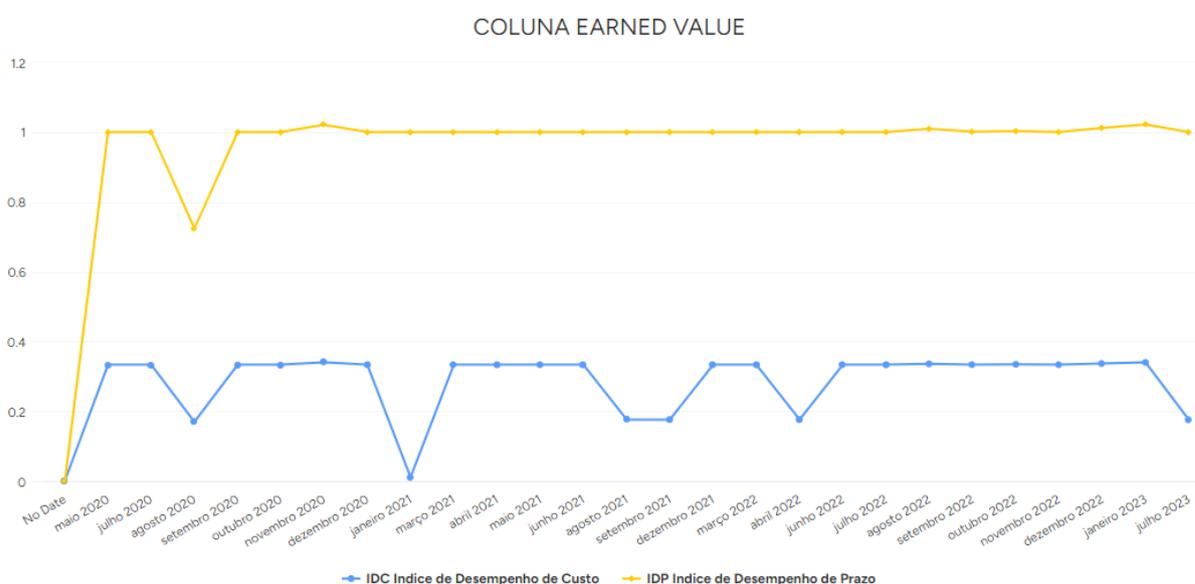


Figura 43 - IDC e IDP do cenário 5, programado no Monday (Autor, 2023).

4.3.8 Discussão da aplicação do método

Com a aplicação do método e resultados dos diferentes testes e cenários apresentados nesse capítulo, foi possível demonstrar uma consciência situacional para um gerenciamento dos processos de Certificação Aeronáutica e o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto.

Esses processos são complexos devido ao elevado volume de dados e informações que se não forem analisados, planejados, gerenciados e implementados de uma maneira integrada e conectadas a outras áreas de gestão e engenharia, pode resultar em desempenhos insatisfatórios, conforme apresentado nos cenários executados nessa pesquisa.

O cenário 5 por exemplo é um cenário real de muitos projetos que não deram certo, pois gastaram muito além do valor agregado e planejado e não concluíram 100% das tarefas do processo.

5 Conclusão

Nesse trabalho foram abordados os conceitos relacionados as principais normas de *Safety* ligadas a aviação e aos processos, um voltado para a certificação da aeronavegabilidade, esse obrigatório e requerido pelas autoridades de aviação civil, e, outro, para a suportabilidade, com uma especificação recomendada pela ASD/AIA (2021), DoD (2022) e BLANCHARD (2014). Além disso, foram integrados à pesquisa os métodos de Gerenciamento de Projeto e *Earned Value* para analisar diferentes cenários com parâmetros de custos e prazos.

5.1 Contribuições da Pesquisa

5.1.1 Análise combinada do Processo de Certificação e o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto

Na análise combinada do processo de certificação e do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto foi possível verificar as sinergias entre os conteúdos da base normativa da aviação civil com a especificação de suporte, mostrando o relacionamento de diversas tarefas, algumas muito semelhantes, outras que podem ser complementares e outras que são assíncronas, mas que podem contribuir de alguma forma para o desenvolvimento da suportabilidade de um produto.

Os resultados dessa análise qualitativa apontaram para uma relação no contexto de suporte entre os dois processos. Quando a aeronave conclui o processo de Certificação de Tipo, ela não alcança um nível de maturidade de suporte adequado. No entanto, é possível medir esse nível com uma verificação da quantidade de tarefas executadas e não executadas do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto.

O resultado dessa análise também mostrou que uma aeronave ao término do processo de certificação está aeronavegável. No entanto, não garante que ela está “suportável”, ou seja, que o produto terá um bom desempenho operacional do ponto de vista de suporte.

Além disso, mostrou a parcela de tarefas (51%) da especificação de suporte para o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto no desenvolvimento de uma aeronave que são exclusivas, ou seja, não tem relação ao processo de Certificação de Tipo, mas podem aumentar o desempenho operacional e uma melhor relação custo-benefício.

5.1.2 Modelagem da avaliação da maturidade de suporte

Através dos dados da análise qualitativa, foi possível aplicar o método de Nível de Maturidade de Suporte para testar em dois cenários diferentes, o comportamento do nível de maturidade de suporte durante o Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto concomitante ao Processo de Certificação.

Os resultados dos cenários apresentaram após o término do desenvolvimento da suportabilidade concomitante ao processo de certificação, o nível de maturidade de suporte de 49% e o outro em 100%.

Um nível de maturidade de suporte em 100% demonstra como os recursos de um Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto poderiam reduzir os problemas de suportabilidade enfrentados pelos operadores, como a baixa prontidão, a elevada taxa de manutenção e aumento de custos operacionais, pois reforçou algumas atividades semelhantes e realizou tarefas de suporte não contempladas no plano do processo de certificação, ou seja, além do mínimo requerido pela autoridade de aviação civil.

Já o nível em 49% resulta atrasos da maturidade de suporte do produto, e gerando diversos problemas na relação custo-benefício aos primeiros usuários da aeronave.

5.1.3. Integração dos resultados da análise combinada e da modelagem de avaliação da maturidade de suporte com uma ferramenta de gerenciamento de projeto

Com o conteúdo modelado da análise qualitativa e os resultados do método Nível de Maturidade de Suporte, foi implementado o método de Gerenciamento de Projeto com *Earned Value* em cinco cenários distintos, desde os mais saudáveis até os mais problemáticos, com testes em diferentes aspectos na gestão de tarefas no tempo e diferentes valores estimados de custos.

Com o resultado desses testes, foi possível observar os índices de desempenho de custo e prazo paralelo ao nível de maturidade de suporte durante o desenvolvimento do processo.

Os resultados apresentam que a união desses métodos pode aumentar o grau de consciência situacional ao gerente de projeto ou programa, quando for necessário analisar e aplicar requisitos de suportabilidade em um processo de Certificação de Tipo.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, pode ser relacionado variantes com outros aspectos de custos, quantidade e capacidade da mão de obra, infraestrutura alocada e conhecimento dos riscos envolvidos.

Pode ser modelado também, as tarefas de aeronaves de maior porte e mais complexas, e com mais níveis de detalhamento de trabalho.

Um estudo mais detalhado sobre as atividades exclusivas, ou seja, aquelas que não foram combinadas do processo da suportabilidade ao da certificação.

Além disso, pode-se expandir as análises para as atividades das demais fases do ciclo de vida, como a Operação e Descarte.

Referências

ABRAHÃO, F. T. M. et al. Development of the aerologlabtool. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL & LOGÍSTICA DA MARINHA, 19., 2019, Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2019.

ALMEIDA, JOÃO H. A.; ABRAHÃO, F. T. M., 2021. Comparação dos Requisitos de Suportabilidade com os de Aeronavegabilidade de um Sistema Aeroespacial Complexo. Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa, 23. 2021, São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2021.

ALMEIDA, M. C. P. **Proposta de adoção de um processo de captura e rastreamento de requisitos baseada num estudo de caso e num histórico das fases da engenharia de sistemas do INPE.** 2011. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento de Sistemas Espaciais) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

ANAC. **Cartilha com Orientação para Certificação de Projeto de Tipo.** 2019. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aeronaves/certificacao-e-fabricacao/certificacao-de-produtos-aeronauticos/Cartilha_Certificacao_Projeto_Tipo_v2.pdf. Acesso em: 20/11/2022.

ANAC. **RBAC 01:** Regulamento Brasileiro de Aviação Civil - Definições, regras de redação e unidades de medida para uso nos normativos da ANAC. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-01>

ANAC. **IS 21.001:** Instrução Suplementar - Orientações sobre certificação de tipo. 2021. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-21-001>

ANAC. **Relatório Anual de Segurança Operacional – RASO.** 2021. Disponível em: https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/gerenciamento-da-seguranca-operacional/arquivos/RASO_2021.pdf. Acesso em: 21/11/2022.

ANAC. **RBAC 21:** Regulamento Brasileiro de Aviação Civil - Certificação de Produto e Artigo Aeronáuticos. 2022. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-21>

ANAC. **RBAC 23:** Regulamento Brasileiro de Aviação Civil - Requisitos de aeronavegabilidade: aviões categoria normal. 2019. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-023/@@display-file/arquivo_norma/RBAC23EMD64.pdf

ANAC. **RBAC 25:** Regulamento Brasileiro de Aviação Civil - Requisitos de Aeronavegabilidade: Aviões Categoria Transporte. 2022. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2022/bps-v-17-no-17-25-a-29-04-2022/rbac-25-emd-146/visualizar_ato_normativo

ANAC. **Diretrizes de Aeronavegabilidade Brasileiras – DA**. 2023. Disponível em: <https://sistemas.anac.gov.br/certificacao/DA/DA.asp>. Acesso em: 04/03/2023.

ANAC. **Resolução Nº 648, de 30 de novembro de 2021. Aprova o Programa de fomento à certificação de projetos de aviões de pequeno porte - iBR+**. 2021. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/2021/resolucao-no-648-30-11-2021>. Acesso em: 12/03/2023.

ASD / AIA. **SX000i International procedure specification for Integrated Product Support (IPS)** – Issue 3.0. 2021b. Disponível em: <https://www.sx000i.org/docs/SX000i%20Issue%203.0.pdf> Acesso em: 08 out 2021.

ASSUMPCÃO, L. F. **Modelo de referência para avaliação de suportabilidade em processos de aquisição de sistemas complexos de defesa, inspirado no conceito de gêmeos digitais**. 2020. 129f. Tese (Mestrado em Ciências e Tecnologias Espaciais) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2020.

ASTM. **Standard Specification for Normal Category Aeroplanes Certification - F3264**. 2023. Disponível em: <https://www.astm.org/f3264-21.html>

BAAREN, R. J. V.; CURRAN, R. Benchmarking RAMS driven design best-practices in civil and military aerospace. 2013. **Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)**. Orlando, FL, USA, 2013, pp. 1-6.

BLANCHARD, B. S.; BLYLER, J. E. **System Engineering Management**. 5th Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, 2016. 554 p.

BLANCHARD, B. S. **Logistics Engineering and Management**. 6th Edition (Pearson New International Edition). Harlow: Pearson, 2014. 414 p.

BLS. **Occupational Employment Statistics**. Bureau of Labor Statistics – BLS. 2023. Disponível em: <https://www.bls.gov/oes/current/oes172011.htm> Acesso em: 05. Jan. 2023.

CAMARGO, G. M. **Modelo Colaborativo para Desenvolvimento de Tecnologia e Inovação na Indústria Aeronáutica Nacional de Pequeno Porte**. 2021. 238f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Sociedade) - Universidade Federal de São Carlos, 2021.

CNN, **43% das aeronaves de transporte privado e taxi aéreo estão impedidas de voar**. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/metade-das-aeronaves-de-transporte-privado-e-taxi-aereo-estao-impedidas-de-voar/> Acesso em: 07 jan 2023.

DAU. **Integrated Product Support Element Guidebook**. Defense Acquisition University, 2011. Disponível em: [Integrated-Product-Support-\(IPS\)-Element-Guidebook.pdf \(dau.edu\)](#) Acesso em 24 nov 2022.

DOD. **Product Support Manager Guidebook**. [S.l]: U.S. Department of Defense, May. 2022.

DAU. **Integrated Product Support Element Guidebook**. Defense Acquisition University, 2011. Disponível em: [Integrated-Product-Support-\(IPS\)-Element-Guidebook.pdf \(dau.edu\)](#) Acesso em 24 nov 2022.

DOD. **DOD Guide for Achieving Reliability, Availability, and Maintainability**. [S.l.]: U.S. Department of Defense, 2005.

EASA. **Certification Memorandum - Eligibility for type certificate application**. 2023. Disponível em: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/137938/en>

EASA. **Machine Learning Application Approval**. 2023. Disponível em: <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/news/first-public-deliverable-machine-learning-application-approval-mleap>

EIA. **EIA-632: Processes for Engineering a System**. Virginia: EIA, 1999.

FAA. **Type Certificate Order 8110-4C**. 2017. Disponível em: https://www.faa.gov/regulations_policies/orders_notices/index.cfm/go/document.information/documentid/15172. Acesso em 11 ago 2022.

FAA. **The FAA and Industries Guide to Product Certification**. 2017. Disponível em: https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/design_approvals/media/cpi_guide_ii.pdf. Acesso em: 11 ago 2022.

FAA. **AC 23.1309-1E - System Safety Analysis and Assessment for Part 23 Airplanes**. 2011. Disponível em: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_23_1309-1E.pdf. Acesso em: 13 out 2022.

FORTES, C. E. L.S., NUNES. L. E. N. do P., LINDGRE, P. C. C. A Contribuição da Certificação de Sistemas de Gestão da Qualidade no Cumprimento dos Requisitos de Aeronavegabilidade Estabelecidos na Aviação Civil. 2017. **Revista Conexão Sipaer**, Vol. 8, No. 1, p. 41-48.

GAMA. **Annual Report**. 2018. Disponível em: <https://gama.aero/wp-content/uploads/GAMA-2018-Annual-Report-1.pdf>. United States: GAMA, 2018. Acesso em: 19/02/2023.

GAO, W. Research on Civil Aircraft Operational Support Concept. 2020. **Global Reliability and Prognostics and Health Management (PHM-Shanghai)**, Shanghai, China, 2020, pp. 1-4

GARCIA, M.T, et al. BPMN-Sim: a multilevel structural similarity technique for BPMN process models. **Information Systems: databases: their creation, management and utilization**, v. 116, p. 01-26. 2023.

GONÇALVES, F.; TRABASSO, L.G. Aircraft Preventive Maintenance Data Evaluation Applied in Integrated Product Development Process. 2018. **Journal of Aerospace Technology and Management**. June 2018.

INCOSE. I. C. on S. E. **Systems engineering handbook**. 3th. ed., 2006.

KISH, B.; WILDE, M.; KIMBERLIN, R.; SILVER, I.; SIZOO, D.; WEBBER, D.; KOLANO, E.; SCHALLER, R. Proposed Part 23 Means of Compliance based on Flight Testing of Level 2 and Level 3 Aircraft. **IEEE Aerospace Conference**. 1-13. March 2020.

KERZNER, H. **Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling**, Tenth Edition. 2009. 1122 p.

LAINE, B.H.B, BENDARKAR, V.M., XIE J., BRICENO, S., MAVRIS, D.N. A Model-Based System Engineering Approach to Normal Category Airplane Airworthiness Certification. **AIAA Aviation Forum**. June 2019.

MAASS, C., WAHL, M.G., AMBLER, T. System Engineering and Design for Testability. **34th Annual EIA/GEIA Conference on Engineering and Technical**. 2000.

MENDONÇA, F. **Engenharia de sistemas: planejamento e controle de projetos**. 3ª edição. 1973. 310 p.

MINAYO, M. C. S. Análise Qualitativa: Teoria, Passos e Fidedignidade. 2012. **Ciência e Saúde Coletiva**, 2012. V.17, N.3, P.621-626.

MHENNI, F. **Safety Analysis Integration in a Systems Engineering Approach for Mechatronic Systems Design**. Thesys (Ph. D. in Sciences for the Engineer) - École Centrale Paris, 2014.

OLIVEIRA, T. C. **Design of a tool for the Integrated Logistics Support development of aerospace complex systems: Embryo Digital Twin**. 2022. 87f. Dissertation (Master of Science) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2022.

PETROV, A. N. Development of Instruction Continued Airworthiness and Aircraft Logistic Support Analysis. **Conference: 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, ICAS**. Sep. 2014.

PULCHÉRIO, A. F. et al. **Engenharia de sistemas: Planejamento e Controle de Projetos. Dissertação (Mestrado em análise de sistemas)** - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP: CNAE, 1971. (CNAE-170- LAFE) MENDONÇA, F. (organizador) **Engenharia de sistemas: planejamento e controle de projetos**. Petrópolis, RJ: Vozes, 1972. 307p.

PUGA, M. C., CISNEROS, R.F.T, PRADO, J.C.A, RAMOS, T.A, KHATCHIKIAN, C., CAMACLLANQUI, E.A. Earned Value Management Agent-Based Simulation Model. **Systems**. 11 - 86. Feb. 2023.

SAE. **ARP4754A: Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems**. United States: SAE, 2010.

SIEMENS. **Digital Certification Management**. 2021. Disponível em: <https://resources.sw.siemens.com/enUS/white-paper-airworthiness-digital-certification-management>. Acesso em: 19 Nov. 2022.

SILVA, C. C.; FILHO, C. M.; PINTO, A.M. A Systemic Approach to Aircraft System Supportability, 2021. **10th Latin-American Symposium on Dependable Computing (LADC)**, Florianópolis, Brazil, 2021, pp. 1-6.

SILVA, C. M.Z., GUILHERME M.S, LOPES, M.O.S. SUMARIZAÇÃO DO PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO DE TIPO DA AERONÁUTICA BRASILEIRA.. In: Anais do VI Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP 2018. **Anais...**Salvador(BA) UNIFACS, 2018.

TORRES, I.S., FANTINATO, M, BRANCO, G.M., GORDIJN J. Guidelines to derive an e3 value business model from a BPMN process model: an experiment on real-world scenarios. **Softw Syst Model 22**. 2023. p. 599–618.

TRIVELATO, G. C., LOPES, M. O. S. Current Trends Driving the Aerospace and Automotive Systems Architectures. **Conference: SAE Brasil Congress and Exhibit**. Oct. 2011.

Apêndice A

A.1 Modelagem da combinação dos processos e análise qualitativa, Modelagem do método Nível de Maturidade de Suporte, Modelagem dos Processos com Gerenciamento de Projeto e *Earned Value* e a Modelagem dos processos em BPMN.

Link para acesso: <https://www.aerologlab.ita.br/datafiles/>

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO DM	2. DATA 31 de agosto de 2023	3. REGISTRO Nº DCTA/ITA/DM-087/2023	4. Nº DE PÁGINAS 133
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Análise combinada do processo de certificação aeronáutica e do desenvolvimento do suporte integrado do produto para a aviação geral.			
6. AUTOR(ES): João Henrique Amorim de Almeida			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: 1. Certificação Aeronáutica. 2. Suportabilidade. 3. Suporte Integrado do Produto.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Suporte logístico integrado; Certificação; Logística (administração); Desenvolvimento; Manutenção de aeronaves; Análise comparativa; Pesquisa operacional.			
10. APRESENTAÇÃO: <input checked="" type="checkbox"/> Nacional <input type="checkbox"/> Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais. Área de Gestão Tecnológica. Orientador: Prof. Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão. Defesa em 03/07/2023. Publicada em 2023.			
11. RESUMO: Este trabalho aborda os problemas de suportabilidade e eventuais deficiências na utilização do conceito de Suporte Integrado ao Produto no desenvolvimento de aeronaves da aviação geral. O trabalho abrange o processo de certificação de tipo, que garante a aeronavegabilidade ao longo do ciclo de vida do produto. No entanto, embora muitos projetos de aeronaves obtenham o Certificado de Tipo, uma revisão de seus desempenhos em relação à suportabilidade aponta que muitos não conseguem garantir bons níveis dessa característica, especialmente para os primeiros clientes e operadores, que sofrem com um produto imaturo do ponto de vista de suporte. Isso pode ser evidenciado pelos diversos problemas enfrentados por operadores e mantenedores, seja devido à falta de precisão e otimização no plano de manutenção, no plano de suprimentos, paradas desnecessárias (manutenções corretivas), necessidade de cumprimento de boletins de serviços e/ou diretrizes de aeronavegabilidade e outros problemas observados na fase de operação. Todos esses fatores contribuem para aumentar os problemas relacionados ao custo-benefício esperado para a operação das aeronaves. Assim esse trabalho desenvolve três linhas de pesquisa principais. A primeira linha realiza uma análise comparativa e qualitativa dos processos de certificação de tipo e de todo o arcabouço do Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto (do inglês <i>Integrated Product Support</i> - IPS) para entender se há convergência, sinergia, exclusividade e concomitância entre as tarefas dos dois processos ao longo das três primeiras fases do ciclo de vida de um produto aeronáutico. A segunda linha modela o processo de análise do Nível de Maturidade de Suporte (do inglês <i>Support Maturity Level</i> - SML), explorando as vantagens e desvantagens de considerar os dois processos de forma combinada, bem como avaliando o desempenho de SML para diferentes instâncias do problema. A terceira linha modela o Plano do Processo de Certificação de Tipo em conjunto com um Plano de Desenvolvimento do Suporte Integrado do Produto em uma plataforma de gerenciamento de projetos. Diferentes cenários de desenvolvimento são testados para medir o desempenho dessas atividades ao longo do projeto. Esse trabalho verificou que 51% das atividades do desenvolvimento da suportabilidade não são contempladas pelo processo de certificação. Os resultados apontam para a importância de integrar os dois processos no desenvolvimento de um novo projeto de aeronaves, resultando em uma maior compreensão e conscientização situacional do gerenciamento das tarefas envolvidas, tanto em certificação quanto no desenvolvimento da suportabilidade.			
12. GRAU DE SIGILO: <input checked="" type="checkbox"/> OSTENSIVO <input type="checkbox"/> RESERVADO <input type="checkbox"/> SECRETO			