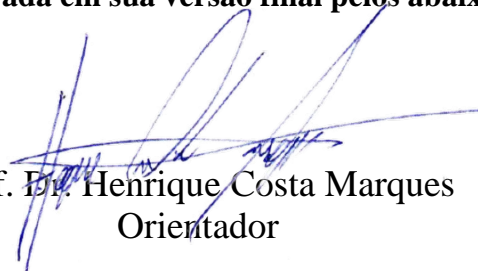


Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pós-Graduação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais, Área de Gestão Tecnológica.

Alexander Rodolfo Correia das Neves

**ANÁLISE DE MANUTENIBILIDADE PARA AVALIAR
MODIFICAÇÕES QUE SÃO INCORPORADAS DURANTE A
FASE DE OPERAÇÃO DO PRODUTO**

Dissertação aprovada em sua versão final pelos abaixo assinados:



Prof. Dr. Henrique Costa Marques
Orientador

Profa. Dra. Emília Villani
Pró-Reitora de Pós-Graduação

Campo Montenegro
São José dos Campos, SP – Brasil
2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Neves, Alexander Rodolfo Correia das

Análise de manutenibilidade para avaliar modificações que são incorporadas durante a fase de operação do produto / Alexander Rodolfo Correia das Neves.

São José dos Campos, 2022.

174f.

Dissertação de mestrado – Curso de Ciências e Tecnologias Espaciais, Área de Gestão Tecnológica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2022. Orientador: Prof. Dr. Henrique Costa Marques

1. Manutenção de aeronaves 2. Controle de processos 3. Requisitos 4. Engenharia aeronáutica. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Neves, Alexander Rodolfo Correia das. **Análise de manutenibilidade para avaliar modificações que são incorporadas durante a fase de operação do produto.** 2022. 174f. Dissertação de (mestrado em Gestão Tecnológica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2022.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Alexander Rodolfo Correia das Neves

TÍTULO DO TRABALHO: Análise de manutenibilidade para avaliar modificações que são incorporadas durante a fase de operação do produto.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação / 2022

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).



Alexander Rodolfo Correia das Neves

Rua Serra Grande, 66, Urbanova

CEP: 12244-617, São José dos Campos - SP

**ANÁLISE DE MANUTENIBILIDADE PARA
MODIFICAÇÕES QUE SÃO INCORPORADAS DURANTE A
FASE DE OPERAÇÃO DO PRODUTO**

Alexander Rodolfo Correia das Neves

Composição da Banca Examinadora:

Prof. Dr.	Fernando Teixeira Mendes Abrahão	Presidente	-	ITA
Prof. Dr.	Henrique Costa Marques	Orientador	-	ITA
Prof. Dra.	Emília Villani	Membro Interno	-	ITA
Prof. Dr.	Ezequiel Roberto Zorzal	Membro Externo	-	UNIFESP

ITA

Dedico este trabalho a todos que
me apoiaram e ajudaram
ao longo desta caminhada.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus por trilhar meu caminho e colocar em minha vida pessoas tão especiais.

Aos meus pais, eterna gratidão, que não mediram esforços para que eu pudesse correr atrás dos meus sonhos.

Aos meus amigos que participaram de maneira direta ou indireta para a realização desse trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Henrique Costa Marques, e demais professores por compartilhar seus conhecimentos e experiências.

Agradecimento especial a minha família, minha esposa e filhos, por serem tão importantes na minha vida. Sempre ao meu lado me apoiando e incentivando.

*"A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original".*

(Albert Einstein)

Resumo

Este trabalho de pesquisa evidencia a importância em se investir em manutenção durante o desenvolvimento de modificações de produto incorporadas durante a fase de operação de uma aeronave. A manutenibilidade é uma característica intrínseca de um produto, e se incorporada adequadamente pode tornar as atividades de manutenção convenientes, rápidas e econômicas. É constatado que há poucos métodos disponíveis para a realização de análise de manutenibilidade, direcionados ao setor aeronáutico. Os métodos existentes apresentam algumas limitações, seja em relação aos atributos analisados e/ou ao método de cálculo utilizado. Essas limitações podem induzir o avaliador ao erro, e conseqüentemente trazer impactos para o operador, afetando a disponibilidade da aeronave, ocasionando aumento recorrente nos custos, recursos e ciclos necessários para a execução das tarefas de manutenção ao longo do ciclo de vida de um produto. O trabalho apresenta um arcabouço para a realização de análise de manutenibilidade referente às modificações incorporadas na fase de operação de uma aeronave. A metodologia apresentada neste arcabouço traz as seguintes contribuições; demonstrar o momento correto para estruturar as informações e identificar os requisitos de manutenibilidade que possam ser afetados; identificar os atributos de manutenibilidade presentes ao longo do ciclo de vida de um produto aeronáutico; e realizar as análises de manutenibilidade utilizando o método TOPSIS, podendo ser aplicado por um único avaliador para a realização de análises comparativas das possíveis propostas de modificação do produto. Dois estudos de caso são apresentados para demonstrar a aplicação da metodologia proposta. As análises de manutenibilidade são realizadas por três avaliadores. É confirmada que a subjetividade é inerente a tomada de decisão, principalmente na mensuração dos atributos que podem apresentar natureza quantitativa e/ou qualitativa. Um experimento em realidade virtual realizado para verificar as análises de manutenibilidade propiciou uma interação realista das atividades envolvidas nas tarefas executadas. Embora não seja possível capturar todas as percepções através de uma simulação em ambiente virtual, essa ferramenta proporciona capturar percepções como dificuldade, visualização, acesso e movimentação dos componentes. O arcabouço desenvolvido mostra-se adequado para realizar análises de manutenibilidade referentes às modificações que são incorporadas na fase de operação de uma aeronave, apresenta resultados mais consistentes em relação aos outros métodos analisados e disponibiliza uma resposta rápida e direta, com parâmetros mensuráveis e assertivos para

serem utilizados em um processo de tomada de decisão para a aprovação de uma modificação do produto. É importante ressaltar que o arcabouço em si não é o tomador de decisão, mas uma ferramenta que fornece os dados necessários, em tempo hábil, para apoiar o processo de tomada de decisão para a incorporação de uma modificação no produto. Vale ressaltar que este trabalho não aborda as demais atividades envolvidas na suportabilidade do produto. Após a definição da melhor proposta de modificação do produto é necessário identificar os possíveis impactos no plano de manutenção, nas publicações técnicas, bem como nos demais elementos relacionados à suportabilidade do produto.

Abstract

This research highlights the importance of investing in maintenance during the development of product modifications that are incorporated during the operational phase into the aircraft. Maintainability is an intrinsic feature of a product and if incorporated properly it can make maintenance activities convenient, fast and economical. It is verified that there are few maintainability analysis methods applicable to the aeronautical segment. They present some limitations, whether concerning the maintainability attributes and/or the calculation method used. These limitations can induce the evaluator to error; additionally, it can impact the operator, affecting the availability of the aircraft, increasing the recurring costs, resources, and cycle necessary to perform the maintenance tasks throughout the life cycle of a product. The work presents a framework to perform the maintainability analysis referring to product modifications incorporated in the operational phase of an aircraft. The presented methodology brings the following contributions: demonstrate the properly moment to structure the information and identify the maintainability requirements that may be affected by the modification; identify the attributes that cover the aspects related to the maintainability of an aeronautical product throughout its life cycle; to perform the maintainability analysis using the TOPSIS method, enabling the comparative analysis of product modification proposals and can be applied by a single evaluator. Two case studies are presented to demonstrate the application of the proposed methodology. Three evaluators perform the maintainability analysis, it is confirmed that subjectivity is inherent to all decision-making, mainly in the measurement of maintainability attributes that may present quantitative and/or qualitative feature. An experiment using virtual reality is performed to verify the maintainability analysis performed by the evaluators, this resource provides a more realistic interaction of the activities involved in the maintenance tasks. Although it is not possible to capture all perceptions through a simulation in a virtual environment, this resource provides to capture perceptions such as difficulty, visualization, accessibility, and movement of components. The framework proves to be adequate to perform the maintainability analysis for evaluating the product modifications during its operational phase, it presents more consistent results concerning the other analyzed methods and provides a quick and direct response, resulting in measurable and assertive parameters to be used in a decision-making process to approve a product modification. It is necessary to emphasize that the framework itself is not the decision

maker, but a tool that provides the necessary data in a timely manner to support the decision-making process for the incorporation of a modification into the product. It is important to mention that this work does not address the other elements involved in product supportability. After the definition of the best modification proposal, in relation to maintainability, the possible impacts on the maintenance plan and technical publications as well as other elements related to product supportability, must be verified.

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Fluxo Seleção das Modificações do Produto (Fonte: o autor).....	22
Figura 1.2 - Fluxograma Atual – Desenvolvimento de Modificação do Produto. Adaptado de: (OEM AERONÁUTICO NÃO DIVULGADO, 2021).	24
Figura 3.1 - Ciclo OODA. Adaptado de: (BOSSÉ <i>et al.</i> , 2007 <i>apud</i> BOYD, 1987).	59
Figura 3.2 - Fluxograma Proposto (Fonte: o autor).....	60
Figura 3.3 - Atributos de Manutenibilidade (Fonte: o autor).	62
Figura 3.4 - Distância para dois pontos: solução ideal positiva e solução ideal negativa (SILVA, 2020 <i>apud</i> POMEROL; BARBA-ROMERO, 2000)	65
Figura 3.5 - Computador e Equipamentos (Fonte: o autor).....	71
Figura 3.6 - Óculos de Realidade Virtual (VIVE PRO, 2021).....	72
Figura 4.1 - Configuração Inicial - Vistas Frontal e Lateral (Fonte: o autor).	74
Figura 4.2 - Configuração Inicial - Vista Traseira (Fonte: o autor).	74
Figura 4.3 - Configuração Atual - Vista Traseira (Fonte: o autor).....	75
Figura 4.4 - Estudo de Caso I - Proposta de Modificação 1 (Fonte: o autor).....	77
Figura 4.5 - Estudo de Caso I - Proposta de Modificação 1 (Fonte: o autor).....	77
Figura 4.6 - Estudo de Caso I - Proposta de Modificação 2 (Fonte: o autor).....	78
Figura 4.7 - Estudo de Caso I - Proposta de Modificação 2 (Fonte: o autor).....	78
Figura 4.8 - Atributos de Manutenibilidade - Estudo de Caso I (Fonte: o autor).....	79
Figura 4.9 - Divã (Assento Lateral 2 Posições) (Fonte: o autor).....	89
Figura 4.10 - Detalhamento dos Componentes (Fonte: o autor).	90
Figura 4.11 - Vista Frontal (Fonte: o autor).	90
Figura 4.12 - Vista Lateral (Corte A-A) - Posição Ideal da Mangueira (Fonte: o autor).	90
Figura 4.13 - Acesso para a Remoção do Painel Traseiro Atual (Fonte: o autor).....	91

Figura 4.14 - Montagem do Novo Painel Traseiro (Fonte: o autor).....	92
Figura 4.15 - Acesso para a Montagem da Chapa Metálica (Fonte: o autor).....	92
Figura 4.16 - Montagem da Chapa Metálica (Fonte: o autor).	93
Figura 4.17 - Atributos de Manutenibilidade - Estudo de Caso II (Fonte: o autor)	94
Figura 4.18 - Modelo físico da estrutura do divã (Fonte: o autor).	108
Figura 4.19 - Local do Ensaio (Fonte: o autor).	109
Figura 4.20 - Voluntário #1 - Execução Experimento (Fonte: o autor).	110
Figura 4.21 - Voluntário #7 - Execução Experimento (Fonte: o autor).	110
Figura 4.22 - Visão do voluntário durante a realização do experimento (Fonte: o autor).....	111
Figura 4.23 - Visão do voluntário durante a realização do experimento (Fonte: o autor).....	111
Figura 4.24 - Visão do voluntário durante a realização do experimento (Fonte: o autor).....	111
Figura 4.25 - Questionário Experimento (Fonte: o autor).....	113
Figura 4.26 - Codificação da Escala (Fonte: o autor).....	114
Figura 6.1 - Atributos Manutenibilidade X Métodos – Estudo de Caso I (Fonte: o autor)....	133
Figura 6.2 - Atributos Manutenibilidade X Métodos – Estudo de Caso II (Fonte: o autor). .	133
Figura A.0.1 – Treinamento VR (Fonte: o autor).....	149
Figura A.0.2 – Treinamento VR (Fonte: o autor).....	149
Figura A.0.3 – Treinamento VR (Fonte: o autor).....	150
Figura A.0.4 – Treinamento VR (Fonte: o autor).....	150
Figura B.0.1 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).....	151
Figura B.0.2 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).....	151
Figura B.0.3 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).....	152
Figura B.0.4 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).....	152
Figura B.0.5 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).....	152
Figura B.0.6 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).....	153

Figura B.0.7 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).....	153
Figura B.0.8 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).....	153
Figura B.0.9 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).....	154
Figura B.0.10 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	154
Figura B.0.11 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	155
Figura B.0.12 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	155
Figura B.0.13 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	155
Figura B.0.14 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	156
Figura B.0.15 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	156
Figura B.0.16 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	156
Figura B.0.17 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	157
Figura B.0.18 - – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).....	157
Figura B.0.19 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	157
Figura B.0.20 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	158
Figura B.0.21 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	158
Figura B.0.22 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	158
Figura B.0.23 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	159
Figura B.0.24 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	159
Figura B.0.25 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	159
Figura B.0.26 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).	160
Figura C.0.1 – Voluntário #1 - Chapa Metálica (Fonte: o autor).	161
Figura C.0.2 – Voluntário #1 - Painel Traseiro (Fonte: o autor).	162
Figura C.0.3 – Voluntário #2 - Chapa Metálica (Fonte: o autor).	163
Figura C.0.4 – Voluntário #2 - Painel Traseiro (Fonte: o autor).	164
Figura C.0.5 – Voluntário #3 - Chapa Metálica (Fonte: o autor).	165

Figura C.0.6 – Voluntário #3 - Painel Traseiro (Fonte: o autor).....	166
Figura C.0.7 – Voluntário #4 - Chapa Metálica (Fonte: o autor).....	167
Figura C.0.8 – Voluntário #4 - Painel Traseiro (Fonte: o autor).....	168
Figura C.0.9 – Voluntário #5 - Chapa Metálica (Fonte: o autor).....	169
Figura C.0.10 – Voluntário #5 - Painel Traseiro (Fonte: o autor).....	170
Figura C.0.11 – Voluntário #6 - Chapa Metálica (Fonte: o autor).....	171
Figura C.0.12 – Voluntário #6 - Painel Traseiro (Fonte: o autor).....	172
Figura C.0.13 – Voluntário #7 - Chapa Metálica (Fonte: o autor).....	173
Figura C.0.14 – Voluntário #7 - Painel Traseiro (Fonte: o autor).....	174

Lista de Tabelas

Tabela 1-1 - Objetivos Específicos	28
Tabela 2-1 - Vantagens e Desvantagens - TOPSIS	33
Tabela 2-2 - Atributos inerentes ao produto (adaptado de: JIAN; CAI; CHEN, 2017).	50
Tabela 2-3 - Fatores externos (adaptado de: JIAN; CAI; CHEN, 2017).	50
Tabela 2-4 - Atributos Manutenibilidade x Métodos x Aplicabilidade	57
Tabela 3-1 - Métricas dos Atributos	63
Tabela 4-1 - Dados de Campo	76
Tabela 4-2 - Identificação dos Engenheiros do Estudo de Caso I	80
Tabela 4-3 - Benefício dos Atributos	80
Tabela 4-4 - Matriz de Decisão	80
Tabela 4-5 - Eng. Manutenibilidade #1 x Proposta de Modificação 1	81
Tabela 4-6 - Eng. Manutenibilidade #2 x Proposta de Modificação 1	82
Tabela 4-7 - Eng. Manutenibilidade #3 x Proposta de Modificação 1	82
Tabela 4-8 - Eng. Manutenibilidade #1 x Proposta de Modificação 2	83
Tabela 4-9 - Eng. Manutenibilidade #2 x Proposta de Modificação 2	84
Tabela 4-10 - Eng. Manutenibilidade #3 x Proposta de Modificação 2	84
Tabela 4-11 - Atribuição dos Pesos para os Atributos	85
Tabela 4-12 - Comparação entre as pontuações do índice de desempenho dos atributos de manutenibilidade – Proposta 1 x Configuração Inicial	86
Tabela 4-13 - Comparação entre as pontuações do índice de desempenho dos atributos de manutenibilidade – Proposta 2 x Configuração Inicial	87
Tabela 4-14 - Resultados do Estudo de Caso I	87
Tabela 4-15 – Identificação dos Engenheiros de Manutenibilidade	94
Tabela 4-16 - Benefício dos Atributos	95

Tabela 4-17 - Matriz de Decisão	95
Tabela 4-18 - Eng. Manutenibilidade #1 – Linha de Montagem	96
Tabela 4-19 - Eng. Manutenibilidade #4 – Linha de Montagem	97
Tabela 4-20 - Eng. Manutenibilidade #5 – Linha de Montagem	97
Tabela 4-21 - Eng. Manutenibilidade #1 – Frota (Boletim de Serviço)	98
Tabela 4-22 - Eng. Manutenibilidade #4 – Frota (Boletim de Serviço)	99
Tabela 4-23 - Eng. Manutenibilidade #5 – Frota (Boletim de Serviço)	99
Tabela 4-24 - MTA - Substituição do Painel Traseiro	101
Tabela 4-25 - MTA - Substituição do Painel Traseiro (Cont.)	102
Tabela 4-26 - MTA - Substituição do Painel Traseiro (Cont.)	103
Tabela 4-27 - MTA Instalação Chapa Metálica	104
Tabela 4-28 - MTA Instalação Chapa Metálica (Cont.)	105
Tabela 4-29 - Sequência da realização dos experimentos	107
Tabela 4-30 - Resultado do Experimento	114
Tabela 4-31 - Atribuição dos Pesos para os Atributos	115
Tabela 4-32 - Índice de desempenho dos atributos de manutenibilidade	116
Tabela 4-33 - Resultados do Estudo de Caso II – Aplicação na Linha de Montagem	117
Tabela 4-34 - Análise Quantitativa dos Atributos	118
Tabela 4-35 - Índices de Desempenho dos Atributos Quantitativos	118
Tabela 4-36 - Índice de Desempenho dos Atributos Qualitativos	119
Tabela 4-37 - Resumo do Resultado dos Experimentos	120
Tabela 4-38 - Atribuição dos Pesos para os Atributos	121
Tabela 4-39 - Resultados do Estudo de Caso II – Aplicação na Frota	122
Tabela 5-1 - Estudo de Caso I – Configuração Inicial	123
Tabela 5-2 - Estudo de Caso I – Proposta 1	124

Tabela 5-3 - Estudo de Caso I – Proposta 2	124
Tabela 5-4 - Estudo de Caso II – Instalação Chapa Metálica	125
Tabela 5-5 - Estudo de Caso II – Substituição Painel traseiro	125
Tabela 5-6 - Estudo de Caso I - Eng. #1 - Proposta 1 x Configuração Inicial	126
Tabela 5-7 - Estudo de Caso I - Eng. #1 - Proposta 2 x Configuração Inicial	127
Tabela 5-8 - Estudo de Caso I - Eng. #2 - Proposta 1 x Configuração Inicial	127
Tabela 5-9 - Estudo de Caso I - Eng. #2 - Proposta 2 x Configuração Inicial	127
Tabela 5-10 - Estudo de Caso I - Eng. #3 - Proposta 1 x Configuração Inicial	128
Tabela 5-11 - Estudo de Caso I - Eng. #3 - Proposta 2 x Configuração Inicial	128
Tabela 5-12 - Estudo de Caso II – Eng. # 1 - Aplicação na Linha	129
Tabela 5-13 - Estudo de Caso II – Eng. # 4 - Aplicação na Linha	129
Tabela 5-14 - Estudo de Caso II – Eng. # 5 - Aplicação na Linha	130
Tabela 5-15 - Estudo de Caso II – Eng. # 1 - Aplicação na Frota (BS)	130
Tabela 5-16 - Estudo de Caso II – Eng. # 4 - Aplicação na Frota (BS)	131
Tabela 5-17 - Estudo de Caso II – Eng. # 5 - Aplicação na Frota (BS)	131
Tabela 6-1 - Comparativo dos Métodos – Estudo de Caso I	134
Tabela 6-2 - Comparativo dos Métodos – Estudo de Caso II	135

Sumário

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Contextualização.....	22
1.2	Motivação	25
1.3	Problema de Pesquisa.....	27
1.4	Objetivo do Trabalho	28
1.5	Relevância da Pesquisa	29
1.6	Estrutura do Trabalho	29
2	REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA.....	30
2.1	Referencial Teórico.....	30
2.1.1	Métodos Multicritério (MCDA e MCDM).....	30
2.1.1.1	Método TOPSIS	32
2.1.2	Manutenibilidade do Produto	34
2.1.3	Atributos de Manutenibilidade	35
2.1.3.1	Ciclo	37
2.1.3.2	Acessibilidade.....	37
2.1.3.3	Inspeção	38
2.1.3.4	Comunalidade.....	39
2.1.3.5	Intercambialidade	39
2.1.3.6	Testabilidade.....	40
2.1.3.7	Ajustabilidade.....	41
2.1.3.8	Identificação	41
2.1.3.9	Modularidade.....	41
2.1.3.10	Simplicidade	42
2.1.3.11	Fatores Humanos	42
2.1.3.12	Criticidade do Equipamento	44
2.1.3.13	Manuseabilidade.....	44
2.1.3.14	Padronização de Ferramentas	45
2.1.3.15	Ferramentas Especiais / GSE (<i>Ground Support Equipment</i>)	45
2.1.3.16	Capacitação dos Mantenedores	46
2.1.3.17	Número de Mantenedores.....	47
2.1.3.18	Ambiente de Trabalho	47

2.1.3.19	Infraestrutura	47
2.2	Revisão da Literatura.....	49
2.2.1	Tabulação das informações pesquisadas	56
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
3.1	Quando e o que abordar em uma análise de manutenibilidade.....	58
3.1.1	Alteração do Fluxograma de Desenvolvimento de Modificação do Produto.....	58
3.1.2	Atributos de Manutenibilidade	62
3.2	Metodologia.....	64
3.2.1	Método TOPSIS	64
3.2.2	Avaliadores	68
3.3	Verificação das Análises.....	68
3.3.1	Atributos Quantitativos	69
3.3.2	Atributos Qualitativos	69
3.3.3	Experimento	69
3.3.3.1	Recursos Computacionais	71
3.3.3.2	Treinamento.....	72
3.3.3.3	Questionário	72
4	ESTUDOS DE CASO.....	74
4.1	Estudo de Caso I.....	74
4.1.1	Definição dos atributos de manutenibilidade aplicáveis ao Estudo de Caso I	78
4.1.2	Aplicação do método TOPSIS.....	79
4.1.3	Resultados do Estudo de Caso I	81
4.1.3.1	Análise de Manutenibilidade – Proposta 1	81
4.1.3.2	Análise de Manutenibilidade – Proposta 2.....	83
4.1.4	Discussões dos Resultados referentes ao Estudo de Caso I.....	85
4.2	Estudo de Caso II.....	89
4.2.1	Definição dos atributos de manutenibilidade aplicáveis ao Estudo de Caso II.....	93
4.2.2	Aplicação do método TOPSIS.....	94
4.2.3	Resultados do Estudo de Caso II	96
4.2.3.1	Comparação das propostas – Aplicação na Linha de Montagem.....	96
4.2.3.2	Comparação das propostas – Aplicação na Frota (Boletim de Serviço)	98
4.2.4	Verificação das Análises – Estudo de Caso II.....	100
4.2.4.1	Atributos Quantitativos	100
4.2.4.2	Atributos Qualitativos	106
4.2.4.2.1	Voluntários	106

4.2.4.2.2	Familiarização com as atividades a serem executadas.....	107
4.2.4.2.3	Execução do Experimento.....	108
4.2.4.2.4	Questionário.....	112
4.2.4.2.5	Resultados dos Experimentos.....	114
4.2.5	Discussões dos Resultados referentes ao Estudo de Caso II.....	115
4.2.5.1	Propostas de modificações do produto – Aplicação na Linha de Montagem.....	115
4.2.5.2	Propostas de modificações do produto – Aplicação na Frota (Boletim de Serviço) 117	
5	ANÁLISE DE MANUTENIBILIDADE - MÉTODOS EXISTENTES.....	123
5.1	Critérios de Montagem – (ABDULLAH <i>et al.</i>, 2006).....	123
5.1.1	Estudo de Caso I.....	123
5.1.2	Estudo de Caso II.....	124
5.2	<i>Trade-off</i> - (BLANCHARD <i>et al.</i>, 1995).....	126
5.2.1	Estudo de Caso I.....	126
5.2.2	Estudo de Caso II.....	128
5.2.2.1	Aplicação na Linha de Montagem.....	129
5.2.2.2	Aplicação na Frota (Boletim de Serviço).....	130
6	DISCUSSÕES.....	132
6.1	Atributos de Manutenibilidade.....	132
6.2	Comparação entre os resultados encontrados.....	134
7	CONCLUSÃO.....	137
7.1	Considerações Finais.....	139
7.2	Contribuições.....	141
7.3	Sugestões de Trabalhos Futuros.....	142
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	143
9	GLOSSÁRIO.....	147
	APÊNDICE A – TREINAMENTO VR.....	149
	APÊNDICE B – FAMILIARIZAÇÃO COM AS ATIVIDADES A SEREM REALIZADAS.....	151
B.1	Inclusão da chapa metálica.....	151
B.2	Substituição Painel Traseiro.....	154
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO - EXPERIMENTO.....	161

1 Introdução

A operação aeronáutica possui algumas características específicas, especialmente no setor de manutenção onde requer rigorosos controles das documentações, de procedimentos e de tempo limitado para a execução das atividades. As soluções de projeto e o plano de manutenção desenvolvido na concepção de projeto são características significativas de um produto que podem tornar a manutenção conveniente, rápida e econômica. No entanto, é uma atividade recorrente e está fortemente associada à segurança e à aeronavegabilidade do produto, representando um custo significativo para o operador.

Durante as fases de concepção e desenvolvimento de uma aeronave, conforme definido por (BLANCHARD, 1998), os requisitos de certificação, produto, fabricação, montagem, manutenção e outros, são incorporados no produto. Nestas fases os requisitos de manutenção são definidos e o produto é desenvolvido de modo a atendê-los da melhor maneira possível. Porém na fase de operação de uma aeronave são identificadas necessidades de correções, melhorias e alterações para manter o produto competitivo, demandando modificações do produto.

Essas modificações devem ser desenvolvidas para serem viáveis para os fabricantes e principalmente para os operadores das aeronaves. Entretanto, se não forem desenvolvidas adequadamente, essas modificações podem afetar consideravelmente os requisitos e as características de manutenibilidade definidos durante a concepção inicial do produto. Isso pode ocasionar um aumento recorrente nos custos, recursos e ciclos necessários para a execução das tarefas de manutenção ao longo do ciclo de vida de um produto.

Assim, este trabalho abordará os atributos de manutenibilidade referentes ao setor aeronáutico, sejam qualitativos e/ou quantitativos, e aplicará um método multicritério de apoio à tomada de decisão que possibilite realizar análises comparativas das possíveis propostas de modificação do produto.

O objetivo é estabelecer um entendimento comum, mais amplo e completo para uniformizar as análises de manutenibilidade, provendo uma resposta rápida e direta, disponibilizando parâmetros mensuráveis e assertivos para serem utilizados em um processo de tomada de decisão para a aprovação de uma modificação do produto. Entretanto, o modelo em si, não é o tomador de decisão, mas uma ferramenta que fornece dados necessários, em tempo hábil, para apoiar o processo de tomada de decisão.

1.1 Contextualização

Durante o ciclo de vida de uma aeronave, principalmente na fase de operação, várias modificações são incorporadas ao produto. As modificações e atualizações podem ser demandadas pelo operador, fornecedor, autoridade certificadora ou pelo fabricante, e são caracterizadas como correção, melhoria ou atender uma necessidade específica.

O objetivo é manter o produto operacional, tornando a sua operação mais viável, visando melhorar ou adicionar alguma nova funcionalidade ao produto ou meramente atender uma necessidade específica de mercado ou cliente.

As modificações do produto desenvolvidas pelo fabricante da aeronave passam por filtros, conforme ilustrado na Figura 1.1.

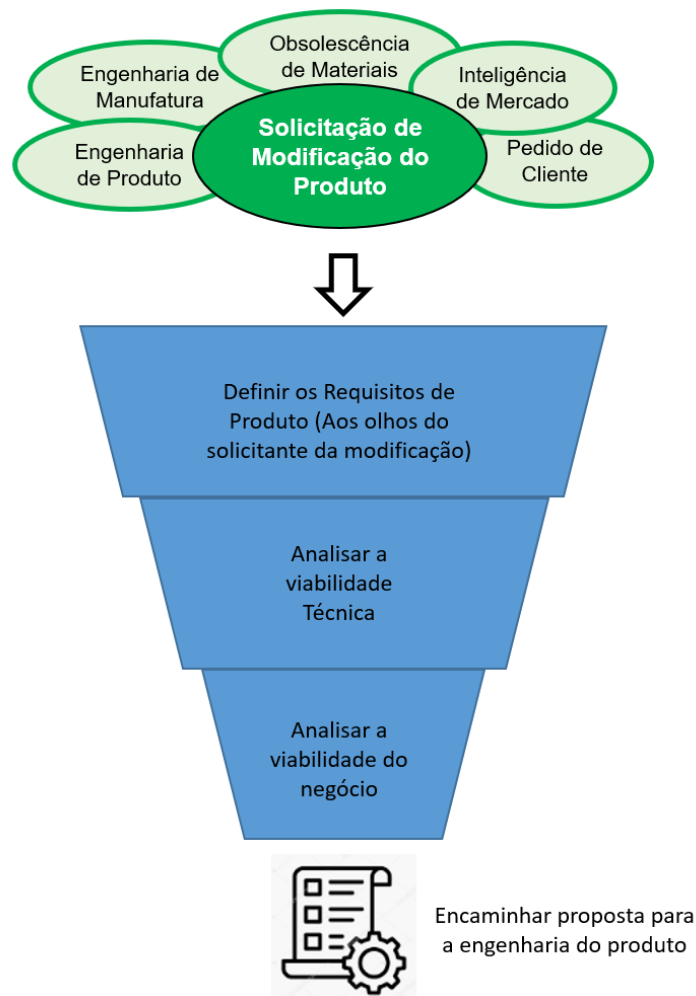


Figura 1.1 - Fluxo Seleção das Modificações do Produto (Fonte: o autor).

Esse processo inicia-se com a descrição da solicitação (não a solução), onde as principais necessidades, requisitos e restrições por parte do demandante são definidos (referência filtro 1 da Figura 1.1). Em seguida, é realizada análise técnica preliminar considerando as possíveis soluções, restrições e ciclo do desenvolvimento (referência filtro 2 da Figura 1.1). Essas informações são utilizadas para a realização da análise de viabilidade do negócio (referência filtro 3 da Figura 1.1).

Após passar pelas três etapas, as solicitações de modificações aceitas são priorizadas levando-se em conta alguns critérios como: importância, disponibilidade de mão de obra, parada programada de manutenção, entre outros.

Na sequência essas solicitações de modificações do produto são encaminhadas a engenharia de desenvolvimento do produto para o início de suas atividades.

As atividades e suas interligações estão ilustradas de forma simplificada no fluxograma apresentado pela Figura 1.2.

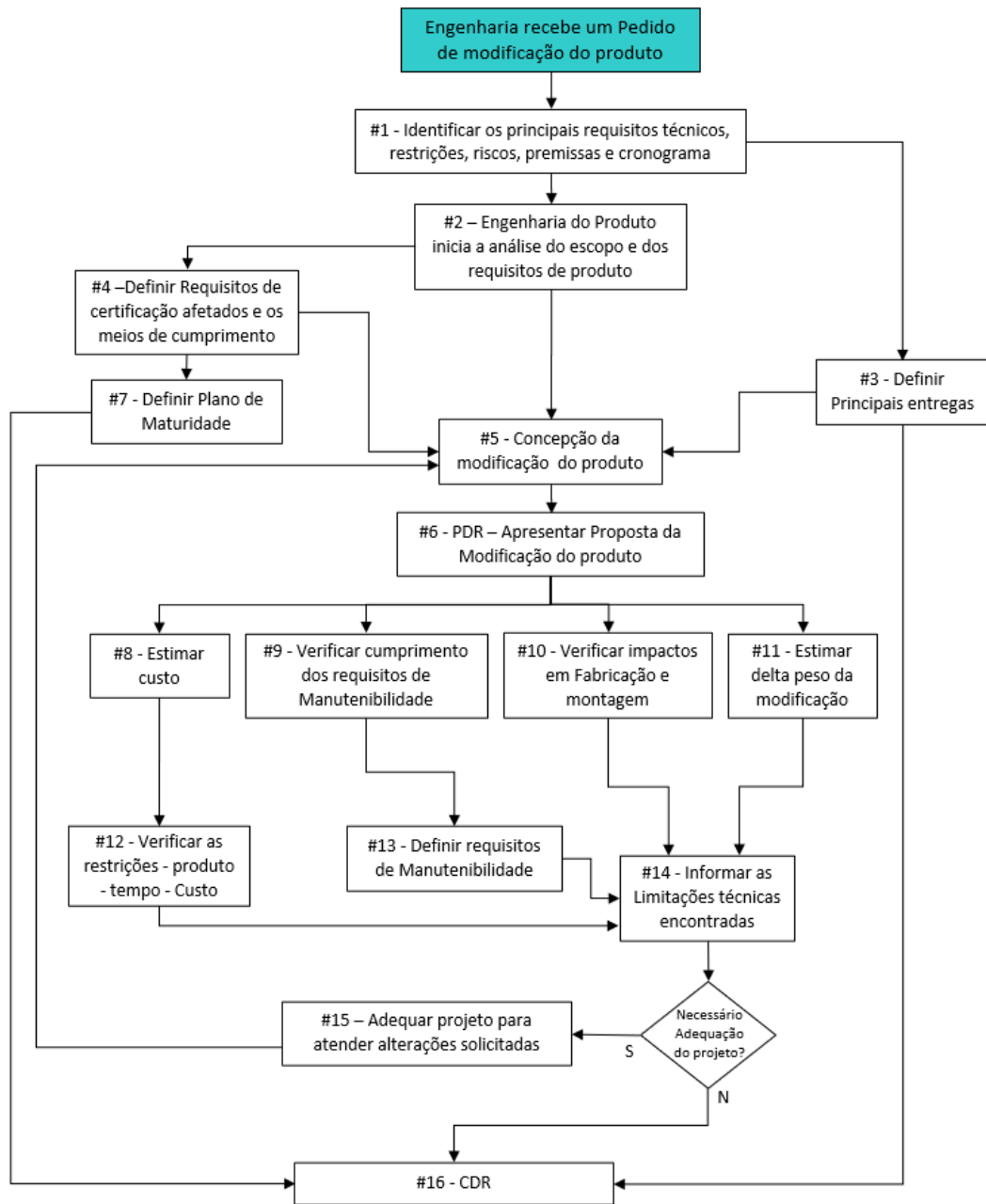


Figura 1.2 - Fluxograma Atual – Desenvolvimento de Modificação do Produto. Adaptado de: (OEM AERONÁUTICO NÃO DIVULGADO, 2021).

Observa-se que os requisitos, atributos de manutenibilidade e procedimentos de manutenção não são identificados e especificados no início do desenvolvimento de uma modificação do produto (atividade #13 – Definir requisitos de Manutenibilidade). Isso é um agravante, não contribui para que a modificação do produto seja desenvolvida e direcionada para a manutenibilidade e pode implicar em retrabalhos e alterações durante o desenvolvimento da modificação do produto.

1.2 Motivação

As modificações incorporadas ao longo do ciclo de vida do produto devem ser desenvolvidas de modo a não comprometer os requisitos e características de manutenibilidade definidos durante a concepção inicial do produto.

A operação de aeronaves consiste em vários métodos complexos para alcançar não apenas a segurança como elemento principal, mas também para proteger o valor da aeronave e administrar a companhia aérea em condições rentáveis. No entanto, como os custos de manutenção são inevitáveis no setor aéreo, o mais importante é encontrar o equilíbrio entre segurança e rentabilidade operacional. Portanto, para manter as aeronaves em condições aeronavegáveis, a companhia aérea deve investir em eventos de manutenção programada e não programada (BUGAJ *et al.*, 2019).

As atividades de manutenção das aeronaves são partes essenciais da aeronavegabilidade. No momento, os custos de manutenção de aeronaves comerciais contribuem significativamente para o custo de propriedade de uma aeronave. Cerca de 70 a 85% dos custos ao longo do ciclo de vida de uma aeronave comercial são determinados durante o estágio de concepção e projeto (PERIYARSELVAM *et al.*, 2013).

A manutenção de aeronaves é um procedimento complexo e caro (12 a 15% do custo total anual da empresa). Como muitos custos não podem ser alterados (por exemplo, preço de combustível, taxas aeroportuárias, taxas de navegação, preço de mercado de aeronaves), as companhias aéreas precisam controlar as atividades de manutenção das aeronaves por meio de um programa de manutenção que visa otimizar o número de operações e maximizar a segurança das aeronaves (ČOKORILO, 2011).

Se a manutenibilidade do produto for considerada desde o início da fase de concepção do produto, os custos da fase de operação e a inatividade do produto serão reduzidos (WAHAB *et al.*, 2008).

De uma perspectiva mais operacional, a manutenção refere-se às medidas tomadas durante a fase de concepção do produto para incluir soluções de projeto que aumentem a facilidade de manutenção e garantam que o produto tenha um menor tempo de inatividade e um menor custo de suportabilidade durante sua fase de operação. A concepção de projeto voltada para a manutenibilidade do produto permite que os processos de manutenção sejam conduzidos com eficiência. Além disso, pode reduzir os custos ao longo do ciclo de vida do produto e reduzir incidentes e acidentes (GUO *et al.*, 2018).

Os atributos de manutenibilidade incorporados durante o desenvolvimento de um produto são significantes características que podem tornar a manutenção conveniente, rápida e econômica. Com a conclusão da concepção do projeto, a manutenibilidade torna-se um atributo inerente ao produto (ZHONG; YOUCHAO, 2007).

A seguir serão descritos alguns casos reais onde uma modificação do produto trouxe impactos para a manutenibilidade do produto.

Durante o desenvolvimento inicial do interior de uma nova aeronave, foi definido como requisito de manutenibilidade que as baterias de emergência localizadas na cabine de passageiros deveriam ser acessadas em 40 minutos. As baterias eram instaladas em três locais e fixadas na estrutura da aeronave. Para acessar cada bateria era requerida a remoção de apenas um dos painéis do teto do interior da aeronave. Esse projeto foi avaliado e aprovado durante a fase de concepção do interior da aeronave.

Após a montagem da primeira aeronave verificou-se que os painéis de teto apresentavam desalinhamento e degraus entre si. Foi solicitada uma modificação do produto para melhorar o aspecto visual. A fixação dos painéis do teto foi alterada, sendo incluído um dispositivo que era fixado entre os painéis. Essa modificação solucionou o problema do desalinhamento e degrau entre os painéis do teto, porém, após essa alteração o tempo de acesso às baterias passou a ser de 3 horas, um incremento de 2 horas e 20 minutos além do requisito estabelecido inicialmente.

Outro caso, no desenvolvimento de um novo *layout* de uma aeronave é definido os locais dos móveis e assentos ao longo da cabine de passageiros. O painel lateral inferior é instalado ao lado dos assentos e são removidos para acessar as cablagens. Um dos requisitos de manutenibilidade estabelece que esses painéis devem ser projetados para serem removidos sem a necessidade de remoção dos assentos. Entretanto, com o objetivo de reduzir o número de componentes e prendedores de fixação, os painéis foram reprojatados. Após a instalação dos novos painéis, verificou-se que não era possível remover os painéis sem a remoção dos assentos. Essa modificação demandou a adição da remoção dos assentos no procedimento de manutenção para acesso as cablagens.

Outro caso, para substituir uma válvula do sistema de água e detrito é necessário remover o painel de piso localizado dentro do lavatório. Nessa região, por ser considerada uma área molhada na aeronave, é necessária aplicação de selante entre os painéis do piso. Devido à descontinuidade do material foi necessário especificar um novo selante. O novo selante especificado atende as especificações quanto à temperatura e requisitos de inflamabilidade, entretanto não foi verificado o seu tempo de cura. O novo selante tem um

tempo de cura superior ao selante descontinuado. Isso impactou no prazo para a liberação da utilização do lavatório após a conclusão da tarefa de manutenção.

Como último exemplo, o caso descreve uma modificação que reposicionou um inversor de frequência, equipamento localizado no compartimento da cabine de passageiros atrás de um dos monumentos do interior de uma aeronave. Durante o desenvolvimento dessa modificação foi alterado apenas o posicionamento do equipamento, o painel de manutenção localizado no painel traseiro do monumento não foi alterado. Conseqüentemente, o painel de manutenção existente no monumento não possibilitava acesso para reparo/substituição do inversor de frequência, demandando a desmontagem de parte do interior da aeronave e utilização de ferramentas não padronizadas e infraestrutura específica para o armazenamento dos itens removidos. Este problema será ilustrado e analisado no estudo de caso I.

Os casos acima demonstram que pequenas modificações podem trazer impactos para a manutenibilidade do produto. Assim, durante o desenvolvimento de uma modificação do produto é necessário identificar o que será abordado, quando abordar e como serão verificados os atributos de manutenibilidade presentes ao longo do ciclo de vida do produto.

1.3 Problema de Pesquisa

O desenvolvimento de produto do setor aeronáutico possui características específicas, sejam físicas ou operacionais. Durante o desenvolvimento de modificações é necessário ter meios para verificar se os requisitos e características de manutenibilidade do produto serão afetados.

Há poucos métodos disponíveis para a realização de análise de manutenibilidade direcionados ao setor aeronáutico. Os métodos existentes apresentam algumas limitações, seja em relação aos atributos de manutenibilidade analisados e/ou ao método de cálculo utilizado. Há uma lacuna em relação aos atributos de manutenibilidade abordados pelos métodos existentes, ou seja, não há um método claramente definido que possibilite a realização de análise de manutenibilidade abordando os aspectos envolvidos ao longo do ciclo de vida de um produto aeronáutico e suportado por um método multicritério de tomada de decisão.

Uma análise de manutenibilidade não abrangente disponibilizará um resultado que poderá induzir o tomador de decisão ao erro, adicionalmente poderá trazer impactos para o operador, podendo afetar a disponibilidade da aeronave, ocasionar um aumento recorrente nos

custos, recursos e ciclos necessários para a execução das tarefas de manutenção ao longo do ciclo de vida de um produto.

1.4 Objetivo do Trabalho

O objetivo principal desse trabalho visa desenvolver um arcabouço para realizar análises de manutenibilidade para avaliar modificações que são incorporadas durante a fase de operação de uma aeronave.

Esse arcabouço considera os atributos de manutenibilidade presentes ao longo do ciclo de vida do produto aeronáutico e utiliza um método multicritério de tomada de decisão que pode ser aplicado por um único avaliador, possibilitando realizar análises comparativas das possíveis propostas de modificação do produto.

As análises de manutenibilidade resultarão em uma resposta rápida e direta, disponibilizando parâmetros mensuráveis e assertivos para serem utilizados em um processo de tomada de decisão para a aprovação de uma modificação do produto.

Os objetivos específicos, listados na Tabela 1-1, foram definidos para atingir o objetivo geral desse trabalho.

Tabela 1-1 - Objetivos Específicos

OE	Descrição	Método
OE1	Identificar os atributos de manutenibilidade aplicáveis ao setor aeronáutico.	Pesquisa Bibliográfica
OE2	Rever o fluxograma de atividades e definir as devidas alterações a fim de identificar o momento adequado para se pensar em manutenção durante o desenvolvimento de uma modificação do produto.	Pesquisa Bibliográfica
OE3	Identificar um método multicritério existente para a realização da análise da manutenibilidade.	Pesquisa Bibliográfica
OE4	Demonstrar a aplicação do método através de estudos de caso.	Estudos de Caso I e II
OE5	Verificar as análises de manutenibilidade realizadas	Estudo de Caso I Comparação entre as análises
		Estudo de Caso II Comparação entre as análises e Experimento (realidade virtual)
OE6	Realizar análises de manutenibilidade utilizando os métodos existentes.	

1.5 Relevância da Pesquisa

Estabelecer um entendimento comum, mais amplo e completo em relação aos atributos de manutenibilidade presentes ao longo do ciclo de vida de uma aeronave, com o objetivo de direcionar e uniformizar as análises de manutenibilidade.

Possibilitar análises comparativas das possíveis propostas de modificação do produto, utilizando uma metodologia multicritério para apoio a tomada de decisão para realizar análises de manutenibilidade durante o desenvolvimento de modificações do produto que ocorrem durante a fase de operação de uma aeronave.

1.6 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 1 apresenta a motivação do trabalho, o cenário onde o problema de pesquisa é inserido, o objetivo do trabalho e um resumo da estrutura da dissertação; O Capítulo 2 trata do Referencial Teórico e da Revisão da Literatura abordando os atributos de manutenibilidade, métodos multicritério para apoio à tomada de decisão e métodos para análise de manutenibilidade; o Capítulo 3 apresenta os Materiais e Métodos e a aplicação do método TOPSIS; o Capítulo 4 expõe dois estudos de caso relacionados às modificações de produto onde a metodologia proposta é aplicada, apresenta os resultados encontrados e um experimento para a verificação dos resultados; o Capítulo 5 apresenta os resultados das análises de manutenibilidade utilizando os métodos existentes; o Capítulo 6 expõe as discussões abordando os atributos de manutenibilidade e a comparação com os resultados encontrados através dos diferentes métodos para as análises de manutenibilidade; o Capítulo 7 apresenta uma conclusão a partir do conteúdo apresentado nos capítulos anteriores, cita as contribuições desse trabalho e finaliza com propostas de trabalhos futuros.

2 Referencial Teórico e Revisão da Literatura

Este capítulo está dividido em dois subcapítulos. O primeiro, Referencial Teórico, aborda os principais conceitos relacionados a esse trabalho de pesquisa. O segundo, Revisão da Literatura, tem como objetivo apresentar trabalhos com propostas semelhantes a esta dissertação.

2.1 Referencial Teórico

2.1.1 Métodos Multicritério (MCDA e MCDM)

MCDA (*Multi Criteria Decision Analysis*) e MCDM (*Multi Criteria Decision Making*) são termos utilizados para descrever um processo decisório que auxilia o processo de tomada de decisão.

A utilização de métodos multicritério vem das características de alguns cenários para a tomada de decisão. As decisões envolvem muitas variáveis intangíveis, muitas das vezes divergentes entre si, e devem ser mensuradas e avaliadas para identificar o quão bem elas atendem aos objetivos do tomador de decisão (SAATY, 2008).

A subjetividade é inerente a toda tomada de decisão, em particular na escolha dos critérios nos quais basear a decisão (BELTON; STEWART, 2002).

Fatores cognitivos, experiências anteriores e a complexidade crescente dos problemas modernos tornam extremamente importante a adoção de uma metodologia para tomar decisões diretas (fáceis de usar e entender), eficazes (tomar decisões consistentes de acordo com nossos critérios e interesses) e seguras (metodologia comprovada) (MU; PEREYRA-ROJAS, 2017).

A análise de decisão visa desenvolver métodos lógicos para melhorar a tomada de decisão, com ênfase no desenvolvimento de modelos que levam em consideração as incertezas e os múltiplos objetivos (ANTUNES, 2007).

Gerar alternativas pode ser um processo muito complexo. Não existe um modelo ou procedimento matemático que possa substituir a criatividade humana na geração e avaliação de alternativas. No entanto, após gerar e avaliar as alternativas, um método multicritério pode ser aplicado para classificar alternativas e propor uma solução ao decisor. Problemas práticos são frequentemente caracterizados por vários critérios não mensuráveis e conflitantes

(competitivos), e podem não existir soluções que satisfaçam todos os critérios simultaneamente. Assim, a solução é um conjunto de soluções não inferiores, ou uma solução de compromisso de acordo com as preferências dos tomadores de decisão (OPRICOVIC; TZENG, 2004).

Os resultados de um estudo de análise do ciclo de vida podem facilitar o processo de tomada de decisão, fornecendo uma compreensão dos prós e contras de cada alternativa analisada. No entanto, determinar a melhor alternativa pode ser difícil. Nesse contexto torna-se de vital interesse a utilização de um método multicritério para tomada de decisão (MCDM). O MCDM fornece uma estrutura consistente para lidar com questões complexas, com diferentes *stakeholders*, uma grande quantidade de critérios de natureza quantitativa, qualitativa e informações imprecisas (ANGELO, 2021).

MCDM é um conjunto de métodos que lida com a avaliação de um conjunto de alternativas (opções) e uma série de critérios de decisão. O objetivo do MCDM é fornecer uma escolha, classificação, descrição, ordenação, e na maioria dos casos uma ordem de alternativas desde a mais preferida à opção menos preferida. O MCDM pode considerar critérios qualitativos e quantitativos. Enquanto os critérios baseados em variáveis quantitativas são independentes do especialista, os critérios qualitativos (variáveis) são dependentes do especialista. Os critérios qualitativos podem ser subjetivos, uma vez que diferentes abordagens como classificação ou outros sistemas podem ser usados para transformar variáveis qualitativas em unidades quantitativas compatíveis com a metodologia MCDM. Os métodos podem ser classificados de acordo com sua natureza compensatória ou não compensatória. Os métodos compensatórios permitem trocas explícitas entre critérios, enquanto os métodos não compensatórios são baseados principalmente na comparação de alternativas em relação aos critérios individuais. Os métodos WSM, WPM, AHP, TOPSIS e COPRAS geralmente têm uma natureza compensatória e consistem principalmente em agregar os critérios em uma função que deve ser maximizada. Em contraste, os métodos ELECTRE e PROMETHEE permitem a incomparabilidade entre as alternativas e, portanto, têm uma natureza não compensatória. A escolha do método a ser utilizado depende da análise de quão desejável é o efeito da compensação no problema de decisão multicritério em questão (MULLINER *et al.*, 2016).

Uma preocupação quanto ao uso de métodos compensatórios é a interpretação errônea dada aos “pesos” dos critérios. O termo apropriado é constante de escala. Nos métodos não compensatórios, essas constantes significam as importâncias relativas entre os critérios,

enquanto nos métodos compensatórios, essas constantes carregam outras informações além das importâncias relativas dos critérios (SCHRAMM *et al.*, 2020).

Assim, a aplicação de um método multicritério de apoio à tomada de decisão se mostra aplicável para que a análise de manutenibilidade de uma modificação do produto seja realizada de uma forma menos intuitiva, subjetiva e mais assertiva.

Devido à dinâmica e a rápida resposta necessária de uma análise de manutenibilidade de uma modificação do produto, buscou-se identificar métodos multicritério de apoio à tomada de decisão com conceitos simples, racionais, que não necessitassem de uso de *software* específico, de fácil programação e adaptabilidade.

Dentre os vários métodos existentes, foi selecionado o método TOPSIS. Esse método permite mensurar através de uma comparação relativa às possíveis soluções de engenharia para uma modificação do produto.

2.1.1.1 Método TOPSIS

TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) é um método de apoio à decisão proposto por Hwang e Yoon (1981). O método consiste em avaliar o desempenho das alternativas por meio da similaridade com a solução ideal. O princípio básico do TOPSIS consiste em escolher uma alternativa que esteja tão próxima quanto possível da solução ideal positiva e o mais distante quanto possível da solução ideal negativa. A solução ideal é formada tomando-se os melhores valores alcançados nas avaliações das alternativas em relação a cada critério de decisão, enquanto a solução ideal negativa é composta de forma similar, tomando-se os piores valores.

Dentre os vários métodos MCDA / MCDM, o método TOPSIS é utilizado satisfatoriamente em diversas áreas de aplicação. Como um método clássico MCDA / MCDM bem conhecido, o TOPSIS tem recebido muito interesse de pesquisadores e profissionais (BEHZADIAN *et al.*, 2012).

O método TOPSIS requer apenas um número mínimo de entradas do usuário e disponibiliza uma resposta rápida e direta. Os únicos parâmetros subjetivos são os pesos associados aos critérios a serem considerados (ISHIZAKA; NEMERY, 2013).

No método TOPSIS, a solução ideal positiva é uma solução que maximiza os critérios de “benefício” e minimiza os critérios de “custo”; já a solução ideal negativa maximiza os critérios de “custo” e minimiza os critérios de “benefício”. Portanto, a solução ideal positiva é

composta de todos os melhores valores atingíveis dos critérios de “benefício”; já a solução ideal negativa consiste em todos os piores valores atingíveis dos critérios de “custo” (BHUTIA; PHIPON, 2012).

TOPSIS é um método amplamente aplicável com um modelo matemático simples e prático. O TOPSIS é um método compensatório, o qual permite o compromisso entre diferentes critérios, onde um resultado ruim em um critério pode ser compensado por um bom resultado em outro critério. Uma suposição do método TOPSIS é que cada critério tem uma preferência crescente ou decrescente. Devido à possibilidade de modelagem de critérios, métodos compensatórios, incluindo TOPSIS, são amplamente utilizados em vários setores de tomada de decisão (PAVIĆ; NOVOSELAC, 2013).

TOPSIS é um método multicritério de apoio à tomada de decisão bem difundido, largamente abordado em estudos acadêmicos. Destaca-se principalmente devido às propriedades matemáticas do método, ao fato de que a entrada de dados é sensivelmente simples e por disponibilizar uma resposta direta.

A Tabela 2-1 apresentam as vantagens e desvantagens referentes ao método TOPSIS.

Tabela 2-1 - Vantagens e Desvantagens - TOPSIS

	Vantagens	Desvantagens
TOPSIS	Flexível / Intuitivo / Adaptabilidade. (ROSZKOWSKA, 2011)	A definição dos pesos de cada critério é realizada baseada na experiência do avaliador. (ISHIZAKA; NEMERY, 2013)
	Requer menos quantidade de julgamentos e comparações. (ISHIZAKA; NEMERY, 2013) (ROSZKOWSKA, 2011)	
	Menor complexidade computacional. (PAVIĆ; NOVOSELAC, 2013) (ROSZKOWSKA, 2011)	Não há meios para validar a consistências dos julgamentos. (ROSZKOWSKA, 2011)
	Permiti utilizar um número ilimitado de critérios a serem analisados. (ROSZKOWSKA, 2011)	
	Utiliza a normalização para eliminar as unidades das funções dos critérios, possibilitando operações entre elas. (PAVIĆ; NOVOSELAC, 2013) (ISHIZAKA; NEMERY, 2013) (ROSZKOWSKA, 2011)	

O método TOPSIS não permite a checagem de inconsistências para os pesos atribuídos pelo decisor aos critérios a serem analisados. Nesse caso, os pesos dos atributos são definidos

através de uma pontuação direta atribuída pelo engenheiro que realizará a análise de manutenibilidade, baseados nas suas preferências e experiências.

O principal diferencial do método TOPSIS é a quantidade ilimitada dos critérios a serem analisados. Esse trabalho abordará 19 atributos de manutenibilidade, esse método poderá ser aplicado independentemente do número de atributos afetados em uma modificação do produto.

2.1.2 Manutenibilidade do Produto

A manutenibilidade é uma característica intrínseca de um produto e se incorporada adequadamente pode tornar as atividades de manutenção convenientes, rápidas e econômicas.

Alguns estudos mostram que um custo adicional de 5% em melhorias de projeto é capaz de reduzir o custo de manutenção em 25% ao longo do ciclo de vida do produto (WAHAB *et al.*, 2008).

Aproximadamente 11% do custo operacional total das companhias aéreas são gastos em atividades de manutenção. Outra questão importante, que requer atenção significativa, é que o projeto de manutenção está fortemente associado à segurança, especialmente para as indústrias com alto grau de acidentes em potencial como aviação, nuclear e mineração (GUO *et al.*, 2018).

A Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA), através do seu grupo técnico, coleta anualmente os dados de custo de manutenção das companhias aéreas. Trinta e uma (31) companhias aéreas participaram e reportaram seus dados em 2020. Esses dados mostram que os gastos em manutenção, reparo e revisão foram avaliados em US\$ 50 bilhões. Isso representou 10,5% dos custos operacionais das companhias aéreas (IATA, 2020).

No setor competitivo das companhias aéreas, o baixo Custo Operacional Direto (DOC) é essencial para a lucratividade das companhias aéreas. As despesas de manutenção são partes essenciais do DOC. Dependendo da idade, tipo e do alcance da aeronave, as despesas de manutenção representam 10 a 20% do DOC e 15 a 20% do custo ao longo do ciclo de vida de uma aeronave. Pode-se concluir que a redução dos gastos com manutenção é uma maneira eficaz de melhorar os custos de uma aeronave de passageiros (GHOSH *et al.*, 2018).

O ciclo de vida do produto pode ser definido como o tempo total para um produto ser projetado, desenvolvido, fabricado, operado e descartado. Durante a fase de operação, o sistema / produto é usado para a função operacional pretendida, conseqüentemente exigindo

manutenção para sua operação. As principais etapas da fase de operação incluem: - Operação do sistema no ambiente do usuário; - Manutenção e suporte logístico; - Modificações do sistema para melhorias; e - Avaliação do sistema (BLANCHARD, 1998).

De acordo com Guia Internacional para o Uso das Especificações de Suporte Logístico Integrado Série-S SX000i, durante a fase de operação o produto será fornecido e utilizado. Nesta fase são entregues os serviços necessários para uma operação continuada a um custo-benefício esperado. A eficácia e eficiência do produto são avaliadas continuamente. É fornecido suporte, modificações e atualizações, para assegurar a operação contínua do produto. É recomendado que se faça a validação da solução após a incorporação das modificações e atualizações, ou seja, verificar se os requisitos das partes interessadas foram atendidos, incluindo os serviços relacionados. O resultado dessa validação pode indicar a necessidade de ações corretivas ou influenciar o design futuro e especificação de produtos similares (ASD, 2021).

A literatura demonstra a importância de se investir em manutenção durante a fase de desenvolvimento do produto. Esse investimento objetiva minimizar os custos e impactos durante a fase de operação do produto.

Além disso, sabemos que durante a fase de operação, várias modificações e atualizações são incorporadas ao produto para mantê-lo em operação. Essas modificações e atualizações podem ser demandadas pelo operador, fornecedor, autoridade certificadora ou pelo fabricante, com a finalidade de corrigir, melhorar ou adicionar alguma nova funcionalidade ao produto.

Assim, a fim de manter ou melhorar a manutenibilidade do produto ao longo do seu ciclo de vida, deve-se dar atenção aos requisitos e atributos de manutenibilidade durante o desenvolvimento das modificações que ocorrem durante a fase de operação do produto. Entretanto, é necessário identificar os atributos de manutenibilidade específicos para cada segmento da indústria devido às suas necessidades e particularidades.

2.1.3 Atributos de Manutenibilidade

Os atributos de manutenibilidade podem ser definidos como características ou parâmetros relacionados à manutenção, e devem ser considerados durante o desenvolvimento ou modificação de um produto. Eles podem apresentar natureza quantitativa e/ou qualitativa e podem ser definidos como:

- Atributo qualitativo

Requisito qualitativo de manutenibilidade é qualquer requisito que não possa ser categorizado como um requisito quantitativo. Os requisitos qualitativos abrangem uma ampla variedade de resultados desejados e considerados essenciais para garantir que o produto seja suportado (UNITED STATES, 1997).

Atributo de manutenibilidade expresso em termos qualitativos – por exemplo, minimizar a complexidade, projetar para um número mínimo de ferramentas e itens de equipamento de teste, e projetar para acessibilidade ideal (UNITED STATES, 1988).

- Atributo quantitativo

Requisitos quantitativos de manutenibilidade estão associados às características de projeto controláveis pelo projetista. Os requisitos quantitativos podem ser expressos usando muitas métricas diferentes e podem ser estabelecidos em qualquer ou em todos os níveis da manutenção. Por exemplo, eles podem ser estruturados como funções de tempo, horas de trabalho ou em termos de detecção e isolamento de falhas (UNITED STATES, 1997).

Atributo de manutenibilidade expresso em termos quantitativos, ou seja, uma figura de mérito em unidades mensuráveis de tempo ou recursos necessários para realizar uma tarefa de manutenção específica ou grupo de tarefas em relação aos requisitos de desempenho aplicáveis (tempo de reação, disponibilidades, tempo de inatividade, tempo de reparo, tempo de retorno, etc.) (UNITED STATES, 1988).

Os subcapítulos a seguir expõe um breve descritivo dos atributos de manutenibilidade, objetivando direcionar e harmonizar o entendimento dos mesmos. Adicionalmente, foram citados como referência os manuais do Departamento de Defesa (*Department of Defense – DoD*) dos EUA, devido ao fato desses manuais serem aplicáveis ao seguimento em questão e

acessíveis para o grupo de pessoas que irão utilizá-los durante a realização das análises de manutenibilidade do produto.

2.1.3.1 Ciclo

Ciclo é o atributo de manutenibilidade que engloba todo o tempo necessário para a execução de uma atividade de manutenção. Compreende o intervalo desde a preparação (considerar tempo de traslado da aeronave, se necessário), prover acesso, identificar a pane (caso necessário), reparar ou substituir o componente, reconfigurar a aeronave, testar (caso necessário) e liberar a aeronave.

Os ciclos para a execução das atividades podem variar de acordo com os recursos disponíveis, prontidão, capacitação e número de mantenedores envolvidos nas atividades de manutenção. Assim, para efeito de estudo, serão consideradas as condições estabelecidas nos documentos disponibilizados pelo fabricante.

Para o estudo em questão não serão considerados os ciclos de aquisição e logístico do material.

2.1.3.2 Acessibilidade

Atributo de manutenibilidade que proporciona e facilita o acesso a uma área ou a um dado componente para a realização de uma atividade de manutenção. Aspectos relacionados a espaço físico (dimensões, direção de abertura de painéis ou portas de acesso), painéis de acessos (tipo, tamanho, forma, localização e direção de abertura), peças e ferramentas (dimensão, peso e fragilidade), quantidade e tipos de prendedores, visualização (completa, parcial e sem visualização direta), necessidade de remoção de outros itens para obtenção de acesso ao item a ser reparado, ajustado, inspecionado ou substituído, entre outros aspectos devem ser considerados.

No entanto, deve-se também considerar a frequência esperada de manutenção para determinar o grau de acessibilidade e garantir que o esforço despendido para fornecer acessibilidade seja garantido.

O manual DOD-HDBK-791 - *Maintainability Design Techniques* pode ser utilizado com referência para obter-se mais detalhes a respeito desse atributo de manutenibilidade (UNITED STATES, 1988).

2.1.3.3 Inspeção

O atributo de manutenibilidade chamado Inspeção pode ser definido como uma característica que está relacionada às atividades de manutenção que requerem inspeções em um sistema, componente ou peça. As inspeções podem ser: inspeções não destrutivas, inspeções zonais, inspeções de prevenção à corrosão e inspeções quanto à degradação de componentes ou peças.

Do ponto de vista operacional, a demanda por serviço define a programação diária de voo e determina qual aeronave será utilizada para uma determinada rota. Essa é a principal restrição enfrentada pelos planejadores de manutenção que devem agendar a inspeção de cada aeronave da frota em conformidade com os regulamentos operacionais (ČOKORILLO, 2011).

Nos estágios iniciais de projeto, utilizando-se de modelos CAD, é possível analisar se o procedimento de inspeção pode ser executado com sucesso no projeto sugerido. Para isso deve-se verificar se as áreas a serem inspecionadas são acessíveis e se há uma linha de visão clara para avaliar e realizar uma inspeção bem-sucedida. Um modelo digital do procedimento de inspeção é necessário para determinar se ele pode ser executado com sucesso no projeto sugerido (STOLT *et al.*, 2017).

Estudos extensivos de manutenção devem ser realizados na fase de desenvolvimento de um produto. As inspeções devem ser analisadas considerando as condições de campo. Os devidos cuidados devem ser tomados para reduzir os custos de homem-hora / horas de voo, manutenção programada e não programada (GHOSH *et al.*, 2018).

Os manuais DOD-HDBK-791 - *Maintainability Design Techniques* e MIL-HDBK-470A - *Designing and Developing Maintainable Products and Systems* podem ser utilizados com referência para obter-se mais detalhes a respeito desse atributo de manutenibilidade (UNITED STATES, 1988) e (UNITED STATES, 1997).

2.1.3.4 Comunalidade

Comunalidade é o atributo de manutenibilidade que pode proporcionar o uso de componentes, peças, GSEs (*Ground Support Equipment*) e materiais comuns entre famílias de aeronaves, entre números de série em operação ou mesmo entre aeronaves disponíveis no mercado.

Dessa forma, o operador da aeronave pode fazer o reuso dos itens comuns, otimizando e reduzindo o custo do seu estoque, reduzindo o custo de treinamento na manutenção, entre outros benefícios.

Metade de todos os custos indiretos está de alguma forma relacionada ao número de diferentes peças manuseadas. Existem vários efeitos negativos gerados pela proliferação de peças. São eles: Esforço de projeto excessivo, tempo de identificação aumentado, manufatura ineficiente, custos mais altos, etc (WAZED *et al.*, 2009).

A comunalidade possibilita a flexibilização das atividades, reduz o tempo de configuração, melhora a economia operacional e simplifica a identificação e redução de problemas de produção e qualidade. Os componentes comuns também facilitam a administração do número de peças e melhoram o relacionamento com fornecedores. A comunalidade simplifica o gerenciamento de recursos e facilita a análise e melhoria de produtos existentes, ajuda na simplificação na concepção de um produto, na integração do projeto de produtos e processos, e otimização de custos no desenvolvimento de novos produtos.

2.1.3.5 Intercambialidade

Intercambialidade é um importante fator contribuinte que tem um efeito significativo na capacidade de manutenção de um sistema. É uma característica de manutenibilidade que permite flexibilizar a substituição entre peças e componentes com diferentes números de identificação. Uma condição em que duas ou mais partes são fisicamente e funcionalmente intercambiáveis entre si, é aquela onde as peças e componentes substitutos podem ser instalados no mesmo local e que podem realizar as funções do outro que está sendo substituído. As diferentes classes de Intercambialidade são definidas e disponibilizadas no catálogo de peças da aeronave.

A intercambialidade como fator de projeto de manutenção está intimamente relacionada à padronização. A definição de padronização inclui mais do que peças e componentes, englobam também procedimentos, práticas, materiais, processos, etc. O uso de materiais (selantes, graxas, óleos, prendedores, entre outros) ou peças padronizadas geram facilidades para obtê-las no mercado, bem como a possibilidade de compartilhar esses itens com outras aeronaves da sua frota.

Essa característica de manutenibilidade tem como objetivo reduzir custos com peças e componentes, bem como treinamento no manuseio dos itens envolvidos e flexibilizar a substituição de materiais, peças e componentes para o operador da aeronave.

O manual DOD-HDBK-791 - *Maintainability Design Techniques* pode ser utilizado com referência para obter-se mais detalhes a respeito desse atributo de manutenibilidade (UNITED STATES, 1988).

2.1.3.6 Testabilidade

Testabilidade é o atributo de manutenibilidade que permite que a condição (operável, inoperável ou degradado) de um produto ou equipamento seja determinada e as falhas sejam isoladas de maneira oportuna e eficiente.

Várias atividades de manutenção demandam a execução de testes para a verificação e funcionalidade do componente, sistema ou produto. Há determinados testes que podem demandar equipamentos e condições especiais para a sua execução, como exemplo: GSE, mão de obra especializada, local ou infraestrutura específica. Sistemas que possuem testes automáticos devem ser considerados, pois reduzem o tempo de teste e erros humanos na manutenção.

Os manuais DOD-HDBK-791 - *Maintainability Design Techniques* e MIL-HDBK-470A - *Designing and Developing Maintainable Products and Systems* podem ser utilizados com referência para obter-se mais detalhes a respeito desse atributo de manutenibilidade (UNITED STATES, 1988) e (UNITED STATES, 1997).

2.1.3.7 Ajustabilidade

Ajustabilidade é o atributo de manutenibilidade relacionado à capacidade do componente ou sistema permanecer e ser facilmente ajustado.

As características técnicas de um componente ou sistema, muitas vezes requerem ajustes periódicos. A execução desses ajustes podem não ser triviais, eles podem demandar tempo, abertura de acesso, profissionais especializados, infraestrutura e recursos específicos para sua execução.

O manual DOD-HDBK-791 - *Maintainability Design Techniques* pode ser utilizado com referência para obter-se mais detalhes a respeito desse atributo de manutenibilidade (UNITED STATES, 1988).

2.1.3.8 Identificação

Identificação é o atributo de manutenibilidade relacionado à importância da identificação adequada das peças para melhorar a manutenção do equipamento.

A identificação pode ter a função de reconhecimento do componente e em alguns casos podem também conter instruções que auxiliam o mantenedor. Independente do padrão utilizado, as identificações devem ser posicionadas de modo que sejam visíveis para o mantenedor durante a realização de uma tarefa de manutenção. Isso auxilia a reconhecimento do equipamento e minimiza a possibilidade de erros.

O manual DOD-HDBK-791 - *Maintainability Design Techniques* pode ser utilizado com referência para obter-se mais detalhes a respeito desse atributo de manutenibilidade (UNITED STATES, 1988).

2.1.3.9 Modularidade

Modularidade é o atributo de manutenibilidade que assegura que um sistema ou um componente possa sofrer reparo ou substituição parcial de subcomponentes.

Essa característica considerada no projeto evita que todo o conjunto tenha que ser substituído. De outro modo deve-se considerar o custo-benefício do reparo versus o descarte do componente em questão.

Outra contribuição é a possibilidade de executar a manutenção na aeronave evitando que o componente tenha que ser enviado para uma oficina de manutenção de componentes. Isso minimiza o custo de manutenção e a indisponibilidade da aeronave.

O manual DOD-HDBK-791 - *Maintainability Design Techniques* pode ser utilizado com referência para obter-se mais detalhes a respeito desse atributo de manutenibilidade (UNITED STATES, 1988).

2.1.3.10 Simplicidade

Simplicidade é o atributo de manutenibilidade que visa tornar a manutenção simples, intuitiva, exigindo menos recursos de mão de obra, ferramentas especiais/GSEs, e principalmente menos prontidão dos mantenedores que executam as atividades de manutenção.

Portanto, não é só uma característica isolada e sim o seu conjunto, que bem equilibrado, é capaz de contribuir para a redução dos custos na manutenção, tais como: redução do tempo de reparo ou manutenção, redução do custo da mão de obra envolvida, eliminação ou redução de GSEs, uso de GSEs COTS (*Commercial Off-The-Shelf*) ao invés de GSEs especiais, eliminação de condições especiais na manutenção entre outros.

O manual DOD-HDBK-791 - *Maintainability Design Techniques* pode ser utilizado com referência para obter-se mais detalhes a respeito desse atributo de manutenibilidade (UNITED STATES, 1988).

2.1.3.11 Fatores Humanos

O atributo de manutenibilidade chamado Fatores Humanos está relacionado aos riscos para o mantenedor ou para a aeronave durante a realização de uma tarefa de manutenção. Tais riscos devem ser mapeados e avaliados durante o desenvolvimento de uma modificação do produto.

Na manutenção de aeronaves as posições de manuseio, manutenção e reparo de materiais são especialmente predominantes. Essas tarefas têm níveis de risco especialmente elevados para lesões musculoesqueléticas. A natureza da atividade de manutenção faz com que os técnicos trabalhem em condições que estressam seus limites físicos, cognitivos e

perceptuais. Muitas vezes eles trabalham em lugares apertados e desconfortáveis, estão quase sempre pressionados pelo tempo, e muitos trabalhos são feitos à noite. As taxas de incidência de lesões ocupacionais não fatais e doenças no setor de transporte aéreo são especialmente altas, alcançando 6,7% dos trabalhadores (ASADI *et al.*, 2019).

Poucos estudos de campo, com exceção daqueles relacionados ao erro humano, questionam as características físicas, cognitivas e organizacionais que estão em jogo quando o mantenedor realiza sua atividade. Esses estudos propõem analisar a ergonomia física, como o campo visual ou o envelope de alcance, avaliar a postura e o esforço do operador por meio da utilização de ferramentas de simulação numérica, como o *Digital Human Modeling* (DHM), *Computer Aid Design* (CAD) e uso de realidade virtual (VR) (BERNARD *et al.*, 2017).

Assim para uma análise mais abrangente, devem ser considerados os fatores físicos, cognitivos e organizacionais que estão envolvidos nas atividades de manutenção.

Os fatores físicos estão correlacionados com a antropometria (estática, dinâmica e funcional), biomecânica, fatores ambientais e fatores individuais. Eles abrangem as condições físicas encontradas nas atividades de manutenção, considerando as limitações do mecânico e do local da atividade em si, podendo ser na aeronave ou nos postos de trabalho. Entretanto, é importante ressaltar que há grande variedade das medidas humanas entre os indivíduos, entre gêneros e entre etnias.

Os fatores cognitivos são referentes às questões sobre a memória, atenção, percepção, conhecimento, raciocínio, tomada de decisão e resolução de problemas, evidenciados na interface homem-máquina.

Os fatores organizacionais são aqueles referentes à cultura, procedimentos, papéis e responsabilidades, planejamento, controle e registro das atividades entre outras, ou seja, todos os fatores relacionados com os aspectos operacionais da empresa ou oficina de manutenção.

Entretanto para o estudo em questão, recomenda-se que apenas os fatores físicos e cognitivos sejam abordados durante a análise de manutenibilidade de uma modificação, uma vez que os fatores organizacionais não estão atrelados às características de um produto ou sistema.

O manual DOD-HDBK-791 - *Maintainability Design Techniques* pode ser utilizado com referência para obter-se mais detalhes a respeito desse atributo de manutenibilidade (UNITED STATES, 1988).

2.1.3.12 Criticidade do Equipamento

A criticidade do equipamento está relacionada ao impacto que um equipamento ou componente pode trazer para a operação da aeronave.

Os regulamentos de aeronavegabilidade exigem que todos os equipamentos instalados em um avião, em conformidade com os padrões de aeronavegabilidade e os regulamentos operacionais, estejam funcionais. No entanto, as regras também permitem a publicação de uma Lista de Equipamentos Mínimos (MEL) onde a conformidade com certos requisitos não são necessárias no interesse da segurança em todas as condições operacionais. A experiência mostra que, com os vários níveis de redundâncias projetados na aeronave, a operação de cada sistema ou componente instalado pode não ser necessária quando o equipamento operacional remanescente pode fornecer um nível aceitável de segurança. Uma Lista Mestre de Equipamentos Mínimos (MMEL) é desenvolvida pelo fabricante e aprovada pela autoridade certificadora para melhorar a utilização da aeronave. A MMEL aprovada relaciona os equipamentos que podem estar inoperantes e ainda manter um nível aceitável de segurança por condições e limitações apropriadas.

É importante lembrar que todos os equipamentos relacionados à aeronavegabilidade e aos regulamentos de operação da aeronave não listados na MMEL devem estar operacionais. Assim os itens que não constam na MMEL devem ter uma maior importância em relação aos demais equipamentos e componentes.

Outro fator a ser considerado são os equipamentos e sistemas que apresentam baixo MTBF (*Mean Time Between Failures*). Equipamentos com baixo MTBF demandam mais atividades e custo para a manutenção.

Entretanto, é necessário fazer uma análise mais abrangente no caso da inclusão de novos equipamentos na aeronave, esses podem afetar o contexto de funcionalidade identificado anteriormente na MMEL.

2.1.3.13 Manuseabilidade

Manuseabilidade é o atributo de manutenibilidade que abrange as características físicas dos equipamentos e componentes (dimensão, pega, peso) e as limitações físicas do mantenedor (este atributo de manutenibilidade está fortemente relacionado com fatores humanos). Consideram a manuseabilidade e manipulação dos componentes envolvidos nas

tarefas de manutenção, desde a remoção, ajuste, instalação e deslocamento do componente do local de armazenamento até a aeronave.

O manual DOD-HDBK-791 - *Maintainability Design Techniques* pode ser utilizado com referência para obter-se mais detalhes a respeito desse atributo de manutenibilidade (UNITED STATES, 1988).

2.1.3.14 Padronização de Ferramentas

O atributo de manutenibilidade chamado Padronização de Ferramentas está relacionado em analisar e identificar as ferramentas necessárias para o mantenedor executar as tarefas de manutenção.

Poucos produtos podem ser mantidos sem o uso de ferramentas. Algumas tarefas de manutenção requerem apenas a utilização de ferramentas manuais comuns (padronizadas), como chaves de fenda, alicates, torquímetros entre outros. Entretanto, outras tarefas podem demandar a utilização de equipamentos de teste, bancadas de manutenção, roupas de proteção, ferramentas especiais e assim por diante.

Durante a concepção ou modificação de um produto, ao executar a análise de manutenibilidade, deve-se buscar ao máximo a utilização de ferramentas padronizadas. Isso irá permitir uma maior flexibilidade para a execução das atividades, demandar menos treinamentos e menos investimentos para o operador.

O manual MIL-HDBK-470A - *Designing and Developing Maintainable Products and Systems* pode ser utilizado com referência para obter-se mais detalhes a respeito desse atributo de manutenibilidade (UNITED STATES, 1997).

2.1.3.15 Ferramentas Especiais / GSE (*Ground Support Equipment*)

Ferramentas especiais devem ser usadas apenas quando não for possível a utilização de ferramentas manuais comuns (ferramentas padronizadas), ou quando fornecem vantagem significativa sobre ferramentas manuais comuns, ou quando exigido por considerações de segurança.

Os Equipamentos de Suporte ao Solo (do Inglês *Ground Support Equipment* – GSE) são definidos como todo o equipamento necessário no solo para tornar um sistema,

subsistema ou componente operacional em seu ambiente pretendido. Isso inclui todos os equipamentos necessários para instalar, lançar, guiar, controlar, dirigir, inspecionar, testar, ajustar, calibrar, avaliar, medir, montar, desmontar, manusear, transportar, proteger, armazenar, atuar, reparar, revisar, manter ou operar o sistema, subsistema ou componente. As características operacionais do equipamento de suporte em solo devem corresponder aos requisitos funcionais da aeronave a ser suportada (UNITED STATES, 1974).

A modificação de um produto deve ser direcionada para minimizar a necessidade de novos GSE e evitar alterações em GSE já desenvolvidos e em utilização para realização de determinada tarefa de manutenção.

Os manuais MIL-HDBK-470A - *Designing and Developing Maintainable Products and Systems* e MIL-S-8512D - *Military Specification: Support Equipment, Aeronautical, Special, General Specification for the Design of* podem ser utilizados com referência para obter-se mais detalhes a respeito desse atributo de manutenibilidade. (UNITED STATES, 1997) e (UNITED STATES, 1974).

2.1.3.16 Capacitação dos Mantenedores

Capacitação de mantenedores é o atributo de manutenibilidade relacionado aos treinamentos e qualificações necessários para capacitar os mantenedores para a realização de determinadas tarefas de manutenção.

As modificações do produto podem demandar alterações ou desenvolvimentos de novos treinamentos e qualificações. Durante a realização da análise de manutenibilidade deve-se realizar uma análise detalhada das tarefas de manutenção envolvidas em uma modificação do produto com o objetivo de identificar a quantidade, as qualificações e os conhecimentos específicos necessários dos mantenedores para a execução das tarefas de manutenção.

O desenvolvimento de uma modificação do produto deve ser direcionado para que demande o mínimo necessário em relação a novos treinamentos e qualificações. Isso flexibiliza o gerenciamento da mão de obra para suportar as atividades de manutenção.

2.1.3.17 Número de Mantenedores

Esse atributo de manutenibilidade aborda o número de mantenedores necessários para a realização de uma tarefa de manutenção considerando todas as qualificações especificadas nos manuais e procedimentos de manutenção. O número de mantenedores pode variar de acordo com os recursos disponíveis, prontidão, capacitação dos mantenedores e tempo disponível para a realização de uma determinada tarefa de manutenção.

2.1.3.18 Ambiente de Trabalho

Ambiente de Trabalho é o atributo de manutenibilidade que abrange o ambiente onde o equipamento será operado, mantido e os locais na aeronave onde será realizada uma tarefa de manutenção. O engenheiro de manutenibilidade deve identificar se há alguma limitação relacionada ao ambiente de trabalho durante a realização de uma análise.

As aeronaves são desenvolvidas para serem operadas em diversas partes do mundo, assim os fatores climáticos também devem ser considerados durante uma análise de manutenibilidade.

Dentre os fatores climáticos, temperatura e umidade representam o ambiente mais severo para manutenção no campo. O frio extremo pode afetar a realização de uma tarefa de manutenção, as luvas dificultam a manipulação de peças pequenas e roupas pesadas interferem no acesso e prejudicam a visibilidade. O clima quente também cria más condições de trabalho, temperaturas extremamente altas, especialmente se associadas à alta umidade relativa têm um efeito debilitante.

O manual DOD-HDBK-791 - *Maintainability Design Techniques* pode ser utilizado com referência para obter-se mais detalhes a respeito desse atributo de manutenibilidade (UNITED STATES, 1988).

2.1.3.19 Infraestrutura

Determinadas tarefas de manutenção requerem uma infraestrutura mínima para a sua realização. Essa característica de manutenibilidade consiste em identificar os ativos (permanentes ou semipermanentes) necessários para a realização de uma tarefa de manutenção. Algumas tarefas demandam condições específicas, como exemplo: Aeronave no

macaco/nivelada, iluminação, necessidade de alimentação elétrica, ar comprimido, locais adequados para armazenamento de materiais com vida útil ou condições de armazenamento controladas e descarte de materiais.

Fatores ambientais (vento, chuva, condições climáticas, entre outros) podem comprometer a realização das tarefas de manutenção. Como exemplo, recomenda-se que a aeronave esteja dentro de um hangar para que possa permanecer apoiada em macacos hidráulicos.

Como visto, restrições relacionadas à infraestrutura podem limitar a realização das tarefas de manutenção em determinados locais. Para flexibilizar o local onde se possam realizar as tarefas de manutenção, as modificações do produto devem ser direcionadas a evitar novas limitações relacionadas à infraestrutura.

O manual DOD-HDBK-791 - *Maintainability Design Techniques* pode ser utilizado com referência para obter-se mais detalhes a respeito desse atributo de manutenibilidade (UNITED STATES, 1988).

2.2 Revisão da Literatura

A revisão da literatura apresenta os métodos para a realização de análise de manutenibilidade para desenvolvimento e/ou modificações do produto, bem como os atributos de manutenibilidade abordados em cada um deles.

O trabalho de (ZHONG; YOUCHAO, 2007) descreve que os atributos de manutenibilidade incorporados durante o projeto é uma característica do produto e pode tornar a manutenção conveniente, rápida e econômica. Com a conclusão da concepção do projeto a manutenibilidade torna-se um atributo inerente ao produto. Os seguintes atributos são abordados: simplicidade; acessibilidade, padronização, modularização, identificação, testabilidade e ergonomia. Adicionalmente, o trabalho menciona que a influência dos atributos de manutenibilidade do produto está relacionada com o detalhamento das atividades de manutenção.

Para modificações incorporadas em produtos que já estão em operação é possível realizar fisicamente as verificações das atividades de manutenção. Porém, para produtos em desenvolvimento não é possível realizar uma verificação física, pois nessa fase ainda não se tem o produto para tal análise. Para esse cenário é apresentada uma metodologia para avaliar a capacidade de manutenção de uma solução de projeto. A computação gráfica e realidade virtual suportam essa metodologia, esses recursos são utilizados para realizar a simulação da tarefa de manutenção.

A metodologia utiliza o método AHP para a definição dos pesos de cada atributo de manutenibilidade. O atributo ergonomia é avaliado considerando o módulo de Análise de Atividade Humana / Postura do DELMIA. Os demais atributos de manutenibilidade são avaliados, segundo norma *apud* (GJB/Z, 1997). A lógica difusa é aplicada para analisar a correlação entre os componentes mais relevantes envolvidos nas tarefas de manutenção relacionadas à solução de projeto. Na sequência o método TOPSIS é utilizado para a definição das distâncias entre a proposta de projeto com a solução ideal positiva e a solução negativa. Por fim, considera a taxa de falha / substituição dos componentes do sistema para obter uma avaliação mais abrangente.

Segundo os autores (JIAN *et al.*, 2017), a avaliação de manutenibilidade de produtos é um método eficiente para aperfeiçoar o projeto e melhorar a qualidade do produto. Esse método é baseado na teoria do ciclo de vida do produto e considera 2 aspectos: os atributos inerentes e os fatores externos. Os atributos inerentes são determinados pelas características

de projeto e métodos de fabricação, que determinam em grande parte a dificuldade para realizar as atividades de manutenção, ver Tabela 2-2. Os fatores externos são recursos que influenciam o desempenho durante a operação do produto e estão listados na Tabela 2-3.

Tabela 2-2 - Atributos inerentes ao produto (adaptado de: JIAN; CAI; CHEN, 2017).

Atributos Inerentes	
Projeto	Manufatura
Modo de Conexão	Tecnologia Produtiva
Visibilidade	Conveniência/Vantagem Produtiva
Padronização	
Acessibilidade	
Modularização	
Segurança	
Seleção de Material	

Tabela 2-3 - Fatores externos (adaptado de: JIAN; CAI; CHEN, 2017).

Fatores Externos	
Aplicação	Manutenção
Ambiente de trabalho	Duração
Qualidade dos materiais consumíveis	Postura
Capacitação dos operadores	Movimentação
	Espaço Físico
	Salário
	Custo da matéria prima
	Armazenamento
	Capacitação dos mantenedores

Adicionalmente, citam que basicamente existem duas maneiras de determinar os pesos dos atributos em uma análise multicritério. Uma é a abordagem subjetiva, que significa que as pessoas determinam subjetivamente os coeficientes através da análise do objeto baseadas em suas experiências, como o método Delphi e o AHP entre outros. Esse tipo de método vem sendo estudado há muito tempo e está mais maduro, mas ainda contém subjetividade. A Outra é a abordagem objetiva integrada, referindo que os pesos dos atributos são obtidos através da análise e cálculo dos dados existentes, como o método da Entropia, Desvio Padrão e Método Crítico. Porém esses tipos de métodos são desenvolvidos de forma lenta e incompleta e são complicados para serem aplicados na prática. Assim, utilizam o FAHP (*Fuzzy Analytic Hierarchy Process*) para calcular o coeficiente de peso de cada indicador. Esse método pode

tornar os pesos dos atributos mais científicos combinando com o julgamento difuso de especialistas baseados em suas experiências. O processo FAHP é usado para calcular os indicadores de coeficiente, e o método de quantificação indireta é usado para elaborar as regras de avaliação para cada indicador. Finalmente, a manutenibilidade do produto pode ser expressa através do cálculo das pontuações atribuídas pelos especialistas.

Os métodos propostos por Zhong e Youchao (2007) e Jian *et al.*, (2017) utilizam a lógica difusa combinada com o método AHP. Segundo Chen e Hwang, (1992) a lógica difusa é recomendada quando algumas ou todas as informações e dados não estão claramente definidos. Isso pode ser devido às informações não quantificáveis, incompletas, inalcançáveis, ou devido à falta de conhecimento ou experiência. Adicionalmente, de acordo com o trabalho de (SAATY; OZDEMIR, 2003), quando o número de elementos, nesse caso atributos de manutenibilidade, aumenta além de sete, o aumento resultante na inconsistência dos julgamentos e preferências do decisor é muito pequeno para a mente separar o elemento que causa a maior inconsistência, isso dificulta identificar e corrigir a relação com os demais elementos. É necessário ter redundância de julgamentos para melhorar a validade. No entanto, a redundância dá origem à inconsistência. E conclui que, para servir tanto de consistência quanto de redundância, é melhor manter o número de elementos igual a sete, mais ou menos dois.

Baseado nos trabalhos de Chen e Hwang, (1992) e Saaty e Ozdemir, (2003), os métodos que utilizam a lógica difusa combinada com o método AHP não são adequados para a realização de análise de manutenibilidade. A limitação do número de atributos a serem comparados é um fator que inviabiliza o uso do método AHP para o estudo em questão. A lógica difusa não é caracterizada como um diferencial a ser aplicado para as análises de manutenibilidade. As análises são realizadas por profissionais qualificados com experiência em manutenção aeronáutica, e quando necessário utilizam o recurso de computação gráfica, como exemplo o *software* DELMIA (plataforma de manufatura digital desenvolvida pela IBM / Dassault System), com a finalidade de minimizar as incertezas, imprecisões e subjetividade referentes aos atributos de manutenção durante a realização da análise de manutenibilidade.

Segundo o trabalho apresentado por (HUANG *et al.*, 2013), a acessibilidade é definida como o mais importante requisito qualitativo de manutenção, e pode ser mensurado através do grau de dificuldade ou facilidade em se alcançar cada item durante a realização de uma atividade de manutenção. Assim, uma boa acessibilidade resulta em uma atividade de manutenção simplificada, rápida e econômica, e com poucos erros durante a execução das tarefas de manutenção. Após a análise dos fatores relacionados à acessibilidade, verificou-se

que três aspectos capturam a essência da acessibilidade para a manutenção. Primeiro, “Quem” realizará a atividade; segundo, “Onde” será realizada; e terceiro, “Como” será realizada a tarefa de manutenção. Assim, para fins de concepção de projeto, a acessibilidade é decomposta em:

- Espaço físico;
- Campo de visão;
- Limitações ergonômicas;
- Espaço físico para ferramentas;
- Painéis de Acessos;
- Espaço físico para remoção de equipamentos.

Alguns índices de acessibilidade mapeados nesse trabalho podem ser obtidos através de dados estáticos, outros por meio de avaliações através de simulação digital, e outros por julgamentos de engenharia. Entretanto não há um método ou procedimento para avaliar e quantificar a acessibilidade na manutenção.

O trabalho dos autores (GUO *et al.*, 2018) apresenta o IMVES (*Immersive Maintainability Verification and Evaluation System*). Esse sistema propõe a aplicação da realidade virtual para suportar e desenvolver um método efetivo para auxiliar o projetista na tomada de decisão nas fases iniciais do desenvolvimento de um produto. O IMVES foi desenvolvido para gerar e conduzir uma simulação de manutenção imersiva, na qual o projetista pode interagir com o produto em um ambiente virtual de acordo com procedimentos pré-determinados, possibilitando identificar, coletar e avaliar dados em relação aos procedimentos de manutenção. Os seguintes aspectos são abordados: Visibilidade, Acessibilidade, Ergonomia, Espaço Físico e Segurança. O objetivo principal é possibilitar que as melhores decisões sejam incorporadas nos estágios iniciais do desenvolvimento ou modificação de um produto e na elaboração ou revisão dos procedimentos de manutenção.

Entretanto, o sistema IMVES não traz uma resposta mensurável e integrada dos atributos de manutenibilidade afetados em um desenvolvimento ou modificação do produto do setor aeronáutico.

Os trabalhos de Huang *et al.*, (2013) e Guo *et al.*, (2018) abordam alguns atributos de manutenibilidade, entretanto não apresentam uma metodologia ou procedimento para a realização de uma análise de manutenibilidade. Esses métodos poderiam ser utilizados com o objetivo de avaliar e coletar informações relativas a alguns atributos de manutenibilidade para serem utilizadas como dados de entrada em um método de avaliação.

O trabalho de (ABDULLAH *et al.*, 2006) apresenta uma metodologia para determinar o índice de manutenibilidade baseado em critérios de montagens. Destaca que um projeto voltado para manutenção é mais vantajoso em termos de prazo e custo quando comparado com um projeto comum. Essa metodologia analisa os atributos de manutenibilidade envolvidos na montagem do produto, sendo eles: Criticidade do componente, Montagem, Ferramentas, Prendedores e Acessibilidade.

A metodologia inicia-se com a desmontagem dos componentes de um produto. Durante a desmontagem cada etapa é registrada, o caminho crítico das atividades é identificado, bem como as quantidades e os tipos de prendedores. Dois fatores são analisados durante o processo de montagem: a acessibilidade do componente e o tipo do prendedor. O componente com fácil acesso demandará uma manutenção mais simples e a seleção de prendedores adequados contribuem para a redução do tempo necessário para a manutenção.

Na análise é identificado o componente mais crítico da tarefa de manutenção, na sequência são analisados os dados de campo, obtendo assim a taxa de manutenção de todos os componentes envolvidos na montagem.

Considerando o nível de dificuldade, sete diferentes tipos de fixações e montagens recebem um peso para que possam ser medidos quantitativamente. Com base na pontuação atribuída a cada tipo de montagem, a pontuação total em todo o caminho crítico pode ser calculada. Nem todos os componentes do produto ou sistema requerem a mesma manutenção em termos de procedimentos e frequências, assim, o indicador de manutenção de todo o caminho crítico é determinado dividindo a taxa de manutenção do componente pela pontuação total da montagem. Na sequência o índice de manutenibilidade é determinado dividindo o indicador de manutenção pelo número de componentes envolvidos ao longo do caminho crítico. O índice de manutenibilidade do componente é definido entre 0 e 1, quanto menor o valor, melhor será o índice de manutenibilidade.

Os autores (WANI; GANDHI, 1999) apresentam o método VMAFPM (*Variable Maintainability Attributes Facilitation Permanent Function*). Este método considera os atributos de manutenibilidade e a inter-relação entre eles. Os atributos estão baseados em 3 variáveis: Projeto, Pessoas e Suporte Logístico. A variável Projeto foi decomposta em: Acessibilidade, Desmontagem, Padronização, Simplicidade, Identificação, Testabilidade e Modularidade. A variável Pessoas foi decomposta em: Fatores Ergonômicos e Ambiente de Trabalho. A variável Suporte Logístico em: Ferramentas, Equipamento para Testes e Documentação.

As inter-relações entre os atributos de manutenibilidade podem variar, cada atributo possui características distintas que podem facilitar ou melhorar as interfaces com outros atributos durante a realização de uma tarefa de manutenção. Utilizando como referência o manual MIL-HDBK-472, uma equipe de engenheiros de projeto e engenheiros de manutenção estabelecem as inter-relações entre os atributos de manutenibilidade e atribuem um índice de desempenho para cada uma delas. Isso é ilustrado por um dígrafo, que é uma representação gráfica que mostra o efeito de facilitação de um atributo sobre o outro. O índice de manutenibilidade é obtido substituindo valores numéricos dos atributos e suas inter-relações. Um valor mais alto do índice implica em boa manutenção do sistema.

O método proposto por Wani e Gandhi (1999) possibilita analisar a relevância que cada atributo de manutenibilidade incide sobre o produto. Nesse método são atribuídos índices de desempenhos para cada inter-relação entre os atributos e não ao atributo propriamente dito. Os 12 atributos abordados nesse método demandam a verificação de até 132 possíveis inter-relações para cada análise de manutenibilidade. Essas verificações tornam esse método complexo e trabalhoso e as definições dos índices de desempenhos das inter-relações existentes aumentam a subjetividade da análise. Sendo assim, esse método não é indicado para a análise de manutenibilidade para modificações de produto.

O trabalho de (BLANCHARD *et al.*, 1995) define manutenibilidade como uma característica de design, enquanto "manutenção" é o resultado do design. As características de manutenção, como ciclo, acessibilidade, montagem, padronização de componentes, modularização, testabilidade, ajustabilidade, identificação, mobilidade, intercambialidade, fatores humanos, criticidade do equipamento, manuseabilidade, capacitação dos mantenedores, incorporadas apropriadamente durante a concepção de um projeto podem resultar em menos manutenção, bem como uma redução no custo do ciclo de vida desse produto. Idealmente, a capacidade de manutenção (junto com a consideração de fatores de desempenho, confiabilidade, fatores humanos, capacidade de suporte, segurança, produtibilidade, descartabilidade e outros parâmetros) deve ser abordada desde o início da concepção e desenvolvimento de novos sistemas.

Os autores apresentam o método *trade-off* para a realização de análise de manutenibilidade. Esse método tem como objetivo comparar e indicar a proposta mais apropriada, em relação à manutenibilidade, para o desenvolvimento de soluções de engenharia. O método *trade-off* inicia-se realizando uma abordagem funcional para identificar e abordar todos os elementos e aspectos envolvidos ao produto ao longo de seu ciclo de vida pretendido. Isso reduz a possibilidade de ignorar um componente ou requisito essencial do

produto. Todas as propostas de desenvolvimento são relacionadas, em seguida são eliminadas aquelas que não são atraentes por um motivo ou outro, deixando apenas algumas para avaliação.

Os critérios de avaliação incluem parâmetros como desempenho, operabilidade, eficácia, características do projeto, cronograma e custo. Ambas as considerações qualitativas e quantitativas são cobertas no processo de avaliação de manutenibilidade. O analista define uma lista de parâmetros de avaliação. Dados os parâmetros, a próxima etapa é determinar o nível de importância de cada um. Um fator de ponderação quantitativa de 0 (zero) a 100 (cem) é atribuído a cada parâmetro de acordo com o grau de importância. A soma de todos os fatores de ponderação deve ser 100.

Coefficientes de classificação de 0 (zero) a 10 (dez) são atribuídos a cada parâmetro de acordo com o grau de compatibilidade com os objetivos desejados. Se uma avaliação é considerada "altamente desejável", uma classificação de 10 é atribuída.

Os coeficientes são multiplicados pelos fatores de ponderação para obter a pontuação individual. A pontuação total é então determinada somando-se as pontuações individuais para cada configuração. Considerando a complexidade envolvida, um fator de risco pode ser atribuído a cada uma das configurações.

A referência (UNITED STATES, 1988), através do manual DOD-HDBK-791 - *Maintainability Design Techniques*, define manutenibilidade como a capacidade de um item ser reparado a uma condição específica através de atividades de manutenção realizadas por mantenedores com níveis de habilidade especificados, usando procedimentos e recursos pré-determinados. O manual fornece diretrizes para direcionar a incorporação da manutenibilidade no desenvolvimento de novos produtos e sistemas. As informações coletadas dos registros de manutenção fornecem exemplos práticos — bons e ruins — que ilustram características de projeto que resultam em uma melhor manutenibilidade. O manual descreve em detalhes os seguintes atributos: simplificação, padronização e intercambialidade, acessibilidade, modularização, identificação e rotulagem, testabilidade, manutenção preventiva, fatores humanos e fatores ambientais. Adicionalmente, apresenta procedimentos que resultam uma previsão de manutenibilidade expressa em horas ou homem-horas necessários para realizar uma tarefa de manutenção.

A referência (UNITED STATES, 1966), através do manual MIL-HDBK-472 - *Maintainability Prediction*, apresenta quatro procedimentos para a previsão de manutenibilidade. O objetivo é suportar a concepção, desenvolvimento e fabricação de equipamentos e sistemas que requerem alto grau de manutenção. Os procedimentos

apresentados abordam os seguintes atributos de manutenibilidade: ciclo, montagem, criticidade do equipamento e número de mantenedores.

Os procedimentos I e III são aplicáveis somente a sistemas e equipamentos eletrônicos e os procedimentos II e IV podem ser aplicados para diferentes sistemas e equipamentos.

O procedimento II é um procedimento de previsão de manutenibilidade que descreve os métodos e técnicas que são usados para prever os parâmetros de manutenção corretiva, preventiva e ativa. Apresenta dois métodos para prever a manutenção corretiva. O primeiro método resulta em uma previsão de manutenibilidade expressa em horas, utilizando tempos tabulados para tarefas de manutenção, registrados em horas, que foram estabelecidos com base em experiências prévias. O segundo método não utiliza tempos de tarefas tabulados, em vez disso, utiliza estimativas de homem-horas necessárias para realizar uma tarefa de manutenção, que são baseadas em experiências anteriores e na análise do projeto com relação à manutenção.

O procedimento IV é um procedimento baseado em experiências anteriores, avaliação subjetiva e julgamento de especialistas para prever o tempo de inatividade de um sistema ou equipamento. Os tempos das tarefas para realizar várias ações de manutenção são estimados, e em seguida, combinados para prever a capacidade de manutenção geral do sistema ou equipamento. Os tempos de parada para manutenção estão relacionados apenas à manutenção inerente do equipamento, uma vez que atrasos administrativos e outros atrasos não são definidos durante o projeto do equipamento.

Ambos os procedimentos são aplicáveis ao setor aeronáutico, no entanto, são baseados apenas em tempo, criticidade do componente e número de operadores.

Os métodos apresentados por United States (1988) e United States (1966) apresentam meios para avaliar isoladamente alguns atributos de manutenibilidade. São procedimentos que resultam uma previsão de manutenibilidade expressa em horas ou homem-horas necessários para realizar uma tarefa de manutenção.

2.2.1 Tabulação das informações pesquisadas

A Tabela 2-4 compara os aspectos relevantes quanto aos atributos, aplicação e métodos para análise de manutenibilidade. Entretanto, vale ressaltar que aspectos operacionais e organizacionais de uma empresa, oficina ou centro de serviços, não estão sendo considerados no escopo desse trabalho.

A última coluna evidencia a proposta do presente trabalho em relação aos trabalhos pesquisados.

Tabela 2-4 - Atributos Manutenibilidade x Métodos x Aplicabilidade

Autores	(ZHONG; YOUCHAO, 2007)	(HUANG <i>et al.</i> , 2013)	(JIAN <i>et al.</i> , 2017)	(GUO <i>et al.</i> , 2018)	(ABDULLAH <i>et al.</i> , 2006)	(WANI; GANDHI, 1999)	(UNITED STATES, 1988) DOD-HDBK-791	(BLANCHARD <i>et al.</i> , 1995)	(UNITED STATES, 1966) MIL-HDBK-472	PROPOSTA DESTE TRABALHO
Ciclo (Tempo de Acesso/ Reconfiguração/ Reparo/ Teste)			X	x	x		x	x	x	x
Acessibilidade	x	x	X	x	x	x	x	x		x
Montagem (Nº de componentes)					x	x			x	
Inspeção										x
Comunalidade / Padronização						x	x	x		x
Intercambialidade							x	x		x
Testabilidade	x					x	x	x		x
Ajustabilidade							x	x		x
Identificação	x					x	x	x		x
Modularidade	x		X			x	x	x		x
Simplicidade	x					x	x			x
Fatores Humanos	x	x		x			x	x		x
Criticidade do Equipamento					x			x	x	x
Manuseabilidade							x	x		x
Padronização de Ferramentas	x		X		x	x				x
Ferramentas Especiais / GSE										x
Capacitação dos Mantenedores		x	X			x		x		x
Número de Mantenedores								x	x	x
Ambiente de Trabalho		x	X			x	x			x
Infraestrutura										x
Método	AHP, Lógica Difusa e TOPSIS	N/A	FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process)	N/A	Critérios de Montagens	VMAFPM (Variable Maintainability Attributes Facilitation Permanent Function)	Predição de Manutenção (Horas ou Homem-hora)	Trade-off	Predição de Manutenção (Horas ou Homem-hora)	TOPSIS
Aplicabilidade Setor Aeronáutico	x			x			x	x	x	x

3 Materiais e Métodos

Este Capítulo é dedicado a explicar os métodos e materiais aplicados neste trabalho para tratar o problema de pesquisa e a elaboração da solução apontada no objetivo geral.

3.1 Quando e o que abordar em uma análise de manutenibilidade

O trabalho dos autores Zhong e Youchao (2007) menciona que os atributos de manutenibilidade incorporados durante o projeto é uma significativa característica do produto e pode tornar a manutenção conveniente, rápida e econômica.

Os autores Blanchard *et al.*, (1995) citam que as características de manutenção devem ser abordadas no início da concepção e desenvolvimento de novos produtos com o objetivo de reduzir o custo ao longo do seu ciclo de vida.

Para projetar um produto é preciso entender como as características de manutenibilidade, uma vez presentes no projeto, podem proporcionar a redução do custo de manutenção e ao mesmo tempo o aumento da sua disponibilidade para operação. Assim torna-se imprescindível que se conheça cada um dos atributos e o momento mais apropriado para definir e incorporar os requisitos de manutenibilidade em um produto.

3.1.1 Alteração do Fluxograma de Desenvolvimento de Modificação do Produto

O novo fluxograma das atividades, ilustrado na Figura 3.2, aborda a manutenibilidade desde o início do desenvolvimento de modificações do produto.

Foi utilizado o conceito do ciclo de Boyd ou ciclo OODA (Observação - Orientação - Decisão - Ação) para redesenhar o fluxograma (BOSSÉ *et al.*, 2007 *apud* BOYD, 1987).

As alterações visam estruturar as informações necessárias no momento correto, para que sejam analisadas e executadas da maneira esperada.

O processo decisório contínuo é conhecido no meio militar como ciclo de Boyd ou ciclo OODA e possui correspondência com o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check- Act*) oriundo do meio empresarial (SALES; GOLDONI, 2016).

Basicamente o do ciclo de Boyd consiste em 4 fases:

- Observar o mundo ao redor;
- Orientar-se no contexto da situação que está se desdobrando;
- Decidir as ações a serem tomadas;
- Agir, colocando em prática a decisão.

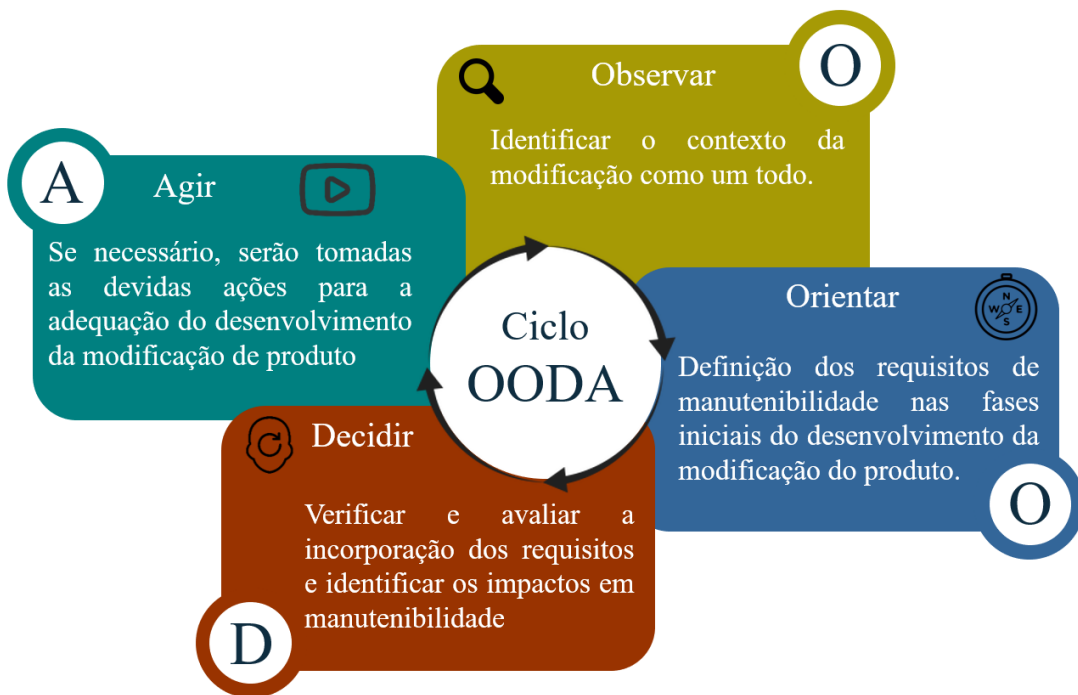


Figura 3.1 - Ciclo OODA. Adaptado de: (BOSSÉ *et al.*, 2007 *apud* BOYD, 1987).

Das quatro fases do ciclo de Boyd, a fase Orientação é a mais crítica, pois determina o modo como Observamos, Decidimos e Agimos. Logo, aquele que não se orienta corretamente, observa, decide e age incorretamente (BOSSÉ *et al.*, 2007 *apud* BOYD, 1987).

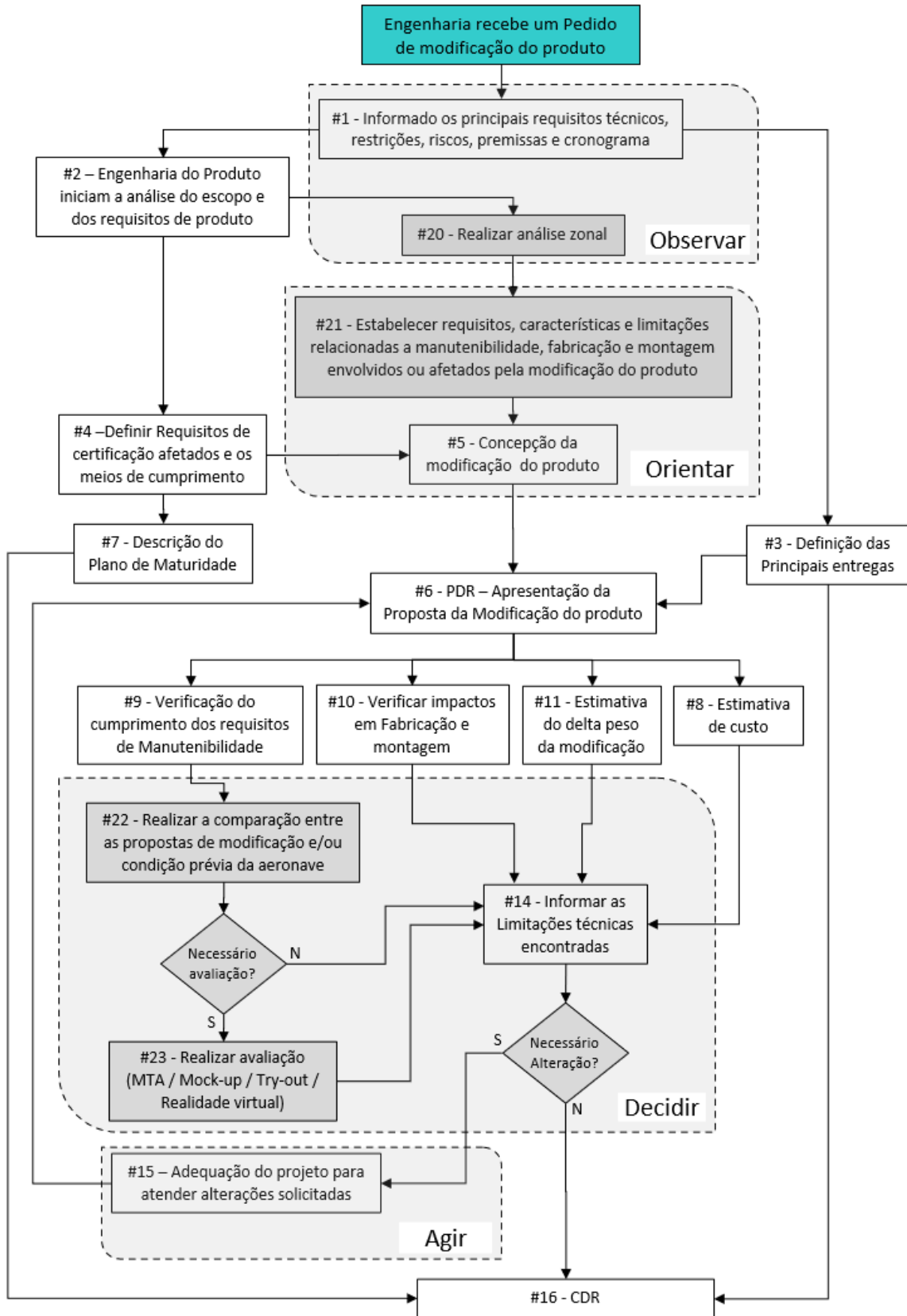


Figura 3.2 - Fluxograma Proposto (Fonte: o autor).

A atividade #20 foi incluída para que juntamente com a atividade #1 permitam um melhor entendimento do que é solicitado no pedido de modificação do produto. Através de uma análise zonal é possível identificar o contexto da modificação como um todo, inclusive o que pode ser afetado pela modificação do produto.

A atividade #21 foi incluída com a intenção de identificar as informações e os requisitos de manutenibilidade que possam ser afetados pela modificação. As informações e requisitos de manutenibilidade serão definidos na fase inicial e orientará o desenvolvimento da modificação do produto.

As atividades #20 e #21 estão correlacionadas com o Objetivo Específico 1 (**OE1** - Identificar os atributos de manutenibilidade aplicáveis ao setor aeronáutico). Após identificar o contexto envolvido é necessário definir os requisitos e atributos de manutenibilidade aplicáveis à modificação do produto.

A atividade #9 tem como objetivo a verificação dos requisitos de manutenibilidade estabelecidos das fases iniciais do desenvolvimento da modificação do produto.

A atividade #13 do cronograma inicial foi substituída pelas atividades #22 e #23. O objetivo dessas atividades é realizar a comparação das possíveis propostas de modificação com uma configuração previamente estabelecida. Em conjunto com a atividade #9, essas atividades fornecem dados necessários e em tempo hábil para apoiar o processo de tomada de decisão.

O Objetivo Específico 3 (**OE3** - Identificar um método multicritério existente para a realização da análise da manutenibilidade) está correlacionado com a atividade #22. A utilização de um método multicritério para tomada de decisão possibilitará a comparação entre as propostas de modificação do produto.

A atividade #23 está correlacionada com o Objetivo Específico 5 (**OE5** – Verificar as análises de manutenibilidade realizadas). Dependendo da complexidade da modificação é necessário realizar uma avaliação adicional para complementar à análise de manutenibilidade.

A atividade #15 já existia no cronograma inicial. No entanto, caso necessário, serão tomadas as devidas ações para a adequação do desenvolvimento da modificação do produto, inclusive os itens relacionados à manutenibilidade do produto.

3.1.2 Atributos de Manutenibilidade

Os atributos de manutenibilidade aplicáveis ao setor aeronáutico estão ilustrados na Figura 3.3. Esses atributos abrangem todos os aspectos relacionados à manutenibilidade de um produto aeronáutico ao longo do seu ciclo de vida pretendido, e devem ser verificados e avaliados durante o desenvolvimento de modificações do produto e na elaboração das análises de manutenibilidade.



Figura 3.3 - Atributos de Manutenibilidade (Fonte: o autor).

A Tabela 3-1 foi elaborada e apresenta uma referência em relação às métricas dos atributos de manutenibilidade. A finalidade é orientar e auxiliar o engenheiro a mensurar a pontuação atribuída aos índices de desempenho para cada um dos atributos de manutenibilidade aplicáveis a modificação do produto.

Tabela 3-1 - Métricas dos Atributos

Atributos de Manutenibilidade	Métricas	Unidade
Ciclo (Acesso / Reparo / Reconfiguração / Teste)	Quantitativo	Tempo (hora)
Acessibilidade	Quantitativo	Dimensão, localização e número de prendedores dos painéis de acesso.
	Qualitativo	Facilidade para prover acesso adequado a um componente.
Inspeção	Qualitativo	Facilidade para realizar a inspeção física de um componente.
Comunalidade / Padronização	Quantitativo	Número de componentes.
Intercambialidade	Quantitativo	Número de componentes.
Testabilidade	Qualitativo	Facilidade para realizar as operações de teste de um componente ou sistema.
Ajustabilidade	Quantitativo	Número de componentes e dispositivos de ajustes.
	Qualitativo	Facilidade para ajustar e regular a montagem de um componente.
Identificação	Qualitativo	Localização da marcação de identificação do componente.
Modularidade	Quantitativo	Número de componentes.
Simplicidade	Qualitativo	Facilidade para a realização das atividades.
Fatores Humanos	Quantitativo	Verificação de limitações físicas.
	Qualitativo	Verificação de limitações cognitivas.
Criticidade do Equipamento	Quantitativo	Número de componentes e taxa de falhas.
Manuseabilidade	Quantitativo	Dimensão, peso e movimentação de componentes e ferramentas.
	Qualitativo	Facilidade para movimentar e manusear os componentes e ferramentas.
Padronização de Ferramentas	Quantitativo	Número de ferramentas.
Ferramentas Especiais / GSE	Quantitativo	Número de ferramentas.
Capacitação dos Mantenedores	Quantitativo	Treinamentos e Qualificações.
Número de Mantenedores	Quantitativo	Número de mantenedores.
Ambiente de Trabalho	Qualitativo	Condições mínimas para a realização das atividades.
Infraestrutura	Quantitativo	Recursos ou condições necessárias.

3.2 Metodologia

A Metodologia apresentada abordará os procedimentos metodológicos referentes a esse trabalho de pesquisa. O método proposto é aplicado para a realização de análises de manutenibilidade comparando diferentes cenários, possibilitando as análises entre as possíveis propostas de modificação do produto ou comparando as propostas com uma configuração prévia da aeronave.

Este método é aplicado para as propostas de modificação que cumprem com os requisitos mandatórios relacionados à manutenibilidade, que foram previamente definidos no início do desenvolvimento de uma modificação do produto. A atividade #9 do novo fluxograma tem como objetivo verificar se os requisitos identificados e estabelecidos na atividade #21 foram atendidos durante o desenvolvimento da modificação do produto.

As propostas de modificação que não atendam ao cumprimento dos requisitos mandatórios devem ser descartadas ou retrabalhadas de modo a atender aos requisitos pré-estabelecidos nas fases iniciais do desenvolvimento da modificação do produto.

Após a seleção das propostas de modificação, o engenheiro de manutenibilidade deve analisar os dezenove atributos e identificar quais são aplicados às propostas de modificação do produto.

Na sequência é aplicado o método TOPSIS. O engenheiro de manutenibilidade, baseado em suas experiências, irá atribuir pontuações aos índices de desempenho para cada um dos atributos em relação às propostas analisadas, e posteriormente definir os pesos dos atributos de manutenibilidade levando em conta a importância relativa entre eles.

3.2.1 Método TOPSIS

O Método TOPSIS consiste em avaliar o desempenho das alternativas por meio da similaridade das mesmas com a solução ideal (Hwang e Yoon, 1981).

O método calcula o valor de uma alternativa em função de sua distância Euclidiana para dois pontos: solução ideal positiva e solução ideal negativa.

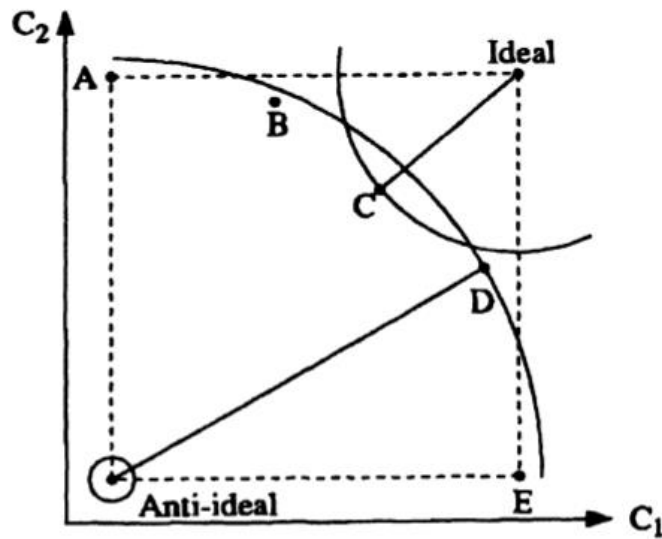


Figura 3.4 - Distância para dois pontos: solução ideal positiva e solução ideal negativa
(SILVA, 2020 *apud* POMEROL; BARBA-ROMERO, 2000)

A aplicação do método inicia-se após a definição dos cenários a serem comparados e a identificação dos atributos de manutenibilidade afetados.

A matriz de decisão X deve ser definida. Deverá ser constituída pelos atributos de manutenibilidade (como critérios) e pelas propostas de modificação do produto ou uma configuração prévia da aeronave (como alternativas). A matriz X pode ser descrita como aponta a Equação 3.1:

$$X = \begin{matrix} & C_1 & \dots & C_n \\ A_1 & \left(\begin{matrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \right) \\ \dots & & & \\ A_m & & & \end{matrix} \quad (3.1)$$

Onde A_1, A_2, \dots, A_m são alternativas viáveis, C_1, C_2, \dots, C_n são critérios e X_{mn} indica o desempenho da alternativa A_m segundo o critério C_n .

Os critérios, nesse caso os atributos de manutenibilidade, devem ser classificados em:

- Maximizar - quanto maior o valor, melhor.
- Minimizar - quanto menor o valor, melhor.

No método TOPSIS os pesos dos atributos de manutenibilidade são definidos pelo decisor, nesse caso o engenheiro de manutenibilidade, levando em conta a importância relativa entre eles. Baseado em suas preferências e experiências os engenheiros atribuem uma pontuação direta para cada atributo. Vale ressaltar que a somatória dos pesos de todos os atributos deve totalizar 100.

O vetor de peso $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ é composto pelos pesos individuais para cada critério C_j satisfaz:

$$\sum_{i=1}^n w_j = 1 \quad (3.2)$$

Foi utilizada uma escala de 5 pontos (1- baixo, 2 - abaixo da média, 3 - na média, 4 - bom e 5 - excelente) para indicar o índice de desempenho de cada atributo de manutenibilidade em relação a cada uma das propostas avaliadas.

Como os atributos podem ser quantitativos e qualitativos deve-se normalizar a matriz de decisão. A normalização é usada para eliminar as unidades das funções dos critérios, estabelecendo valores que podem ser transformados em unidades adimensionais, possibilitando operações entre eles.

A normalização distributiva é representada pela Equação 3.3:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad \text{para } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (3.3)$$

Onde x_{ij} indica o índice de desempenho atribuído ao atributo de manutenibilidade segundo a proposta de modificação do produto.

Os valores da matriz r devem ser ponderados pelo vetor $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ gerando uma nova matriz p (Equação 3.4). Ou seja, cada coluna da matriz r deve ser ponderada pelo peso atribuído a cada um dos atributos de manutenibilidade.

$$p_{ij} = r_{ij} \times w_j \quad (3.4)$$

O próximo passo é determinar a solução ideal positiva A^+ , representada pela Equação 3.5, e a solução ideal negativa A^- , representada pela Equação 3.6.

$$A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_n^+) \quad (3.5)$$

$$A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_n^-) \quad (3.6)$$

Onde:

$$P_j^+ = \begin{cases} \max_i(p_{ij}), & \text{se o critério é maximizar} \\ \min_i(p_{ij}), & \text{se o critério é de minimizar} \end{cases}$$

$$P_j^- = \begin{cases} \max_i(p_{ij}), & \text{se o critério é minimizar} \\ \min_i(p_{ij}), & \text{se o critério é de maximizar} \end{cases}$$

A distância euclidiana é utilizada no método TOPSIS para medir a distância ideal positiva e ideal negativa entre os atributos. Assim é necessário calcular para cada alternativa A_i a distância euclidiana de cada valor para o vetor de soluções ideais positivas A^+ e para o vetor de soluções ideais negativas A^- .

A distância euclidiana para a solução ideal positiva é representada pela Equação 3.7, e a distância euclidiana para a solução ideal negativa pela Equação 3.8.

$$d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^+ - p_{ij})^2} \quad \text{com } i = 1, \dots, m. \quad (3.7)$$

$$d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^- - p_{ij})^2} \quad \text{com } i = 1, \dots, m. \quad (3.8)$$

Na sequência deve-se calcular o coeficiente de proximidade relativa, conforme Equação 3.9.

$$C_i = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)} \quad (3.9)$$

Onde C_i é o coeficiente de proximidade relativa ($0 < C_i < 1$); d_i^+ é a distância euclidiana para a solução positiva; e d_i^- é a distância euclidiana para a solução negativa.

A melhor proposta de modificação do produto, do ponto de vista de manutenibilidade, será aquela com o maior valor do coeficiente de proximidade, ou seja, é aquela que mais se aproxima da solução ideal positiva.

3.2.2 Avaliadores

Com objetivo de verificar o entendimento da metodologia e possíveis divergências dos resultados, o método foi aplicado por três engenheiros com experiência na área de engenharia de manutenibilidade.

Utilizando o *software* de modelagem CATIA V5 (DASSAULT SYSTÈMES, 2002), os três engenheiros consultaram os modelos 3D das propostas de modificações.

Para uniformizar as análises, os três engenheiros analisaram os dezenove atributos de manutenibilidade e identificaram em conjunto os atributos afetados em cada um dos estudos de casos.

A aplicação do método TOPSIS foi realizada individualmente. Cada engenheiro, baseado em suas experiências, atribuiu valores aos pesos e às pontuações dos índices de desempenho para cada um dos atributos afetados pelas propostas analisadas.

Para registrar e diferenciar as análises, os engenheiros de manutenibilidade foram identificados numericamente, por exemplo, engenheiro #1, engenheiro #2, etc.

3.3 Verificação das Análises

Segundo o trabalho apresentado por (SAATY, 2008), as decisões envolvem muitas variáveis intangíveis, muitas das vezes divergentes entre si, e devem ser mensuradas e avaliadas para identificar o quão bem elas atendem aos objetivos do tomador de decisão. Adicionalmente, (BELTON; STEWART, 2002) descrevem que a subjetividade é inerente a toda tomada de decisão, em particular nos critérios nos quais basear a decisão.

Nesse contexto, para efeito de estudo, foram realizadas verificações das pontuações atribuídas pelos engenheiros aos índices de desempenho dos atributos de manutenibilidade aplicáveis às modificações de produto.

A verificação foi conduzida para atender a natureza dos atributos de manutenibilidade, que pode ser quantitativa e/ou qualitativa. Usando como referência a Tabela 3-1, foram identificadas as métricas e as unidades a serem consideradas para cada atributo de manutenibilidade.

3.3.1 Atributos Quantitativos

Os atributos de manutenibilidade classificados como quantitativos possuem parâmetros mensuráveis, podendo ser: quantidade de componentes, quantidade de ferramentas, número de mantenedores, tempo para a execução das atividades, entre outros. Para a análise e mensuração desses atributos recomenda-se utilizar MTA (*Maintenance Task Analysis*), dados históricos, dados planejados ou demais recursos disponíveis.

3.3.2 Atributos Qualitativos

A mensuração dos atributos de manutenibilidade classificados como qualitativos envolve subjetividade. Isso pode ser minimizado pela experiência do avaliador, verificação física na aeronave ou utilização de recursos digitais para a análise.

As verificações das pontuações atribuídas pelos engenheiros aos índices de desempenho dos atributos de manutenibilidade foram realizadas através de experimentos que objetivaram capturar as percepções e subjetividade relacionadas aos atributos qualitativos.

3.3.3 Experimento

Os experimentos foram desenvolvidos para simular de forma simplificada as incorporações das propostas de modificação do produto, objetivando capturar as percepções e minimizar a subjetividade na mensuração das pontuações dos índices de desempenho dos atributos qualitativos de manutenibilidade.

Para o estudo em questão, foi selecionado o uso da realidade virtual para a realização dos experimentos. Alguns fatores justificam a escolha deste recurso, são eles:

- A realidade virtual possibilita uma imersão do usuário no ambiente 3D, propiciando que o usuário tenha a percepção de estar fisicamente presente no ambiente digital.

- Devido às decisões estratégicas da empresa, muitas vezes a aeronave não é fabricada na mesma planta onde está localizado o time da engenharia de desenvolvimento do produto, isso dificulta a realização de ensaios e verificações físicas na aeronave.

- Todo o projeto da aeronave é desenvolvido com o uso do *software* CATIA V5. Esse *software* disponibiliza o pacote *Humam Builder* que possibilita a realização de análises ergonômicas. Esse recurso é de fácil aplicação e é indicado para muitas análises, entretanto, não possibilita uma interação em primeira pessoa do usuário no ambiente virtual, o que reduz a capacidade de análise em relação a algumas características relacionadas aos atributos de manutenibilidade.

É importante ressaltar que há uma distância significativa entre o ambiente real e o ambiente virtual. Essas diferenças podem ser encontradas principalmente em atividades que envolvem esforço físico, peso dos componentes, condições ambientais, entre outras. No entanto, a realidade virtual proporciona uma interação mais representativa e realista em relação à visualização, acesso e movimentação dos componentes envolvidos nas tarefas de manutenção.

O ambiente virtual foi elaborado utilizando como referência os modelos 3D gerados durante o desenvolvimento de uma modificação do produto, através do *software* CATIA V5. Utilizando esse mesmo *software*, os modelos foram descaracterizados para serem utilizados nesse estudo acadêmico. No entanto, foram preservados o contexto, as dimensões e as condições de instalação. Juntamente com o modelo 3D, foi criado um modelo físico em papelão para complementar a simulação em ambiente 3D, incorporando assim alguns elementos físicos na realização dos experimentos.

Os experimentos foram elaborados seguindo como referência o método de educação remota, empregando o sistema de realidade virtual, proposto por Lee *et al.*, (2022).

Adicionalmente, segundo Montgomery (2017) e Lawson (2014), em qualquer experimento, a variabilidade decorrente de um fator pode afetar o seu resultado, sendo que em algumas vezes esse fator pode ser desconhecido e não controlado. Os autores comentam que os princípios do quadrado latino diminuem possíveis desequilíbrios entre os grupos que estão executando os experimentos. Adicionalmente Lawson (2014) reforça que o número de sujeitos no grupo 1, não precisa ser necessariamente igual ao número de sujeitos no grupo 2.

Neste contexto, foram criados 2 grupos de voluntários para a realização de dois experimentos. Essa configuração foi adotada para minimizar os efeitos da aprendizagem dos voluntários e possíveis diferenças entre as experiências e familiarização com as montagens testadas.

Ao final dos experimentos cada voluntário registrou em um questionário suas percepções, experiências e comentários relacionados às atividades que foram executadas.

3.3.3.1 Recursos Computacionais

Foram utilizados os seguintes *hardware* e *software*.

- Computador (vide Figura 3.5)

- Sistema Operacional: Microsoft Windows 10 Home
- Processador Intel Core i7
- Memória RAM de 16 GB
- Placa de Vídeo GeForce GTX 1060 6GB
- Arcabouço de simulação Unity 3D 2019

- Óculos de Realidade Virtual HTC VIVE Pro Eye - Virtual Reality System com sensores e controles (Figura 3.6).

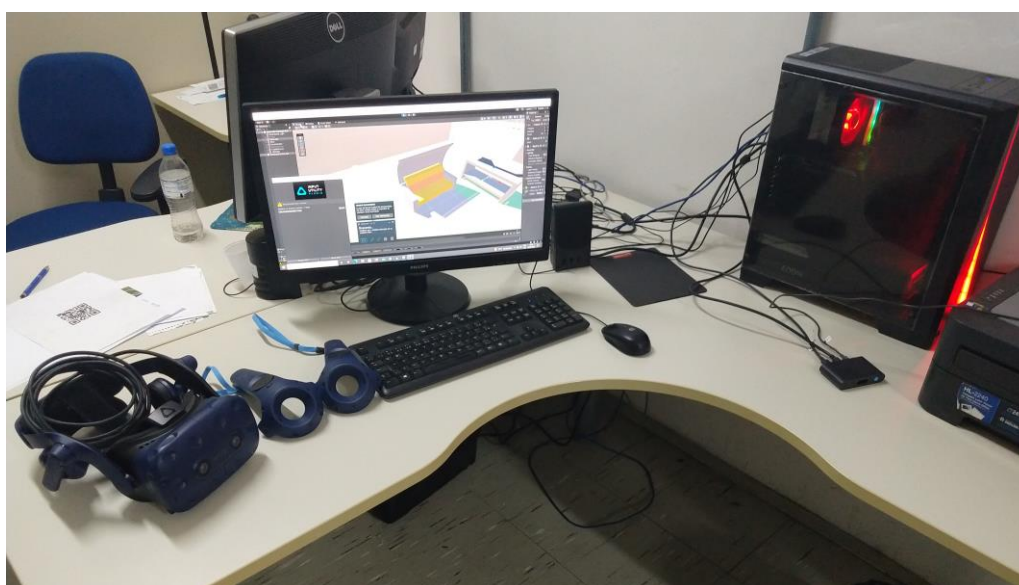


Figura 3.5 - Computador e Equipamentos (Fonte: o autor).



Figura 3.6 - Óculos de Realidade Virtual (VIVE PRO, 2021).

3.3.3.2 Treinamento

Os experimentos foram realizados por voluntários. Os voluntários são pessoas que não tinham conhecimento a respeito das propostas de modificação do produto.

Os Voluntários passaram por um breve treinamento para se ambientarem com a utilização dos equipamentos (óculos, controle e ambiente virtual) e para se familiarizarem com as operações (segurar e movimentar as peças, simular a remoção e instalação de parafusos, etc.) a serem realizadas durante os experimentos, conforme ilustrado no Apêndice A – Treinamento VR.

3.3.3.3 Questionário

O questionário foi elaborado para registrar as percepções e comentários dos voluntários a respeito dos atributos de manutenibilidade classificados como qualitativos.

Os atributos foram desmembrados, uma breve descrição do que deve ser avaliado foi incluída no questionário. A descrição visa auxiliar e orientar os voluntários durante o preenchimento do questionário (vide Figura 4.25).

Após a realização dos experimentos cada voluntário preencheu um questionário referente ao cenário avaliado. Os voluntários foram instruídos para avaliarem as percepções relacionadas às atividades que foram realizadas, as percepções e experiências relacionadas ao uso realidade virtual não foram abordadas nesse trabalho.

4 Estudos de Caso

Este Capítulo ilustra e descreve dois estudos de caso e apresenta os resultados das análises de manutenibilidade realizadas.

4.1 Estudo de Caso I

O estudo de Caso I ilustra a modificação do produto referente ao reparo/substituição de um equipamento elétrico, inversor de frequência, que está localizado no compartimento da cabine de passageiros, atrás de um dos monumentos do interior de uma aeronave.

Na configuração inicial, o painel de manutenção existente no monumento era localizado em frente ao inversor de frequência, permitindo assim total acesso ao equipamento, conforme ilustrado nas figuras: Figura 4.1 e Figura 4.2.

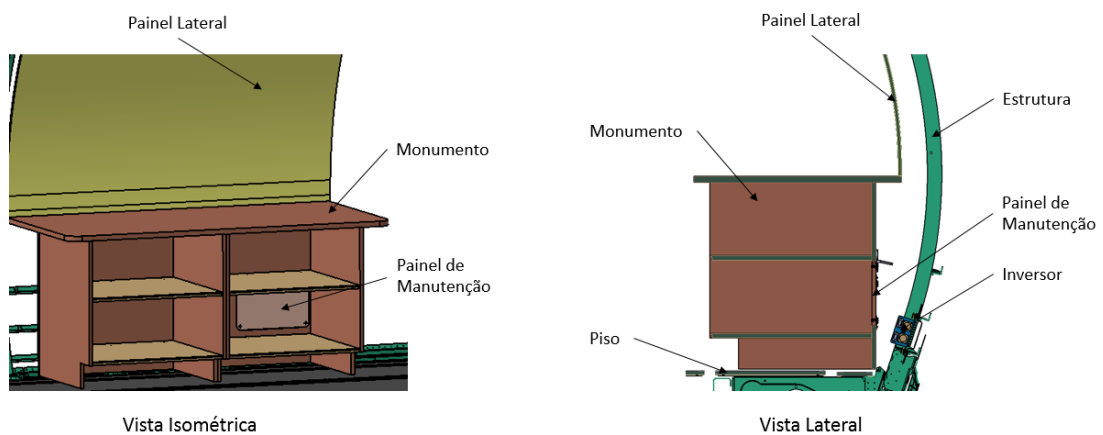


Figura 4.1 - Configuração Inicial - Vistas Frontal e Lateral (Fonte: o autor).

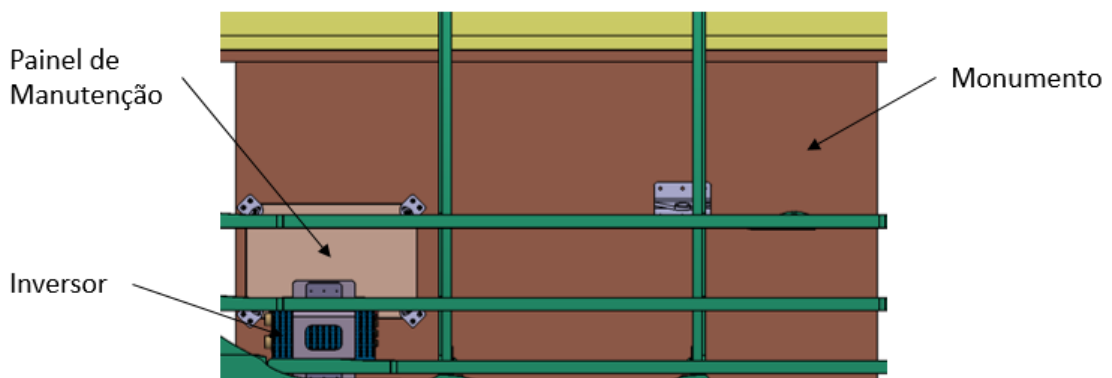


Figura 4.2 - Configuração Inicial - Vista Traseira (Fonte: o autor).

Ao longo do ciclo de vida dessa aeronave, foi incorporada uma modificação que reposicionou o inversor de frequência, porém o painel de manutenção não foi alterado, conforme ilustrado na Figura 4.3. Essa modificação fez com que o painel de manutenção existente no monumento não atendesse as necessidades para reparo/substituição do inversor de frequência, demandando a desmontagem e remoção de parte do interior da aeronave, e utilização de ferramentas não padronizadas e infraestrutura específica para a execução e armazenamento dos itens removidos da aeronave.

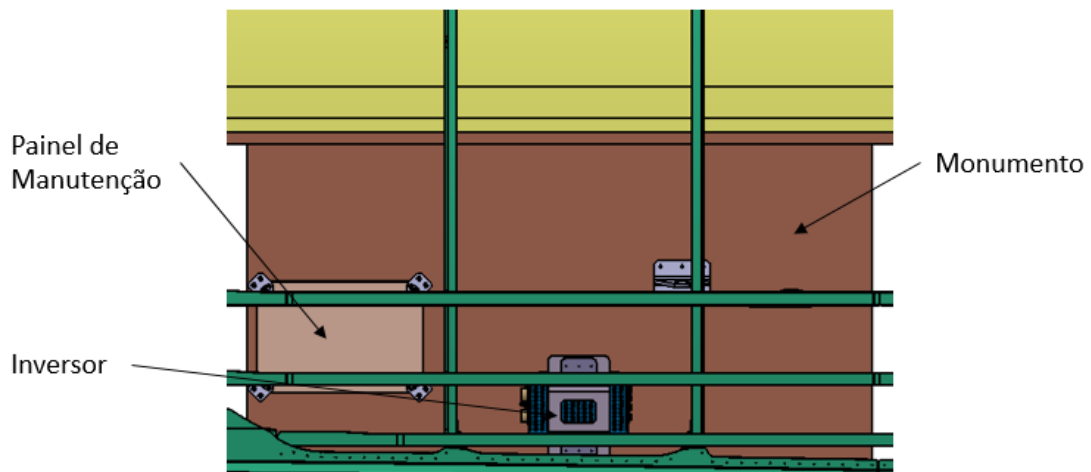


Figura 4.3 - Configuração Atual - Vista Traseira (Fonte: o autor).

Foram consultados os centros de serviços e as oficinas de manutenção que realizaram as tarefas de manutenção para reparo/substituição do inversor de frequência. A Tabela 4-1 apresenta os dados coletados.

Tabela 4-1 - Dados de Campo

	Centro de Serviço / Oficina A		Centro de Serviço / Oficina B	
	Configuração Inicial (ciclo)	Configuração Atual (ciclo)	Configuração Inicial (ciclo)	Configuração Atual (ciclo)
Aeronave 1	01:30	-	-	-
Aeronave 1	01:00	-	-	-
Aeronave 2	-	-	01:00	-
Aeronave 3	-	-	02:00	-
Aeronave 4	01:30	-	-	-
Aeronave 5	-	05:30	-	-
Aeronave 6	-	-	-	06:00
Aeronave 7	-	-	-	06:00
Aeronave 8	-	-	-	07:00
Aeronave 9	-	-	-	09:00

Adicionalmente, as oficinas forneceram as seguintes informações referentes aos recursos necessários para a realização das atividades:

- Configuração inicial do produto

A concepção do projeto propicia um acesso amigável ao equipamento em questão, não demanda recursos e capacitação específica para a realização da tarefa de manutenção.

- Configuração atual do produto.

O painel de manutenção existente no monumento não permite acessar o equipamento. É necessário remover o carpete, painéis laterais e o monumento para ter acesso ao equipamento.

Devido às reclamações de clientes, foram desenvolvidas duas propostas de modificação do produto com a finalidade de melhorar as condições de manutenção. As seguintes premissas foram definidas:

- A modificação não poderia afetar a integridade estrutural do monumento;

- Desenvolver uma única modificação para ser incorporada na frota e em novas aeronaves;
- A substituição do conversor de frequência deveria ser realizada em até 3 horas.

Foram apresentadas 2 propostas de modificação do produto.

Proposta 1: Reposicionar o painel de manutenção. Essa proposta de modificação altera a localização do painel de manutenção, porém devido à divisória interna do monumento, o painel não ficou alinhado com o inversor de frequência. Ver Figura 4.4 e Figura 4.5.

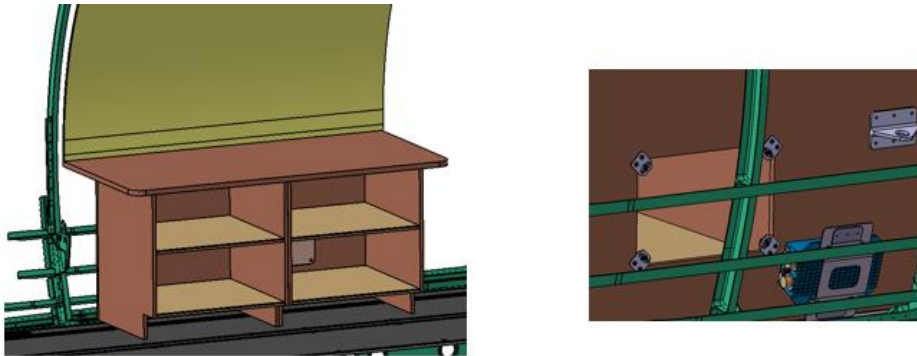


Figura 4.4 - Estudo de Caso I - Proposta de Modificação 1 (Fonte: o autor).

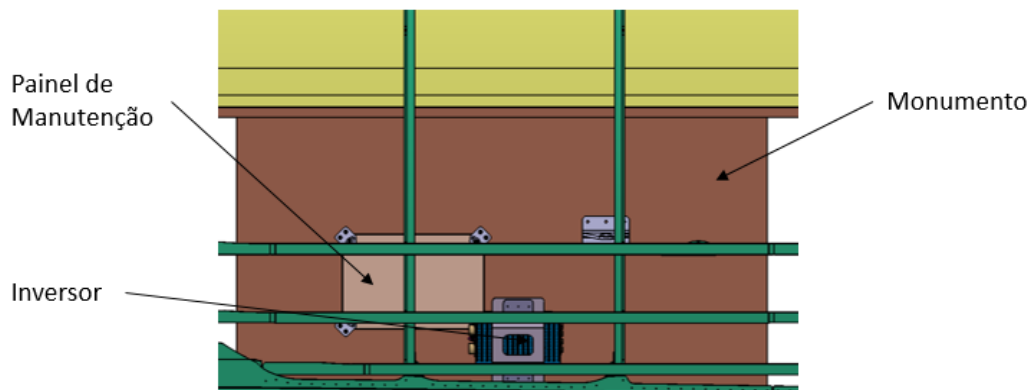


Figura 4.5 - Estudo de Caso I - Proposta de Modificação 1 (Fonte: o autor).

Proposta 2: Reposicionar o painel existente e incluir outro painel de manutenção. Essa proposta de modificação altera a localização do painel existente e acrescenta um novo painel de manutenção no outro compartimento do monumento. Ver Figura 4.6 e Figura 4.7.

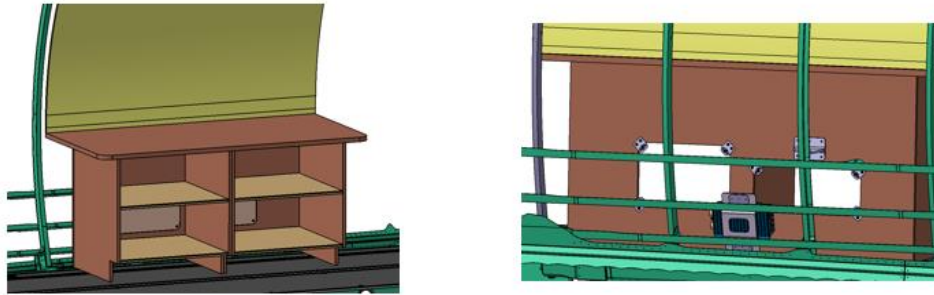


Figura 4.6 - Estudo de Caso I - Proposta de Modificação 2 (Fonte: o autor).

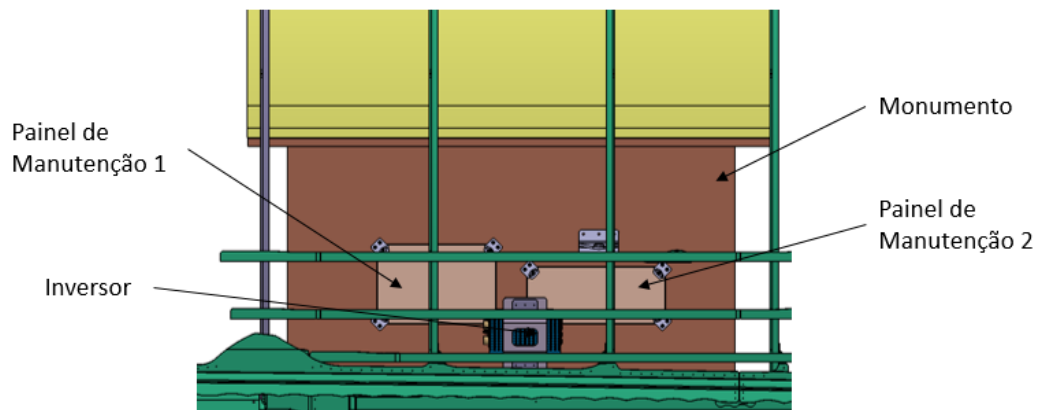


Figura 4.7 - Estudo de Caso I - Proposta de Modificação 2 (Fonte: o autor).

Foram realizadas as análises de manutenibilidade referentes às duas propostas de modificação do produto. Foi considerada como parâmetro de comparação a configuração inicial da aeronave, uma vez que os dados de campo comprovaram que a configuração atual da aeronave é inviável em relação à manutenibilidade do produto. Assim, as propostas de modificação 1 e 2 foram comparadas com a configuração inicial da aeronave.

4.1.1 Definição dos atributos de manutenibilidade aplicáveis ao Estudo de Caso I

Três engenheiros, todos com mais de 10 anos de experiência na área de engenharia de manutenibilidade, analisaram os dezenove atributos e identificaram em conjunto os seguintes atributos aplicados a essas propostas de modificação do produto, conforme ilustrados na Figura 4.8.

- Ciclo
- Acessibilidade
- Inspeção
- Testabilidade
- Identificação
- Simplicidade
- Fatores Humanos
- Manuseabilidade
- Número de Mantenedores
- Infraestrutura



Figura 4.8 - Atributos de Manutenibilidade - Estudo de Caso I (Fonte: o autor).

4.1.2 Aplicação do método TOPSIS

Para registrar e diferenciar as análises de manutenibilidade realizadas, os engenheiros foram identificados conforme registrado na Tabela 4-2.

A aplicação do método foi feita individualmente. Adotou-se essa estratégia para verificar o entendimento da metodologia e as possíveis divergências nos resultados.

A sequência das atividades segue os passos descritos no subcapítulo 3.2.1.

4.1.3 Resultados do Estudo de Caso I

Esse subcapítulo apresenta os resultados das análises de manutenibilidade realizadas pelos engenheiros comparando a Proposta 1 e a Proposta 2 com a Configuração Inicial da aeronave.

4.1.3.1 Análise de Manutenibilidade – Proposta 1

As tabelas: Tabela 4-5, Tabela 4-6 e Tabela 4-7, apresentam os pesos, as pontuações atribuídas aos índices de desempenho para os atributos de manutenibilidade e os resultados das análises comparando a proposta de modificação 1 com a configuração inicial da aeronave.

Tabela 4-5 - Eng. Manutenibilidade #1 x Proposta de Modificação 1

		Ciclo	Accessibilidade	Inspecção	Testabilidade	Identificação	Simplicidade	Fatores Humanos	Manuscabilidade	Número de Mantenedores	Infraestrutura	
Eng. Manutenibilidade (#1)	Proposta 1	5	2	2	2	2	3	2	1	3	3	
	Config Inicial	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	
	Peso	20	20	5	3	5	10	10	7	15	5	
	Normalização distributiva	r_{ij}										
		Proposta 1	0,857	0,447	0,447	0,447	0,447	0,600	0,447	0,243	0,707	0,707
		Config Inicial	0,514	0,894	0,894	0,894	0,894	0,800	0,894	0,970	0,707	0,707
	$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$											
	$p_{rij} = r_{ij} \times W_i$ (Peso)	p_{rij}										
		Proposta 1	0,171	0,089	0,022	0,013	0,022	0,060	0,045	0,017	0,106	0,035
		Config Inicial	0,103	0,179	0,045	0,027	0,045	0,080	0,089	0,068	0,106	0,035
	solução ideal + / -	A+	0,103	0,179	0,045	0,027	0,045	0,080	0,089	0,068	0,106	0,035
		A-	0,171	0,089	0,022	0,013	0,022	0,060	0,045	0,017	0,106	0,035
		d+	d-			Ci			Classificação			
		Proposta 1	0,137			0,000			0,000			0
		Config Inicial	0,000			0,137			1,000			1

Tabela 4-6 - Eng. Manutenibilidade #2 x Proposta de Modificação 1

		Ciclo	Acessibilidade	Inspeção	Testabilidade	Identificação	Simplicidade	Fatores Humanos	Manuseabilidade	Número de Mantenedores	Infraestrutura	
Eng. Manutenibilidade (#2)	Proposta 1	5	2	2	2	2	3	2	1	4	3	
	Config Inicial	2	4	4	4	3	4	4	4	4	3	
	Peso	25	30	5	3	3	8	5	10	5	6	
	Normalização distributiva $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$	rij										
		Proposta 1	0,928	0,447	0,447	0,447	0,555	0,600	0,447	0,243	0,707	0,707
		Config Inicial	0,371	0,894	0,894	0,894	0,832	0,800	0,894	0,970	0,707	0,707
		prij										
	Drij = rij x Wi (Peso)	Proposta 1	0,232	0,134	0,022	0,013	0,017	0,048	0,022	0,024	0,035	0,042
		Config Inicial	0,093	0,268	0,045	0,027	0,025	0,064	0,045	0,097	0,035	0,042
	solução ideal + / -	A+	0,093	0,268	0,045	0,027	0,025	0,064	0,045	0,097	0,035	0,042
		A-	0,232	0,134	0,022	0,013	0,017	0,048	0,022	0,024	0,035	0,042
			d+	d-		Ci			Classificação			
	Proposta 1	0,210	0,000		0,000			0				
	Config Inicial	0,000	0,210		1,000			1				

Tabela 4-7 - Eng. Manutenibilidade #3 x Proposta de Modificação 1

		Ciclo	Acessibilidade	Inspeção	Testabilidade	Identificação	Simplicidade	Fatores Humanos	Manuseabilidade	Número de Mantenedores	Infraestrutura	
Eng. Manutenibilidade (#3)	Proposta 1	4	2	3	3	3	3	3	2	3	3	
	Config Inicial	3	4	4	4	3	4	3	4	3	3	
	Peso	20	25	5	5	5	10	10	10	5	5	
	Normalização distributiva $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$	rij										
		Proposta 1	0,800	0,447	0,600	0,600	0,707	0,600	0,707	0,447	0,707	0,707
		Config Inicial	0,600	0,894	0,800	0,800	0,707	0,800	0,707	0,894	0,707	0,707
		prij										
	Drij = rij x Wi (Peso)	Proposta 1	0,160	0,112	0,030	0,030	0,035	0,060	0,071	0,045	0,035	0,035
		Config Inicial	0,120	0,224	0,040	0,040	0,035	0,080	0,071	0,089	0,035	0,035
	solução ideal + / -	A+	0,120	0,224	0,040	0,040	0,035	0,080	0,071	0,089	0,035	0,035
		A-	0,160	0,112	0,030	0,030	0,035	0,060	0,071	0,045	0,035	0,035
			d+	d-		Ci			Classificação			
	Proposta 1	0,129	0,000		0,000			0				
	Config Inicial	0,000	0,129		1,000			1				

4.1.3.2 Análise de Manutenibilidade – Proposta 2

As tabelas: Tabela 4-8, Tabela 4-9 e Tabela 4-10, apresentam os pesos, as pontuações atribuídas aos índices de desempenho para os atributos de manutenibilidade e os resultados das análises comparando a proposta de modificação 2 com a configuração inicial da aeronave.

Tabela 4-8 - Eng. Manutenibilidade #1 x Proposta de Modificação 2

		Ciclo	Acessibilidade	Inspeção	Testabilidade	Identificação	Simplicidade	Fatores Humanos	Manuseabilidade	Número de Mantenedores	Infraestrutura	
Eng Manutenibilidade (#1)	Proposta 2	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	
	Config Inicial	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3	
	Peso	20	20	5	3	5	10	10	7	15	5	
	Normalização distributiva	r_{ij}										
		Proposta 2	0,800	0,600	0,800	0,800	0,707	0,707	0,600	0,600	0,707	0,707
		Config Inicial	0,600	0,800	0,600	0,600	0,707	0,707	0,800	0,800	0,707	0,707
		p_{rij}										
		Proposta 2	0,160	0,120	0,040	0,024	0,035	0,071	0,060	0,042	0,106	0,035
		Config Inicial	0,120	0,160	0,030	0,018	0,035	0,071	0,080	0,056	0,106	0,035
	solução ideal + / -	A+	0,120	0,160	0,040	0,024	0,035	0,071	0,080	0,056	0,106	0,035
		A-	0,160	0,120	0,030	0,018	0,035	0,071	0,060	0,042	0,106	0,035
		d+	d-			Ci			Classificação			
		Proposta 2	0,062			0,012			0,159			0
		Config Inicial	0,012			0,062			0,841			1

Tabela 4-9 - Eng. Manutenibilidade #2 x Proposta de Modificação 2

		Ciclo	Acessibilidade	Inspecção	Testabilidade	Identificação	Simplicidade	Fatores Humanos	Manuseabilidade	Número de Mantenedores	Infraestrutura	
Eng. Manutenibilidade (#2)	Proposta 2	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	
	Config Inicial	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	
	Peso	25	30	5	3	3	8	5	10	5	6	
	Normalização distributiva $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$	rij										
		Proposta 2	0,800	0,600	0,707	0,707	0,707	0,600	0,707	0,800	0,707	0,707
		Config Inicial	0,600	0,800	0,707	0,707	0,707	0,800	0,707	0,600	0,707	0,707
		pri _j										
	D _{prij} = r _{ij} x W _i (Peso)	Proposta 2	0,200	0,180	0,035	0,021	0,021	0,048	0,035	0,080	0,035	0,042
		Config Inicial	0,150	0,240	0,035	0,021	0,021	0,064	0,035	0,060	0,035	0,042
	solução ideal + / -	A+	0,150	0,240	0,035	0,021	0,021	0,064	0,035	0,080	0,035	0,042
		A-	0,200	0,180	0,035	0,021	0,021	0,048	0,035	0,060	0,035	0,042
			d+	d-		Ci			Classificação			
	Proposta 2		0,080	0,020		0,201			0			
	Config Inicial		0,020	0,080		0,799			1			

Tabela 4-10 - Eng. Manutenibilidade #3 x Proposta de Modificação 2

		Ciclo	Acessibilidade	Inspecção	Testabilidade	Identificação	Simplicidade	Fatores Humanos	Manuseabilidade	Número de Mantenedores	Infraestrutura	
Eng. Manutenibilidade (#3)	Proposta 2	4	4	3	3	3	5	3	3	5	3	
	Config Inicial	3	3	3	3	3	5	3	3	5	3	
	Peso	20	25	5	5	5	10	10	10	5	5	
	Normalização distributiva $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$	rij										
		Proposta 2	0,800	0,800	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707
		Config Inicial	0,600	0,600	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707
		pri _j										
	D _{prij} = r _{ij} x W _i (Peso)	Proposta 2	0,160	0,200	0,035	0,035	0,035	0,071	0,071	0,071	0,035	0,035
		Config Inicial	0,120	0,150	0,035	0,035	0,035	0,071	0,071	0,071	0,035	0,035
	solução ideal + / -	A+	0,120	0,200	0,035	0,035	0,035	0,071	0,071	0,071	0,035	0,035
		A-	0,160	0,150	0,035	0,035	0,035	0,071	0,071	0,071	0,035	0,035
			d+	d-		Ci			Classificação			
	Proposta 2		0,040	0,050		0,556			1			
	Config Inicial		0,050	0,040		0,444			0			

4.1.4 Discussões dos Resultados referentes ao Estudo de Caso I

Este subcapítulo apresenta os resultados das análises de manutenibilidade realizadas para o estudo de caso I, onde as Propostas de modificação 1 e 2 foram comparadas com a Configuração Inicial da aeronave.

Conforme mencionado, com objetivo de verificar o entendimento da metodologia e as possíveis divergências dos resultados, o método foi aplicado por três engenheiros com experiência na área de engenharia de manutenibilidade.

A Tabela 4-11 mostra os pesos que cada engenheiro atribuiu aos atributos de manutenibilidade aplicados às propostas de modificação do estudo de caso I.

Tabela 4-11 - Atribuição dos Pesos para os Atributos

Engenheiro Manutenibilidade	Ciclo	Acessibilidade	Inspecção	Testabilidade	Identificação	Simplicidade	Fatores Humanos	Manuseabilidade	Número de Mantenedores	Infraestrutura
#1	20	20	5	3	5	10	10	7	15	5
#2	25	30	5	3	3	8	5	10	5	6
#3	20	25	5	5	5	10	10	10	5	5

Nota-se que os 3 engenheiros atribuíram as maiores pontuações para os mesmos atributos, ciclo e acessibilidade, e as menores pontuações para os atributos inspeção, testabilidade e identificação.

Baseado em suas experiências cada engenheiro atribui pesos aos atributos de manutenibilidade. Embora tenham sido realizadas individualmente, não houve variação significativa nas atribuições dos pesos, exceto pelos pesos atribuídos ao atributo número de mantenedores. O engenheiro #1 atribui um valor maior para esse atributo em relação aos pesos atribuído pelos demais engenheiros.

As tabelas: Tabela 4-12 e Tabela 4-13, ilustram as pontuações dos índices de desempenho atribuídos pelos engenheiros nas análises de manutenibilidade comparando a proposta de modificação 1 e a proposta de modificação 2 com a configuração inicial da

aeronave. As células destacadas em verde escuro indicam que os engenheiros atribuíram as mesmas pontuações para os índices de desempenho dos atributos de manutenibilidade; as células destacadas em verde claro indicam que as pontuações foram diferentes, porém favoráveis à mesma proposta; as células destacadas em amarelo claro indicam que houve diferenças entre as pontuações, porém são iguais ou favoráveis a pontuação adotada por um dos engenheiros; as células em amarelo escuro indicam que o engenheiro atribuiu pontuação divergente aos demais engenheiros; e por último as células em branco indicam que houve divergência entre as pontuações dos 3 engenheiros.

Tabela 4-12 - Comparação entre as pontuações do índice de desempenho dos atributos de manutenibilidade – Proposta 1 x Configuração Inicial

Engenheiro Manutenibilidade	Propostas de Modificação	Ciclo	Acessibilidade	Inspeção	Testabilidade	Identificação	Simplicidade	Fatores Humanos	Manuseabilidade	Número de Mantenedores	Infraestrutura
#1	Proposta 1	5	2	2	2	2	3	2	1	3	3
	Config Inicial	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3
#2	Proposta 1	5	2	2	2	2	3	2	1	4	3
	Config Inicial	2	4	4	4	3	4	4	4	4	3
#3	Proposta 1	4	2	3	3	3	3	3	2	3	3
	Config Inicial	3	4	4	4	3	4	3	4	3	3

As análises comparando a Proposta 1 e a Configuração Inicial apresentaram poucas divergências entre as pontuações atribuídas pelos engenheiros de manutenibilidade.

Tabela 4-13 - Comparação entre as pontuações do índice de desempenho dos atributos de manutenibilidade – Proposta 2 x Configuração Inicial

Engenheiro Manutenibilidade	Propostas de Modificação	Ciclo	Acessibilidade	Inspeção	Testabilidade	Identificação	Simplicidade	Fatores Humanos	Manuseabilidade	Número de Mantenedores	Infraestrutura
#1	Proposta 2	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3
	Config Inicial	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3
#2	Proposta 2	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3
	Config Inicial	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3
#3	Proposta 2	4	4	3	3	3	5	3	3	5	3
	Config Inicial	3	3	3	3	3	5	3	3	5	3

As análises entre a Proposta 2 e a Configuração Inicial apresentaram algumas divergências entre as pontuações atribuídas pelos engenheiros de manutenibilidade.

As células destacadas na Tabela 4-15 indicam as opções mais recomendadas resultantes das análises realizadas.

A Tabela 4-14 apresenta o resultado das análises de manutenibilidade.

Tabela 4-14 - Resultados do Estudo de Caso I

Estudo de Caso I	MÉTODO PROPOSTO		
	Eng. (#1)	Eng. (#2)	Eng. (#3)
Proposta 1	0,000	0,000	0,000
Config Inicial	1,000	1,000	1,000
Proposta 2	0,159	0,201	0,556
Config Inicial	0,841	0,799	0,444

As análises não apresentaram divergências entre os resultados encontrados em relação à comparação da proposta de modificação 1 e configuração inicial da aeronave. As análises realizadas pelos 3 engenheiros foram favoráveis a Configuração Inicial.

O método TOPSIS indica que a melhor proposta é aquela que apresenta o maior valor do coeficiente de proximidade, ou seja, é aquela que mais se aproxima da solução ideal positiva. As análises dos 3 engenheiros resultaram no valor máximo para o coeficiente de proximidade para a proposta Configuração Inicial, isso mostra que a proposta 1 não foi considerada vantajosa em nenhuma das análises de desempenho dos atributos de manutenibilidade.

Em relação aos resultados encontrados na comparação da proposta 2 e a Configuração Inicial. Nenhuma das propostas apresentou o valor máximo para o coeficiente de proximidade. Isso é reflexo das pontuações atribuídas aos índices de desempenho dos atributos de manutenibilidade. Inclusive, a análise de manutenibilidade do engenheiro #3 apresentou resultado contrário aos dos outros engenheiros.

Em relação à diferença identificada ao peso atribuído para o atributo número de mantenedores pelo engenheiro #1. Essa diferença não influenciou os resultados encontrados devido ao fato de os 3 engenheiros terem atribuídos as mesmas pontuações aos índices de desempenho para esse atributo em ambas as análises.

4.2 Estudo de Caso II

O estudo de caso II ilustra outra modificação do produto selecionada para a realização das análises de manutenibilidade.

Algumas aeronaves apresentam assentos laterais em suas configurações. O conjunto dos assentos laterais é denominado divã. Alguns clientes reportaram que o cinto de ombro de um dos módulos do divã apresentava ruído durante a sua utilização, característica que não era encontrada nos outros módulos dos divãs existente na aeronave.

O módulo do divã é um item certificado isoladamente. Assim, as características e condições de instalação não podem afetar ou interferir na sua funcionalidade e operação. A Figura 4.9 ilustra a instalação de dois módulos que compõem o divã (divã dianteiro esquerdo no sentido de voo da aeronave) que apresentava o problema reportado.

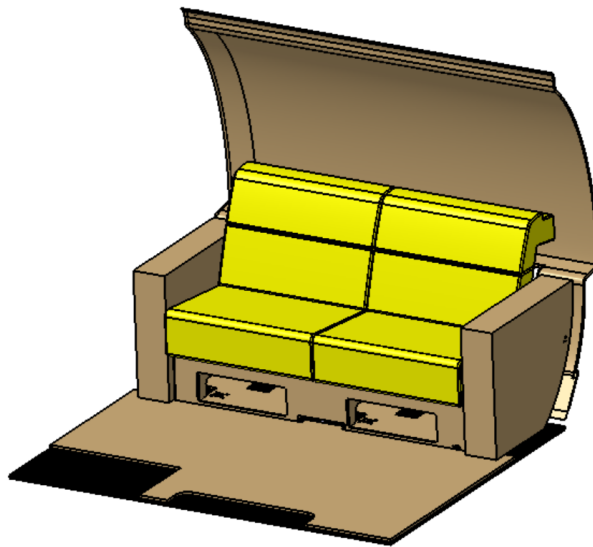


Figura 4.9 - Divã (Assento Lateral 2 Posições) (Fonte: o autor).

Após investigações, verificou-se que a geometria do painel traseiro, instalado atrás do módulo do divã, interferia no encaminhamento da mangueira do sistema de *airbag* do cinto de ombro do módulo dianteiro do divã.

As figuras: Figura 4.10, Figura 4.11 e Figura 4.12, ilustram o módulo do divã dianteiro e os demais componentes envolvidos nessa modificação. A Figura 4.10 exibe o divã em cor transparente, permitindo visualizar os componentes existentes atrás dele.

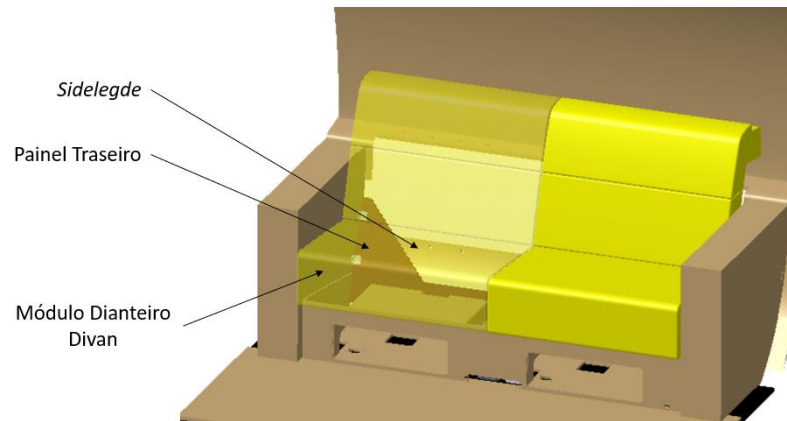


Figura 4.10 - Detalhamento dos Componentes (Fonte: o autor).

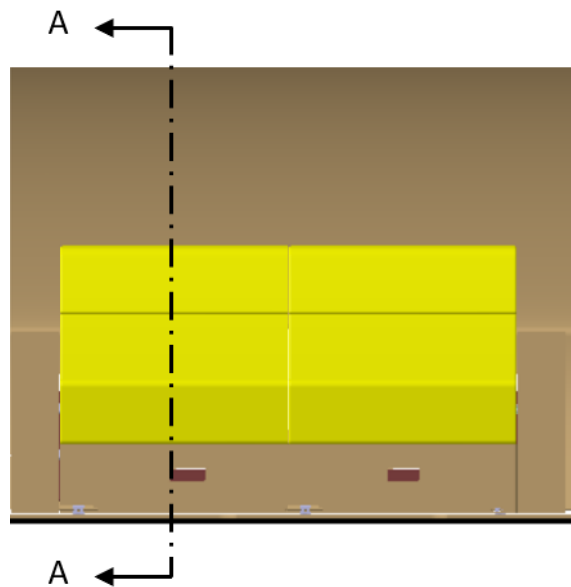


Figura 4.11 - Vista Frontal (Fonte: o autor).

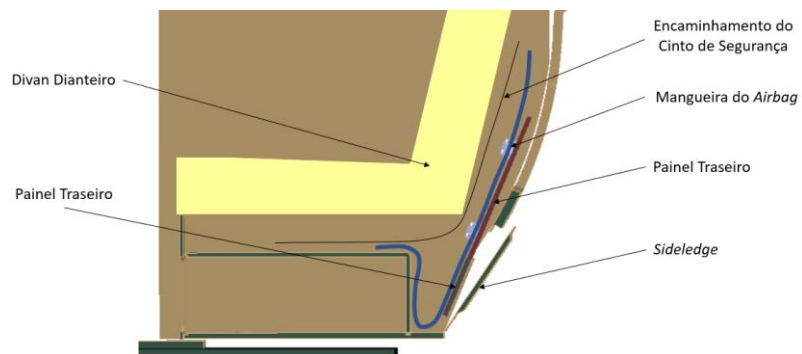


Figura 4.12 - Vista Lateral (Corte A-A) - Posição Ideal da Mangueira (Fonte: o autor).

Durante a retração do cinto de segurança, o painel traseiro direcionava a mangueira do sistema de *airbag* do cinto de segurança para um espaço existente entre o *sideledge* e o painel traseiro, ou seja, a mangueira do *airbag* do cinto de segurança não ficava acomodada conforme a condição a qual foi desenvolvida. Ao puxar o cinto de segurança que estava em descanso, a mangueira do *airbag* se retorcia e criava um rolo causando ruído durante a extensão do cinto.

Esse mesmo módulo do divã é um componente padrão e pode ser instalado em outros locais dependendo da configuração da aeronave. Assim, decidiu-se em não alterar o módulo do divã, uma vez que a condição de instalação estava afetando a funcionalidade de um componente.

Os requisitos mandatórios estabelecidos foram os seguintes:

- Eliminar as interferências das condições de instalação;
- Desenvolver uma única solução a ser aplicada para a linha (próximas aeronaves do plano de produção) e para a frota (aeronaves já em operação);
- Não impactar o ciclo de produção e montagem da aeronave;
- A modificação deve ser incorporada na frota durante o TAT (*Turn Around Time*).

Foram apresentadas duas propostas de modificação do produto.

Proposta 1: Novo painel traseiro. Essa proposta de modificação substitui o painel traseiro existente na aeronave (peça em cinza ilustrada na Figura 4.13).

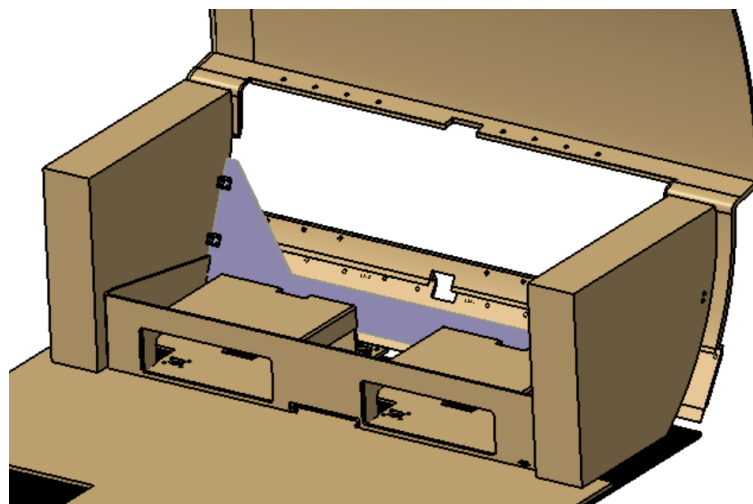


Figura 4.13 - Acesso para a Remoção do Painel Traseiro Atual (Fonte: o autor).

O novo painel traseiro tem uma nova geometria, utilizará os mesmos pontos de fixação do painel que será removido (ver Figura 4.14). Para a remoção do painel traseiro há a necessidade da desmontagem dos dois módulos do divã.

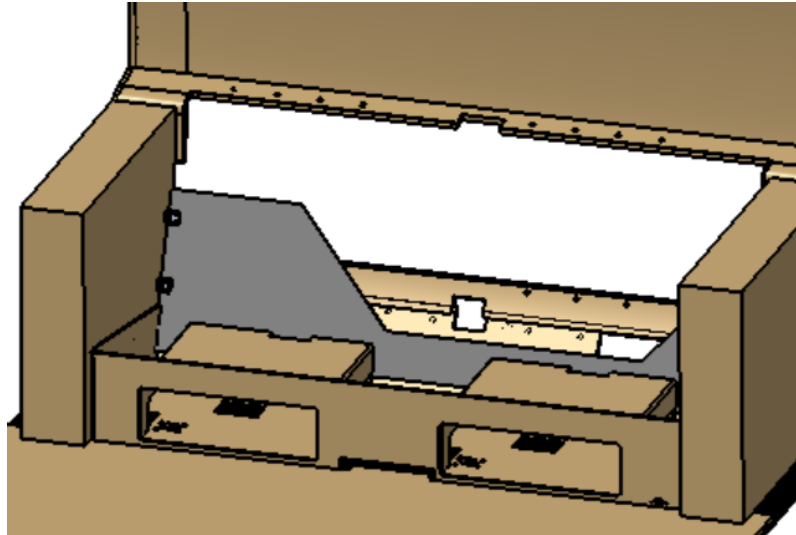


Figura 4.14 - Montagem do Novo Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Proposta 2: Chapa metálica. Essa proposta de modificação inclui um novo componente. Para a inclusão da chapa metálica há a necessidade da desmontagem de apenas um dos módulos do divã, conforme ilustrado nas figuras: Figura 4.15 e Figura 4.16.

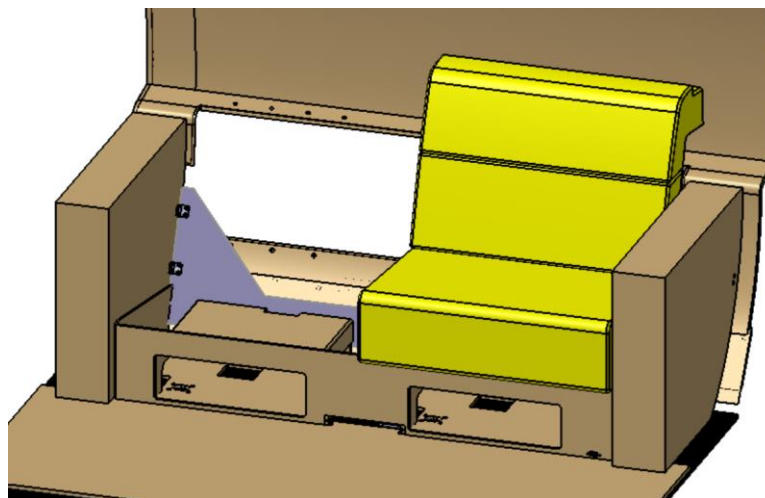


Figura 4.15 - Acesso para a Montagem da Chapa Metálica (Fonte: o autor).

A chapa metálica será fixada em dois pontos já existente na aeronave, conforme apontada em cinza claro na Figura 4.16.

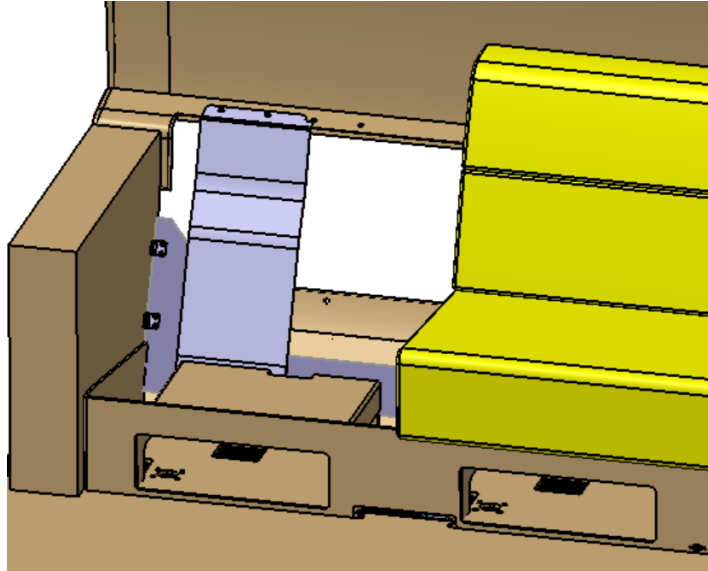


Figura 4.16 - Montagem da Chapa Metálica (Fonte: o autor).

4.2.1 Definição dos atributos de manutenibilidade aplicáveis ao Estudo de Caso II

Três engenheiros, todos com experiência na área de engenharia de manutenibilidade, analisaram os dezenove atributos e identificaram em conjunto os seguintes atributos aplicados a essas propostas de modificação do produto (ilustrados na Figura 4.17).

- Ciclo
- Acessibilidade
- Comunalidade/Padronização
- Ajustabilidade
- Simplicidade
- Manuseabilidade
- Número de Mantenedores

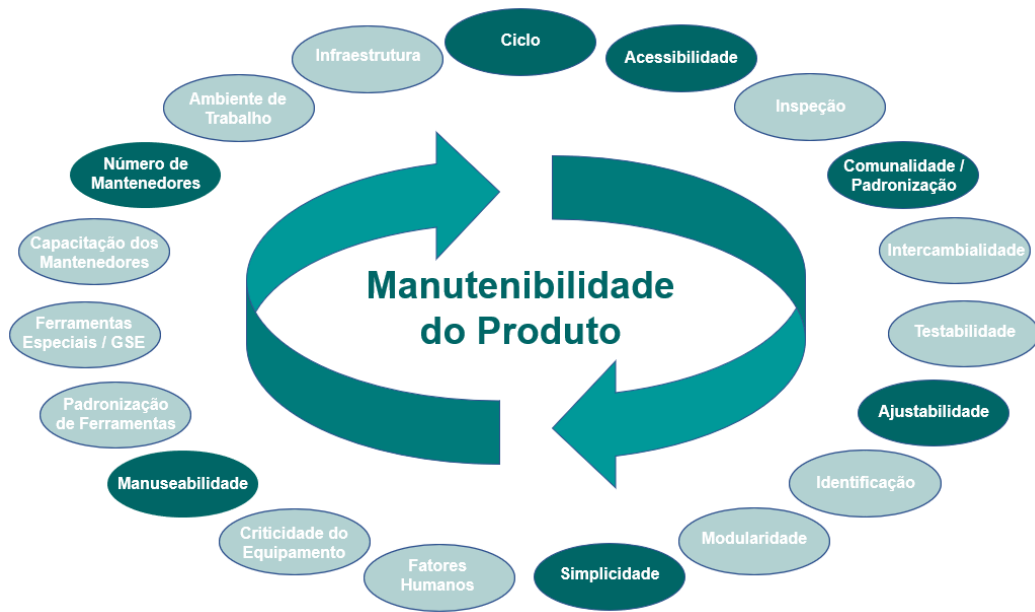


Figura 4.17 - Atributos de Manutibilidade - Estudo de Caso II (Fonte: o autor)

4.2.2 Aplicação do método TOPSIS

Foi definido que as duas propostas de modificação seriam comparadas entre si, uma vez que a proposta de modificação 1 (Novo painel traseiro) é muito parecida com a configuração atual da aeronave, única diferença é a geometria do painel traseiro. Adicionalmente, para atender ao requisito “desenvolver uma única solução a ser aplicada para a linha e para a frota”, as propostas de modificação do produto foram comparadas para cada um desses cenários.

Para registrar e diferenciar as análises de manutibilidade realizadas, os engenheiros foram identificados conforme registrado na Tabela 4-15.

Tabela 4-15 – Identificação dos Engenheiros de Manutibilidade

	Experiência como Eng. Manutibilidade
Engenheiro # 1	21 anos
Engenheiro # 4	8 anos
Engenheiro # 5	16 anos

Em conjunto os três engenheiros definiram a classificação referente aos benefícios dos atributos de manutenibilidade aplicados a esse estudo de caso, conforme apontado na Tabela 4-16.

Tabela 4-16 - Benefício dos Atributos

Atributos de Manutenibilidade	Benefício
Ciclo (tempo) (Acesso/ Reparo/ Reconfiguração/ Teste)	Minimizar
Acessibilidade	Maximizar
Comunalidade/Padronização	Minimizar
Ajustabilidade	Minimizar
Simplicidade	Maximizar
Manuseabilidade	Maximizar
Número de Mantenedores	Minimizar

A Matriz de decisão foi elaborada considerando os atributos afetados e as alternativas a serem comparadas, conforme ilustrada na Tabela 4-17.

Tabela 4-17 - Matriz de Decisão

	Ciclo	Acessibilidade	Comunalidade / Padronização	Ajustabilidade	Simplicidade	Manuseabilidade	Número de Mantenedores
Chapa Metálica							
Novo Painel							
Peso							

A aplicação do método foi feita individualmente. Adotou-se essa estratégia para verificar o entendimento da metodologia e as possíveis divergências dos resultados.

A sequência das atividades segue os passos descritos no subcapítulo 3.2.1.

4.2.3 Resultados do Estudo de Caso II

Esse subcapítulo apresenta os resultados das análises de manutenibilidade realizadas pelos engenheiros considerando os dois cenários pré-definidos: aplicação na linha de montagem e aplicação na frota (boletim de serviço).

4.2.3.1 Comparação das propostas – Aplicação na Linha de Montagem

As tabelas: Tabela 4-18, Tabela 4-19 e Tabela 4-20, mostram os pesos, as pontuações atribuídas aos índices de desempenho para os atributos de manutenibilidade e os resultados das análises.

Tabela 4-18 - Eng. Manutenibilidade #1 – Linha de Montagem

Linha	Ciclo	Acessibilidade	Comunalidade / Padronização	Ajustabilidade	Simplicidade	Manuseabilidade	Número de Mantenedores
	Chapa Metálica	4	3	3	4	3	2
Novo Painel	3	3	4	3	3	3	3
Peso	10	25	20	15	10	15	5
I_{ij}							
Chapa Metálica	0,800	0,707	0,600	0,800	0,707	0,555	0,707
Novo Painel	0,600	0,707	0,800	0,600	0,707	0,832	0,707
p_{rij}							
Chapa Metálica	0,080	0,177	0,120	0,120	0,071	0,083	0,035
Novo Painel	0,060	0,177	0,160	0,090	0,071	0,125	0,035
A+	0,060	0,177	0,120	0,090	0,071	0,125	0,035
A-	0,080	0,177	0,160	0,120	0,071	0,083	0,035
	d+	d-	Ci	Classificação			
Chapa Metálica	0,055	0,040	0,421	2			
Novo Painel	0,040	0,055	0,579	1			

Tabela 4-19 - Eng. Manutenibilidade #4 – Linha de Montagem

Linha	Ciclo	Acessibilidade	Comunalidade / Padronização	Ajustabilidade	Simplicidade	Manuseabilidade	Número de Mantenedores
	Chapa Metálica	4	4	3	4	2	3
Novo Painel	3	4	5	3	3	3	4
Peso	17	20	15	15	10	13	10
I_{ij}							
Chapa Metálica	0,800	0,707	0,514	0,800	0,555	0,707	0,707
Novo Painel	0,600	0,707	0,857	0,600	0,832	0,707	0,707
P_{rij}							
Chapa Metálica	0,136	0,141	0,077	0,120	0,055	0,092	0,071
Novo Painel	0,102	0,141	0,129	0,090	0,083	0,092	0,071
A+	0,102	0,141	0,077	0,090	0,083	0,092	0,071
A-	0,136	0,141	0,129	0,120	0,055	0,092	0,071
	d+	d-	Ci	Classificação			
Chapa Metálica	0,053	0,051	0,492	2			
Novo Painel	0,051	0,053	0,508	1			

Tabela 4-20 - Eng. Manutenibilidade #5 – Linha de Montagem

Linha	Ciclo	Acessibilidade	Comunalidade / Padronização	Ajustabilidade	Simplicidade	Manuseabilidade	Número de Mantenedores
	Chapa Metálica	4	3	2	4	2	3
Novo Painel	3	3	3	3	3	3	3
Peso	15	20	20	10	15	10	10
I_{ij}							
Chapa Metálica	0,800	0,707	0,555	0,800	0,555	0,707	0,800
Novo Painel	0,600	0,707	0,832	0,600	0,832	0,707	0,600
P_{rij}							
Chapa Metálica	0,120	0,141	0,111	0,080	0,083	0,071	0,080
Novo Painel	0,090	0,141	0,166	0,060	0,125	0,071	0,060
A+	0,090	0,141	0,111	0,060	0,125	0,071	0,060
A-	0,120	0,141	0,166	0,080	0,083	0,071	0,080
	d+	d-	Ci	Classificação			
Chapa Metálica	0,059	0,055	0,486	1			
Novo Painel	0,055	0,059	0,514	2			

4.2.3.2 Comparação das propostas – Aplicação na Frota (Boletim de Serviço)

As tabelas: Tabela 4-21, Tabela 4-22 e Tabela 4-23, mostram os pesos, as pontuações atribuídas aos índices de desempenho para os atributos de manutenibilidade e os resultados das análises.

Tabela 4-21 - Eng. Manutenibilidade #1 – Frota (Boletim de Serviço)

Frota (Boletim de Serviço)		Ciclo	Acessibilidade	Comunalidade / Padronização	Ajustabilidade	Simplicidade	Manuseabilidade	Número de Mantenedores
		Chapa Metálica	3	3	3	3	4	4
Novo Pannel	5	3	4	2	2	2	4	
Peso		10	25	20	15	10	15	5
r_{ij}								
Chapa Metálica	0,514	0,707	0,600	0,832	0,894	0,894	0,447	
Novo Pannel	0,857	0,707	0,800	0,555	0,447	0,447	0,894	
p_{rij}								
Chapa Metálica	0,051	0,177	0,120	0,125	0,089	0,134	0,022	
Novo Pannel	0,086	0,177	0,160	0,083	0,045	0,067	0,045	
A+	0,051	0,177	0,120	0,083	0,089	0,134	0,022	
A-	0,086	0,177	0,160	0,125	0,045	0,067	0,045	
		d+	d-	Ci	Classificação			
Chapa Metálica	0,042	0,099	0,704	1				
Novo Pannel	0,099	0,042	0,296	2				

Tabela 4-22 - Eng. Manutenibilidade #4 – Frota (Boletim de Serviço)

Frota (Boletim de Serviço)	Ciclo	Acessibilidade	Comunalidade / Padronização	Ajustabilidade	Simplicidade	Manuseabilidade	Número de Mantenedores
	Chapa Metálica	2	4	3	4	5	4
Novo Painel	5	3	4	3	2	2	3
Peso	17	20	15	15	10	13	10
r_{ij}							
Chapa Metálica	0,371	0,800	0,600	0,800	0,928	0,894	0,707
Novo Painel	0,928	0,600	0,800	0,600	0,371	0,447	0,707
p_{rij}							
Chapa Metálica	0,063	0,160	0,090	0,120	0,093	0,116	0,071
Novo Painel	0,158	0,120	0,120	0,090	0,037	0,058	0,071
A+	0,063	0,160	0,090	0,090	0,093	0,116	0,071
A-	0,158	0,120	0,120	0,120	0,037	0,058	0,071
	d+	d-	Ci	Classificação			
Chapa Metálica	0,030	0,134	0,817	1			
Novo Painel	0,134	0,030	0,183	2			

Tabela 4-23 - Eng. Manutenibilidade #5 – Frota (Boletim de Serviço)

Frota (Boletim de Serviço)	Ciclo	Acessibilidade	Comunalidade / Padronização	Ajustabilidade	Simplicidade	Manuseabilidade	Número de Mantenedores
	Chapa Metálica	1	3	2	3	4	4
Novo Painel	4	1	3	1	1	1	2
Peso	15	20	20	10	15	10	10
r_{ij}							
Chapa Metálica	0,243	0,949	0,555	0,949	0,970	0,970	0,707
Novo Painel	0,970	0,316	0,832	0,316	0,243	0,243	0,707
p_{rij}							
Chapa Metálica	0,036	0,190	0,111	0,095	0,146	0,097	0,071
Novo Painel	0,146	0,063	0,166	0,032	0,036	0,024	0,071
A+	0,036	0,190	0,111	0,032	0,146	0,097	0,071
A-	0,146	0,063	0,166	0,095	0,036	0,024	0,071
	d+	d-	Ci	Classificação			
Chapa Metálica	0,063	0,220	0,776	1			
Novo Painel	0,220	0,063	0,224	2			

4.2.4 Verificação das Análises – Estudo de Caso II

A proposta de incorporação da modificação do produto na frota (através de Boletim de Serviço) foi selecionada para realização da verificação dos resultados.

Segundo as análises realizadas pelos engenheiros, sete atributos de manutenibilidade foram considerados aplicáveis a essa modificação do produto (ilustrado na Figura 4.17), sendo eles: ciclo, acessibilidade, comunalidade/padronização, ajustabilidade, simplicidade, manuseabilidade e números de mantenedores. Utilizando como referência a Tabela 3-1, os atributos: ciclo, comunalidade/padronização, ajustabilidade e números de mantenedores foram classificados como atributos quantitativos e os atributos: acessibilidade, simplicidade e manuseabilidade como atributos qualitativos.

A verificação foi realizada analisando separadamente os atributos de manutenibilidade quantitativos e qualitativos.

4.2.4.1 Atributos Quantitativos

Os atributos classificados como quantitativos, Ciclo, Ajustabilidade e Número de Mantenedores, foram detalhados para cada um dos cenários analisados nos subcapítulos a seguir.

Nesse estudo de caso a Comunalidade está relacionada à quantidade de peças. Foi verificada a necessidade de 2 componentes para cada painel traseiro, seja o painel traseiro atual ou o novo painel traseiro. A chapa metálica é algo adicional à montagem atual, e requer apenas 1 novo componente. Assim, a substituição do painel traseiro totalizará 4 componentes e a inclusão da chapa metálica 3 componentes.

A ajustabilidade está relacionada ao número de pontos de fixação e os ajustes necessários para a instalação dos componentes.

As análises para os atributos Ciclo e Número de Mantenedores estão detalhadas a seguir.

Proposta 1: Novo painel traseiro.

A substituição do painel traseiro requer a remoção dos dois módulos do divã. Baseado nas tarefas de manutenção foi elaborado o MTA (*Maintenance Task Analysis*), onde foram

identificados os recursos necessários para cada uma das atividades a serem executadas, conforme ilustrados nas tabelas: Tabela 4-24, Tabela 4-25 e Tabela 4-26.

A coluna “Métrica” foi incluída ao MTA, ela contém os parâmetros a serem utilizados durante a realização das atividades do experimento, conforme apresentado no subcapítulo 4.2.4.2.3.

Tabela 4-24 - MTA - Substituição do Painel Traseiro

Atividades	Quantidade Componentes	Quantidade Mantenedores	GSE	Dispositivo de Fixação	Ferramentas	Métrica
Remover a almofada inferior do encosto do divã dianteiro	1	1	n/a	Velcro	Manual	n/a
Remover a almofada do assento do divã dianteiro	1	1	n/a	Velcro	Manual	n/a
Remover o painel de fechamento do assento do divã dianteiro	6	1	n/a	parafuso	Chave Philips ou Roquete	8 voltas ~ 18 movimentos
Desacoplar os conectores elétricos	2	1	n/a	conector	Manual	n/a
Desaparafusar os pontos de fixação do assento no trilho	8	1	n/a	parafuso	Roquete	7 voltas ~ 18 movimentos
Remover o módulo do divã dianteiro	1	2	n/a	n/a	Manual	18 kg
Remover a almofada inferior do encosto do divã traseiro	1	1	n/a	Velcro	Manual	n/a
Remover a almofada do assento do divã traseiro	1	1	n/a	Velcro	Manual	n/a
Remover o painel de fechamento do assento do divã traseiro	6	1	n/a	parafuso	Chave Philips ou Roquete	8 voltas ~ 18 movimentos
Desacoplar os conectores elétricos	2	1	n/a	conector	Manual	1/4 volta
Desaparafusar os pontos de fixação do assento no trilho	8	1	n/a	parafuso	Roquete	7 voltas ~ 18 movimentos
Remover o módulo do divã traseiro	1	2	n/a	n/a	Manual	18 kg
Remover painel traseiro do divã surround	6	2	n/a	parafuso	Chave Philips ou Roquete	9 voltas ~ 21 movimentos
Instalar novo painel traseiro do divã surround	6	2	n/a	parafuso	Chave Philips ou Roquete	9 voltas ~ 21 movimentos
Reposicionar o módulo do divã dianteiro	1	2	n/a	n/a	Manual	18 kg
Torquear os parafusos	8	1	n/a	parafuso	Torquímetro	7 voltas ~ 18 movimentos
Acoplar os conectores elétricos	2	1	n/a	conector	Manual	1/4 volta
Avaliar funcionalidade do cinto segurança e mangueira airbag	n/a	1	n/a	n/a	Visual / Manual	n/a
Reinstalar o painel de fechamento do assento do divã dianteiro	6	1	n/a	parafuso	Chave Philips ou Roquete	8 voltas ~ 18 movimentos
Reinstalar a almofada do assento do divã dianteiro	1	1	n/a	Velcro	Manual	n/a
Reinstalar a almofada inferior do encosto do divã dianteiro	1	1	n/a	Velcro	Manual	n/a
Reposicionar o módulo do divã traseiro	1	2	n/a	n/a	Manual	18 kg
Torquear os parafusos	8	1	n/a	parafuso	Torquímetro	7 voltas ~ 18 movimentos
Acoplar os conectores elétricos	2	1	n/a	conector	Manual	1/4 volta
Reinstalar o painel de fechamento do assento do divã traseiro	6	1	n/a	parafuso	Chave Philips ou Roquete	8 voltas ~ 18 movimentos
Reinstalar a almofada do assento do divã traseiro	1	1	n/a	Velcro	Manual	n/a
Reinstalar a almofada inferior do encosto do divã traseiro	1	1	n/a	Velcro	Manual	n/a

Proposta 2: Chapa Metálica.

A inclusão da chapa metálica requer a remoção de apenas um dos módulos do divã. Baseado nas tarefas de manutenção foi elaborado o MTA, onde foram identificados os recursos necessários para cada uma das atividades a serem executadas, conforme indicado nas tabelas: Tabela 4-27 e Tabela 4-28.

A coluna “Métrica” foi incluída ao MTA, ela contém os parâmetros a serem utilizados durante a realização das atividades do experimento.

Tabela 4-27 - MTA Instalação Chapa Metálica

Atividades	Quantidade Componentes	Quantidade Mantenedores	GSE	Dispositivo de fixação	Ferramentas	Métrica
Remover a almofada inferior do encosto do divã dianteiro	1	1	n/a	Velcro	Manual	n/a
Remover a almofada do assento do divã dianteiro	1	1	n/a	Velcro	Manual	n/a
Remover o painel de fechamento do assento do divã dianteiro	6	1	n/a	parafuso	Chave Philips ou Roquete	8 voltas ~ 18 movimentos
Desacoplar os conectores elétricos	2	1	n/a	conector	Manual	n/a
Desaparafusar os pontos de fixação do assento no trilho	8	1	n/a	parafuso	Roquete	7 voltas ~ 18 movimentos
Remover o módulo do divã dianteiro	1	2	n/a	n/a	Manual	18 kg
Instalar a chapa metálica	2	1	n/a	parafuso	Chave Philips ou Roquete	8 voltas ~ 18 movimentos
Reposicionar o módulo do divã dianteiro	1	2	n/a	n/a	Manual	18 kg
Torquear os parafusos	8	1	n/a	parafuso	Torquímetro	7 voltas ~ 18 movimentos
Acoplar os conectores elétricos	2	1	n/a	conector	Manual	1/4 volta
Avaliar a funcionalidade e a cinemática do cinto e mangueira do airbag	n/a	1	n/a	n/a	Visual / Manual	n/a
Reinstalar o painel de fechamento do assento do divã dianteiro	6	1	n/a	parafuso	Chave Philips ou Roquete	8 voltas ~ 18 movimentos
Reinstalar a almofada do assento do divã dianteiro	1	1	n/a	Velcro	Manual	n/a
Reinstalar a almofada inferior do encosto do divã dianteiro	1	1	n/a	Velcro	Manual	n/a

A proposta de modificação que inclui a chapa metálica requer a desmontagem de apenas um dos módulos do divã, demandando assim um menor número de atividades e consequentemente ajustes entre elas.

O ciclo e o número de mantenedores estão informados para cada uma das atividades descritas no MTA ilustrado na Tabela 4-27.

4.2.4.2 Atributos Qualitativos

Os experimentos desenvolvidos visaram capturar as percepções dos voluntários referentes aos atributos classificados como qualitativos, sendo eles: acessibilidade, simplicidade e manuseabilidade.

Ao final dos experimentos os voluntários registraram suas percepções, experiências e comentários nos questionários. Os voluntários foram instruídos a avaliarem as percepções relacionadas às atividades realizadas. As percepções e experiências relacionadas ao uso de realidade virtual não foram abordadas nesses ensaios.

4.2.4.2.1 Voluntários

Foram selecionados 7 voluntários para a realização dos experimentos, apenas 2 deles não tinham experiências em montagens aeronáuticas.

Cada voluntário executou as atividades de manutenção referentes às duas propostas de modificação do produto.

A Tabela 4-29 lista a relação dos usuários, a sequência da realização dos experimentos, a experiência dos voluntários em montagens de aeronaves e a experiência dos voluntários em aplicações de realidade virtual.

Tabela 4-29 - Sequência da realização dos experimentos

	Proposta 1 Chapa Metálica	Proposta 2 Substituição Painel Traseiro	Experiência com montagens de interiores de aeronaves	Experiência em aplicações VR
Voluntário 1	1	2	Sim	Não
Voluntário 2	2	1	Sim	Não
Voluntário 3	1	2	Não	Não
Voluntário 4	2	1	Sim	Não
Voluntário 5	1	2	Sim	Não
Voluntário 6	2	1	Não	Não
Voluntário 7	1	2	Sim	Não

Como nenhum dos voluntários tinha experiência em aplicações com realidade virtual, foi elaborado um treinamento para ambientá-los com a utilização dos equipamentos (óculos, controle e ambiente virtual) e familiarizá-los com as operações a serem realizadas durante os experimentos. O treinamento está ilustrado no Apêndice A – Treinamento VR.

Os voluntários do grupo 1 realizaram inicialmente as tarefas de manutenção da proposta 1 (inclusão da chapa metálica) e posteriormente as tarefas de manutenção da proposta 2 (substituição do painel traseiro). Os voluntários do grupo 2 realizaram os experimentos na sequência contrária.

4.2.4.2.2 Familiarização com as atividades a serem executadas.

Após a realização do treinamento, os voluntários foram familiarizados com os cenários a serem ensaiados. Considerando as propostas de modificação do produto apresentadas no estudo de caso II, foi desenvolvido um material ilustrando a sequência das atividades a serem realizadas. As sequências das atividades dos experimentos foram baseadas nos MTA elaborados e ilustrados nas tabelas: Tabela 4-24 a Tabela 4-28.

Para cada atividade era detalhada a operação, os componentes afetados e os movimentos a serem executados, conforme ilustrado no Apêndice B – Familiarização com as atividades a serem realizadas.

Esse mesmo material foi utilizado para instruir os voluntários durante a realização dos experimentos. O responsável pelo experimento orientava o voluntário seguindo as informações contidas nesse material.

4.2.4.2.3 Execução do Experimento

Os experimentos foram realizados aplicando recursos de realidade virtual. O ambiente virtual foi elaborado utilizando como referência os modelos 3D referentes às propostas de modificação do produto.

Juntamente com os modelos 3D, foi criado um modelo físico em escala 1:1, conforme ilustrado na Figura 4.18. O modelo físico, em papelão, foi construído com o objetivo de tornar o experimento mais representativo, incorporando algumas barreiras físicas a serem consideradas durante a realização dos experimentos.



Figura 4.18 - Modelo físico da estrutura do divã (Fonte: o autor).

A Figura 4.19 ilustra todo o local do ensaio, bem como a localização dos componentes e equipamentos utilizados.

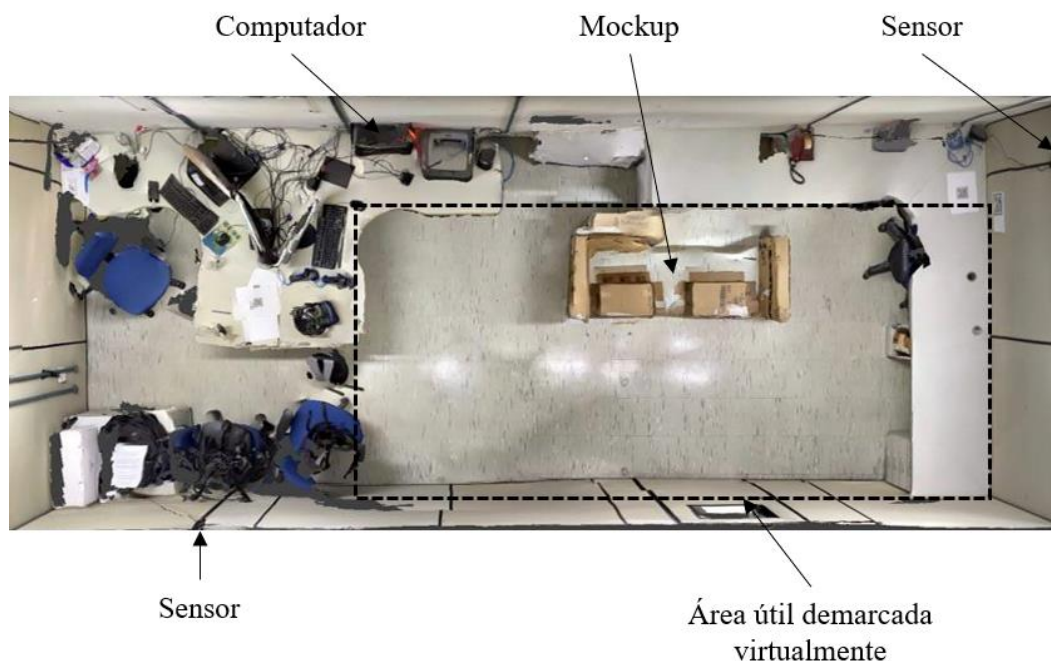


Figura 4.19 - Local do Ensaio (Fonte: o autor).

O primeiro passo foi definir o local para posicionar o modelo físico dentro do laboratório. Foram considerados o alcance dos óculos, a movimentação necessária dos voluntários e a cobertura dos sensores.

Após a definição do posicionamento, foi necessário realizar a calibração da localização do modelo físico com o modelo 3D. Inicialmente foi realizado o posicionamento aproximado do modelo 3D em relação à localização do modelo físico. Na sequência foram feitos ajustes no posicionamento do modelo 3D. Uma pessoa equipada com os óculos e controle verificava se o que era visualizado nos óculos coincidia com o modelo físico, e orientava a outra pessoa no ajuste a ser feito (processo de rastreamento dos sensores para ambientes do sistema VIVE PRO).

As figuras: Figura 4.20 e Figura 4.21, mostram dois voluntários realizando as atividades dos experimentos.



Figura 4.20 - Voluntário #1 - Execução Experimento (Fonte: o autor).



Figura 4.21 - Voluntário #7 - Execução Experimento (Fonte: o autor).

As figuras: Figura 4.22, Figura 4.23 e Figura 4.24, ilustram a visão do voluntário durante a realização do experimento.

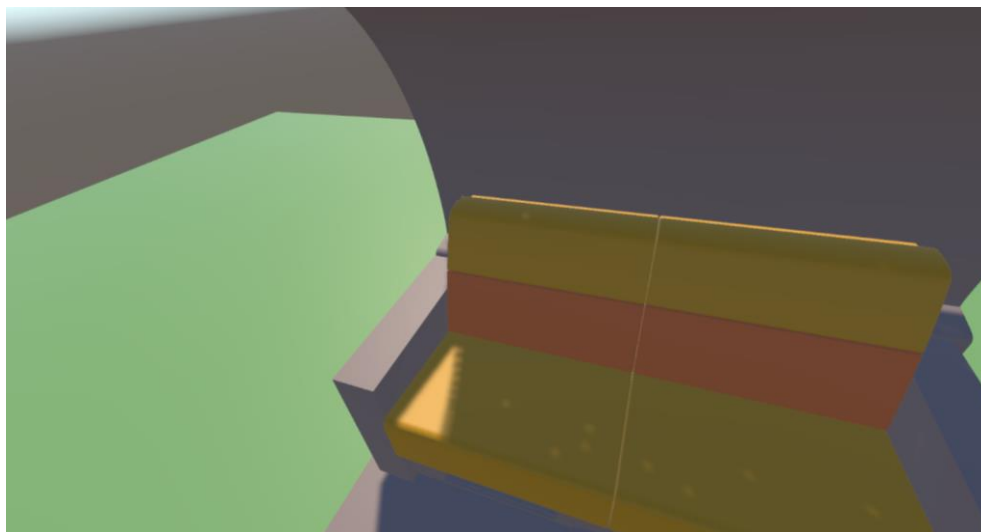
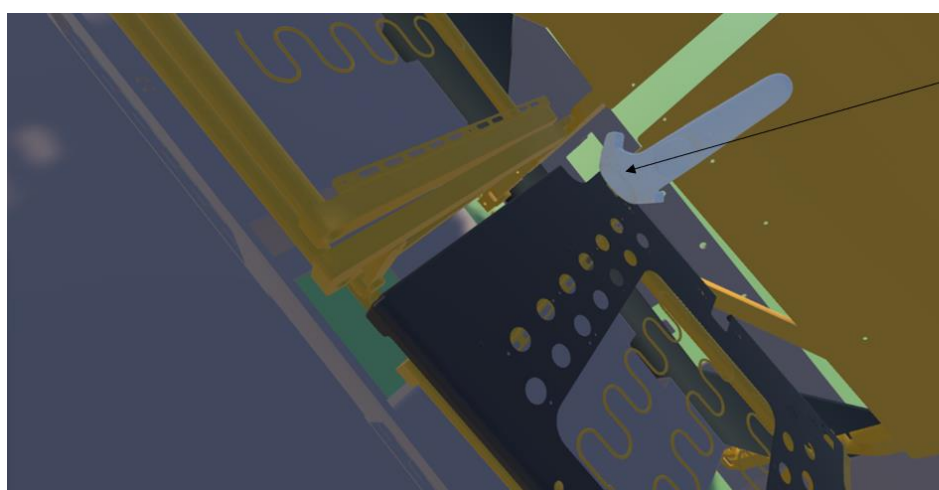
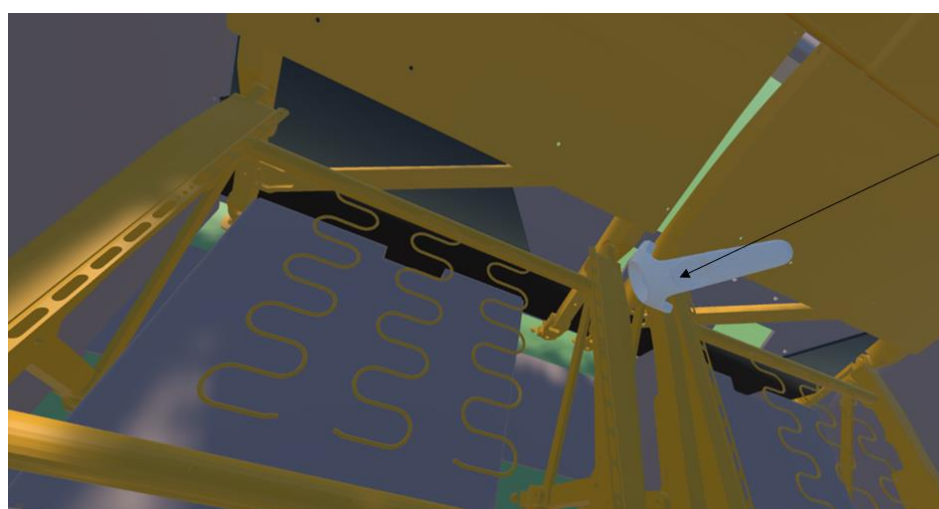


Figura 4.22 - Visão do voluntário durante a realização do experimento (Fonte: o autor).



Controle
(*HTC Vive Pro
Controller*)

Figura 4.23 - Visão do voluntário durante a realização do experimento (Fonte: o autor).



Controle
(*HTC Vive Pro
Controller*)

Figura 4.24 - Visão do voluntário durante a realização do experimento (Fonte: o autor).

4.2.4.2.4 Questionário

O questionário foi elaborado para registrar as percepções e comentários dos voluntários a respeito dos atributos de manutenibilidade: acessibilidade, simplicidade e manuseabilidade.

Após a realização dos dois experimentos, os voluntários preencheram os questionários comparando as duas propostas de modificação do produto. Cada voluntário foi instruído para avaliar as percepções relacionadas às atividades executadas. Foi utilizada uma escala de 5 pontos (péssimo, ruim, regular, bom e ótimo) para indicar as percepções dos voluntários em relação aos itens analisados. A Figura 4.25 ilustra o questionário utilizado.

As percepções e experiências relacionadas ao uso de realidade virtual não foram abordadas nesse trabalho.

Nome:		Data:	
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>
Experimento	Instalação chapa metálica <input type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input type="checkbox"/>	

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Houve alguma dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Figura 4.25 - Questionário Experimento (Fonte: o autor).

Os questionários preenchidos pelos voluntários estão anexados no Apêndice C – Questionário - Experimento.

4.2.4.2.5 Resultados dos Experimentos

Os resultados dos experimentos estão apresentados na Tabela 4-30. A Figura 4.26 ilustra as cores utilizadas para representar as avaliações que foram registradas nos questionários.



Figura 4.26 - Codificação da Escala (Fonte: o autor).

Tabela 4-30 - Resultado do Experimento

		Acessibilidade				Simplicidade			Manuseabilidade
		Visibilidade	Alcance	Limitações ergonômicas	Movimentação	Facilidade para executar as atividades	Montagem intuitiva	Quantidade de tarefas	
Chapa Metálica	Voluntário 1	Ótimo	Bom	Ótimo	Ótimo	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo
Substituição Painel traseiro	Voluntário 1	Ótimo	Bom	Regular	Regular	Regular	Ótimo	Ruim	Regular
Chapa Metálica	Voluntário 2	Ruim	Ruim	Regular	Bom	Bom	Bom	Bom	Regular
Substituição Painel traseiro	Voluntário 2	Ruim	Ruim	Ruim	Péssimo	Ruim	Regular	Péssimo	Ruim
Chapa Metálica	Voluntário 3	Ótimo	Bom	Regular	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Bom	Ótimo
Substituição Painel traseiro	Voluntário 3	Ótimo	Bom	Regular	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Regular	Ótimo
Chapa Metálica	Voluntário 4	Ótimo	Bom	Bom	Bom	Bom	Regular	Bom	Bom
Substituição Painel traseiro	Voluntário 4	Ótimo	Bom	Regular	Bom	Regular	Regular	Ruim	Bom
Chapa Metálica	Voluntário 5	Ótimo	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Substituição Painel traseiro	Voluntário 5	Ótimo	Bom	Bom	Bom	Regular	Bom	Regular	Regular
Chapa Metálica	Voluntário 6	Ótimo	Bom	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Bom
Substituição Painel traseiro	Voluntário 6	Ótimo	Bom	Regular	Regular	Regular	Bom	Regular	Regular
Chapa Metálica	Voluntário 7	Bom	Ótimo	Bom	Bom	Bom	Ótimo	Bom	Bom
Substituição Painel traseiro	Voluntário 7	Bom	Ótimo	Bom	Bom	Bom	Ótimo	Bom	Bom

Os dados capturados demonstram que os 7 voluntários atribuíram notas iguais ou melhores para a proposta “chapa metálica”. Alguns voluntários reportaram que a desmontagem e a montagem dos módulos do divã são as atividades mais críticas, pois requerem maior número de atividades, acessos mais restritos e maior tempo para a execução das atividades.

4.2.5 Discussões dos Resultados referentes ao Estudo de Caso II

Este subcapítulo apresenta as discussões referentes aos resultados das análises de manutenibilidade realizadas para o estudo de caso II, onde as duas propostas de modificação do produto foram avaliadas considerando os cenários “aplicação da modificação na linha de montagem” e “aplicação da modificação na frota (Boletim de serviço)”.

4.2.5.1 Propostas de modificações do produto – Aplicação na Linha de Montagem

Este subcapítulo apresenta os resultados das análises de manutenibilidade realizadas para o estudo de caso II, onde foram avaliadas as propostas de modificação do produto para o cenário “aplicação da modificação na linha de montagem”.

A aplicação do método TOPSIS foi realizada individualmente. Três engenheiros com experiência na área de engenharia de manutenibilidade realizaram as análises.

A Tabela 4-31 mostra os pesos atribuídos aos atributos de manutenibilidade aplicados às propostas de modificação do estudo de caso II.

Tabela 4-31 - Atribuição dos Pesos para os Atributos

Engenheiro Manutenibilidade	Ciclo	Acessibilidade	Comunalidade / Padronização	Ajustabilidade	Simplicidade	Manuseabilidade	Número de Mantenedores
#1	10	25	20	15	10	15	5
#2	17	20	15	15	10	13	10
#3	15	20	20	10	15	10	10

Nota-se que os 3 engenheiros atribuíram as maiores pontuações para o atributo acessibilidade, conforme destacado na tabela pela cor azul, e as menores pontuações para o atributo número de mantenedores, conforme destacado pela cor verde. Os demais atributos apresentam diferenças, porém sem grandes variações.

A Tabela 4-32 apresenta as pontuações atribuídas pelos engenheiros aos índices de desempenho dos atributos de manutenibilidade. As células destacadas em verde escuro indicam que os três engenheiros atribuíram as mesmas pontuações; as células destacadas em verde claro indicam que as pontuações foram diferentes, porém favoráveis à mesma proposta; as células destacadas em amarelo claro indicam que houve diferenças entre as pontuações, porém são iguais ou favoráveis a pontuação adotada por um dos engenheiros; e as células destacadas em amarelo escuro indicam que o engenheiro atribuiu pontuação divergente aos demais engenheiros.

Tabela 4-32 - Índice de desempenho dos atributos de manutenibilidade

Engenheiro Manutenibilidade	Aplicação na Linha de Montagem	Ciclo	Acessibilidade	Comunalidade / Padronização	Ajustabilidade	Simplicidade	Manuseabilidade	Número de Mantenedores
#1	Chapa Metálica	4	3	3	4	3	2	3
	Novo Painel	3	3	4	3	3	3	3
#4	Chapa Metálica	4	4	3	4	2	3	4
	Novo Painel	3	4	5	3	3	3	4
#5	Chapa Metálica	4	3	2	4	2	3	4
	Novo Painel	3	3	3	3	3	3	3

Para esse caso, verifica-se que houve pouca variação entre as pontuações atribuídas pelos engenheiros de manutenibilidade (células identificadas em amarelo escuro).

A Tabela 4-33 apresenta os resultados das análises de manutenibilidade realizadas para o estudo de caso II, onde as duas propostas de modificação do produto foram avaliadas considerando o cenário “linha de montagem”. As células destacadas na tabela indicam as opções mais recomendadas resultantes das análises realizadas pelos engenheiros.

Tabela 4-33 - Resultados do Estudo de Caso II – Aplicação na Linha de Montagem

Estudo de Caso II		MÉTODO PROPOSTO		
Cenário	Propostas	Eng. (#1)	Eng. (#4)	Eng. (#5)
Linha	Chapa Metálica	0,421	0,492	0,486
	Novo Painel	0,579	0,508	0,514

As análises não apresentaram divergências entre os resultados encontrados. Todas as análises foram favoráveis à proposta “novo painel traseiro” para o cenário “aplicação na modificação na linha de montagem”.

O método TOPSIS indica que a melhor proposta é aquela que apresenta o maior valor do coeficiente de proximidade, ou seja, é aquela que mais se aproxima da solução ideal positiva. Nenhuma das propostas apresentou o valor máximo para o coeficiente de proximidade. Isso é reflexo das pontuações atribuídas aos índices de desempenho dos atributos de manutenibilidade.

4.2.5.2 Propostas de modificações do produto – Aplicação na Frota (Boletim de Serviço)

Este subcapítulo apresenta os resultados das análises de manutenibilidade realizadas para o estudo de caso II, onde foram avaliadas as propostas de modificação do produto para o cenário “aplicação da modificação na frota”.

Esse cenário foi selecionado para realização das verificações das pontuações atribuídas pelos engenheiros #1, #4 e #5 aos índices de desempenho dos atributos de manutenibilidade aplicáveis às modificações de produto, referência Figura 4.17.

As análises foram realizadas verificando separadamente os atributos de manutenibilidade quantitativos e qualitativos. As verificações dos atributos quantitativos (ciclo, comunalidade/padronização, ajustabilidade e número de mantenedores) consideraram as análises realizadas no subcapítulo 4.2.4.1, conforme resumo apresentado na Tabela 4-34. As pontuações dos índices de desempenho atribuídos pelos engenheiros foram extraídas do subcapítulo 4.2.3.2 e estão apresentadas na Tabela 4-35.

Tabela 4-34 - Análise Quantitativa dos Atributos

Aplicação na Frota (Boletim de Serviço)	Ciclo (Tempo - Minutos)	Comunidade / Padronização (Quantidade de Componentes)	Ajustabilidade	Número de Mantenedores
Chapa Metálica	53	3	4	2
Substituição Painel traseiro	104	4	3	2

Tabela 4-35 - Índices de Desempenho dos Atributos Quantitativos

Engenheiro Manutibilidade	Aplicação na Frota (Boletim de Serviço)	Ciclo	Comunidade / Padronização	Ajustabilidade	Número de Mantenedores
#1	Chapa Metálica	3	3	3	2
	Novo Painel	5	4	2	4
#4	Chapa Metálica	2	3	4	3
	Novo Painel	5	4	3	3
#5	Chapa Metálica	1	2	3	2
	Novo Painel	4	3	1	2

Comparando os valores apresentados nas tabelas: Tabela 4-34 e Tabela 4-35, observa-se que houve divergência apenas na pontuação do índice de desempenho do atributo Número de Mantenedores realizada pelo Engenheiro #1. As pontuações atribuídas aos índices de desempenho dos demais atributos estão coerentes com os valores encontrados nas análises quantitativas.

A verificação dos atributos qualitativos, acessibilidade, simplicidade e manuseabilidade, consideraram os resultados dos experimentos realizados, referência

subcapítulo 4.2.4.2.5, conforme resumo apresentado na Tabela 4-37. As pontuações dos índices de desempenho atribuídos pelos avaliadores foram extraídas do subcapítulo 4.2.3.2 e estão apresentadas na Tabela 4-36.

Tabela 4-36 - Índice de Desempenho dos Atributos Qualitativos

Engenheiro Manutenibilidade	Aplicação na Frota (Boletim de Serviço)	Acessibilidade	Simplicidade	Manuseabilidade
#1	Chapa Metálica	3	4	4
	Novo Painel	3	2	2
#4	Chapa Metálica	4	5	4
	Novo Painel	3	2	2
#5	Chapa Metálica	3	4	4
	Novo Painel	1	1	1

Os experimentos foram realizados por 7 voluntários, a Tabela 4-37 apresenta os resultados encontrados. Conforme ilustrado no questionário, referência Figura 4.25, os atributos acessibilidade e simplicidade foram desmembrados e apresentaram mais de um item a ser avaliado durante os experimentos. Para esses atributos, os valores apresentados são as médias das pontuações atribuídas para cada item avaliado. O atributo manuseabilidade apresentava apenas um item a ser avaliado, nesse caso as pontuações apresentadas na tabela são as mesmas registradas nos questionários.

Tabela 4-37 - Resumo do Resultado dos Experimentos

Aplicação da modificação na Frota (Boletim de Serviço)		Acessibilidade	Simplicidade	Manuseabilidade
Chapa Metálica	Voluntário 1	4,75	4,67	5
Substituição Painel traseiro		3,75	3,33	3
Chapa Metálica	Voluntário 2	2,75	4,00	3
Substituição Painel traseiro		1,75	1,00	2
Chapa Metálica	Voluntário 3	4,25	4,67	5
Substituição Painel traseiro		4,25	4,33	5
Chapa Metálica	Voluntário 4	4,25	3,67	4
Substituição Painel traseiro		4,00	2,67	4
Chapa Metálica	Voluntário 5	4,25	4,00	4
Substituição Painel traseiro		4,25	3,33	3
Chapa Metálica	Voluntário 6	4,25	5,00	4
Substituição Painel traseiro		3,75	3,33	3
Chapa Metálica	Voluntário 7	4,25	4,33	4
Substituição Painel traseiro		3,25	2,67	3

Os voluntários 3, 4 e 5 tiveram percepções diferentes em relação aos demais voluntários em relação aos atributos manuseabilidade e acessibilidade. Entretanto, comparando os valores apresentados nas tabelas: Tabela 4-37 e Tabela 4-36, observa-se que as pontuações atribuídas aos índices de desempenho dos atributos qualitativos estão coerentes com as percepções capturadas pela maioria dos voluntários.

Os resultados capturados pelos experimentos adicionados às análises dos atributos quantitativos demonstram que as pontuações atribuídas pelos engenheiros aos índices de desempenho dos atributos de manutenibilidade estão concordantes com as análises realizadas dos atributos quantitativos e qualitativos. Isso reforça que as experiências dos avaliadores somados à utilização de modelos 3D das propostas de modificação do produto são recursos necessários para elaborar os dados de entrada para serem utilizados no método TOPSIS.

A seguir serão realizadas as discussões referentes aos resultados das análises de manutenibilidade para o estudo de caso II, onde foram avaliadas as propostas de modificação do produto para o cenário “aplicação da modificação na frota”.

A Tabela 4-38 mostra os pesos atribuídos aos atributos de manutenibilidade.

Tabela 4-38 - Atribuição dos Pesos para os Atributos

Engenheiro Manutenibilidade	Ciclo	Acessibilidade	Comunalidade / Padronização	Ajustabilidade	Simplicidade	Manuseabilidade	Número de Mantenedores
#1	10	25	20	15	10	15	5
#2	17	20	15	15	10	13	10
#3	15	20	20	10	15	10	10

Nota-se que os 3 engenheiros atribuíram as maiores pontuações para o atributo acessibilidade, conforme destacado na tabela pela cor azul, e as menores pontuações para o atributo número de mantenedores, conforme destacado pela cor verde. Os demais atributos apresentam diferenças, porém sem grandes variações.

As tabelas: Tabela 4-35 e Tabela 4-36, apresentam as pontuações atribuídas pelos engenheiros aos índices de desempenho dos atributos de manutenibilidade. As células destacadas em verde claro indicam que as pontuações foram diferentes, porém favoráveis à mesma proposta; as células destacadas em amarelo claro indicam que houve diferenças entre as pontuações, porém são iguais ou favoráveis a pontuação adotada por um dos engenheiros; e as células destacadas em amarelo escuro indicam que o engenheiro atribuiu pontuação divergente aos demais engenheiros.

A Tabela 4-39 apresenta os resultados das análises de manutenibilidade realizadas para o estudo de caso II, onde as duas propostas de modificação do produto foram avaliadas considerando o cenário “aplicação da modificação na frota”. As células destacadas na tabela indicam as opções mais recomendadas resultantes das análises realizadas pelos engenheiros.

Tabela 4-39 - Resultados do Estudo de Caso II – Aplicação na Frota

Estudo de Caso II		MÉTODO PROPOSTO		
Cenário	Propostas	Eng. (#1)	Eng. (#4)	Eng. (#5)
Frota	Chapa Metálica	0,704	0,817	0,776
	Novo Painel	0,296	0,183	0,224

As análises não apresentaram divergências nos resultados encontrados. Todas as análises foram favoráveis à proposta “inclusão da chapa metálica” para o cenário “aplicação da modificação na frota”.

5 Análise de Manutenibilidade - Métodos Existentes

Este Capítulo apresenta os resultados das análises de manutenibilidade realizadas utilizando os métodos propostos por Abdullah, *et al.*, (2006) e Blanchard *et al.*, (1995). Dentre os métodos avaliados e analisados no Capítulo 2.2 - Revisão da Literatura, esses dois métodos não apresentaram restrições quanto à aplicação e foram identificados como aceitáveis para a realização da análise de manutenibilidade.

5.1 Critérios de Montagem – (ABDULLAH *et al.*, 2006)

Essa metodologia aborda os atributos de manutenibilidade envolvidos na montagem do produto, sendo eles: Criticidade do componente, Montagem, Ferramentas, Prendedores e Acessibilidade.

Devido aos dados de entrada e ao método de cálculo proposto nessa metodologia, os 3 engenheiros realizaram as análises de manutenibilidade em conjunto.

5.1.1 Estudo de Caso I

Dentre os atributos abordados nessa metodologia, os engenheiros identificaram como afetados os seguintes atributos de manutenibilidade:

- Ciclo
- Montagem
- Acessibilidade

As tabelas: Tabela 5-1, Tabela 5-2 e Tabela 5-3, apresentam os resultados das análises.

Tabela 5-1 - Estudo de Caso I – Configuração Inicial

Condição Inicial	Atividades	MR (Maintenance Rate)	CP (Critical Path)	Prendedor	Pontuação Prendedor	Número de componentes	Ar (Total Assembly Score)	Md (Maintainability Degree)
	Remover prateleira	2	1	Travas encaixe	4	2	8	0,250
	Desmontar painel de fechamento	1	2	Parafusos	10	4	48	0,021
	Soltar braçadeiras	1	3	Braçadeira	4	2	56	0,018
	Desconectar cablagem	1	4	Conector elétrico	8	3	80	0,013
	Remover equipamento	3	5	Parafusos	10	4	120	0,025
Índice Manutenibilidade								0,326

Tabela 5-2 - Estudo de Caso I – Proposta 1

Proposta 1	Atividades	MR (Maintenance Rate)	CP (Critical Path)	Prendedor	Pontuação Prendedor	Número de componentes	Ar (Total Assembly Score)	Md (Maintainability Degree)
	Remover prateleira	2	1	Travas encaixe	4	2	8	0,250
	Desmontar painel de fechamento	1	2	Parafusos	10	4	48	0,021
	Soltar braçadeiras	1	3	Braçadeira	4	2	56	0,018
	Desconectar cablagem	1	4	Conector elétrico	8	3	80	0,013
	Remover equipamento	3	5	Parafusos	10	4	120	0,025
	Índice Manutenibilidade							

Tabela 5-3 - Estudo de Caso I – Proposta 2

Proposta 2	Atividades	MR (Maintenance Rate)	CP (Critical Path)	Prendedor	Pontuação Prendedor	Número de componentes	Ar (Total Assembly Score)	Md (Maintainability Degree)
	Remover prateleira 1	2	1	travas encaixe	4	2	8	0,250
	Remover prateleira 2	2	2	Parafusos	4	2	16	0,125
	Desmontar painel de fechamento 1	1	3	travas encaixe	10	4	56	0,018
	Desmontar painel de fechamento 2	1	4	Parafusos	10	4	96	0,010
	Soltar braçadeiras	1	5	braçadeira	4	2	104	0,010
	Desconectar cablagem	1	6	Conector elétrico	8	3	128	0,008
	Remover equipamento	3	7	parafusos	10	4	168	0,018
Índice Manutenibilidade								0,439

5.1.2 Estudo de Caso II

Os engenheiros identificaram como afetados os seguintes atributos de manutenibilidade:

- Ciclo
- Montagem
- Acessibilidade

Essa metodologia não foi aplicada ao cenário “linha de montagem”, a proposta de modificação “novo painel traseiro” é muito parecida com a configuração atual da aeronave. Neste caso, os impactos para a manutenibilidade serão os mesmos a serem avaliados para o cenário “modificação para a frota”, onde serão avaliadas as propostas: substituição do novo painel traseiro e a inclusão da chapa metálica.

As tabelas: Tabela 5-4 e Tabela 5-5, apresentam os resultados das análises.

Tabela 5-4 - Estudo de Caso II – Instalação Chapa Metálica

Proposta: Chapa Metálica	Atividades	MR (Maintenance Rate)	CP (Critical Path)	Prendedor	Pontuação Prendedor	Número de componentes	Ar (Total Assembly Score)	Md (Maintainability Degree)
	Remover a almofada inferior do encosto do divã dianteiro	1	1	Travas encaixe	4	1	4	0,250
	Remover a almofada do assento do divã dianteiro	1	2	Travas encaixe	4	1	8	0,125
	Remover o painel de fechamento do assento do divã dianteiro	1	3	Parafusos	10	6	68	0,015
	Desacoplar os conectores elétricos	2	4	Conector elétrico	8	1	76	0,026
	Desaparafusar os pontos de fixação do divã dianteiro	3	5	Parafusos	10	8	156	0,019
	Instalar Chapa Metálica	1	6	Parafusos	10	2	176	0,006
	Índice Manutenibilidade							0,441

Tabela 5-5 - Estudo de Caso II – Substituição Painel traseiro

Proposta: Painel Traseiro	Atividades	MR (Maintenance Rate)	CP (Critical Path)	Prendedor	Pontuação Prendedor	Número de componentes	Ar (Total Assembly Score)	Md (Maintainability Degree)
	Remover a almofada inferior do encosto do divã dianteiro	1	1	Travas encaixe	4	1	4	0,250
	Remover a almofada do assento do divã dianteiro	1	2	Travas encaixe	4	1	8	0,125
	Remover o painel de fechamento do assento do divã dianteiro	1	3	Parafusos	10	6	68	0,015
	Desacoplar os conectores elétricos	2	4	Conector elétrico	8	1	76	0,026
	Desaparafusar os pontos de fixação do divã dianteiro	3	5	Parafusos	10	8	156	0,019
	Remover a almofada inferior do encosto do divã traseiro	1	6	Travas encaixe	4	1	160	0,006
	Remover a almofada do assento do divã traseiro	1	7	Travas encaixe	4	1	164	0,006
	Remover o painel de fechamento do assento do divã traseiro	1	8	Parafusos	10	6	224	0,004
	Desacoplar os conectores elétricos	2	9	Conector elétrico	8	1	232	0,009
	Desaparafusar os pontos de fixação do divã traseiro	3	10	Parafusos	10	8	312	0,010
	Remover painel traseiro do divã surround	1	11	Parafusos	10	6	372	0,003
	Instalar novo painel traseiro do divã surround	1	12	Parafusos	10	6	432	0,002
	Índice Manutenibilidade							0,475

5.2 Trade-off - (BLANCHARD *et al.*, 1995)

5.2.1 Estudo de Caso I

Dos atributos abordados por esse método, os engenheiros identificaram em conjunto os seguintes atributos como aplicáveis ao estudo de caso I:

- Ciclo
- Acessibilidade
- Testabilidade
- Identificação
- Fatores Humanos
- Manuseabilidade
- Número de Mantenedores

Após a definição dos atributos afetados a aplicação do restante do método foi realizada individualmente. Adicionalmente, não foi identificada a necessidade de incluir uma pontuação para o fator redução de risco.

As tabelas: Tabela 5-6, Tabela 5-7, Tabela 5-8, Tabela 5-9, Tabela 5-10 e Tabela 5-11, apresentam os resultados das análises de manutenibilidade.

Tabela 5-6 - Estudo de Caso I - Eng. #1 - Proposta 1 x Configuração Inicial

	Peso	Proposta 1		Config Inicial	
		Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
Ciclo	25	3	75	5	125
Acessibilidade	25	2	50	4	100
Testabilidade	5	2	10	4	20
Identificação	5	2	10	4	20
Fatores Humanos	15	2	30	4	60
Manuseabilidade	10	1	10	4	40
Número de Mantenedores	15	3	45	3	45
Subtotal			230		410
Fator Risco			1		1
Total Geral			230		410

Tabela 5-7 - Estudo de Caso I - Eng. #1 - Proposta 2 x Configuração Inicial

Eng Manutibilidade (#1)	Peso	Proposta 2		Config Inicial	
		Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
Ciclo	25	3	75	4	100
Acessibilidade	25	3	75	4	100
Testabilidade	5	4	20	3	15
Identificação	5	4	20	4	20
Fatores Humanos	15	3	45	4	60
Manuseabilidade	10	3	30	4	40
Número de Mantenedores	15	3	45	3	45
Subtotal			310		380
Fator Risco			1		1
Total Geral			310		380

Tabela 5-8 - Estudo de Caso I - Eng. #2 - Proposta 1 x Configuração Inicial

Eng Manutibilidade (#2)	Peso	Proposta 1		Config Inicial	
		Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
Ciclo	25	2	50	5	125
Acessibilidade	30	2	60	4	120
Testabilidade	5	2	10	4	20
Identificação	5	2	10	3	15
Fatores Humanos	15	2	30	4	60
Manuseabilidade	10	1	10	4	40
Número de Mantenedores	10	4	40	4	40
Subtotal			160		340
Fator Risco			1		1
Total Geral			160		340

Tabela 5-9 - Estudo de Caso I - Eng. #2 - Proposta 2 x Configuração Inicial

Eng Manutibilidade (#2)	Peso	Proposta 2		Config Inicial	
		Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
Ciclo	25	3	75	4	100
Acessibilidade	30	3	90	4	120
Testabilidade	5	3	15	3	15
Identificação	5	3	15	3	15
Fatores Humanos	15	3	45	3	45
Manuseabilidade	10	4	40	3	30
Número de Mantenedores	10	3	30	3	30
Subtotal			310		355
Fator Risco			1		1
Total Geral			310		355

Tabela 5-10 - Estudo de Caso I - Eng. #3 - Proposta 1 x Configuração Inicial

Eng Manutibilidade (#3)	Peso	Proposta 1		Config Inicial	
		Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
		Ciclo	25	3	75
Acessibilidade	30	2	60	4	120
Testabilidade	5	3	15	4	20
Identificação	5	3	15	3	15
Fatores Humanos	15	3	45	3	45
Manuseabilidade	15	2	30	4	60
Número de Mantenedores	5	3	15	3	15
Subtotal			255		375
Fator Risco			1		1
Total Geral			255		375

Tabela 5-11 - Estudo de Caso I - Eng. #3 - Proposta 2 x Configuração Inicial

Eng Manutibilidade (#3)	Peso	Proposta 2		Config Inicial	
		Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
		Ciclo	25	3	75
Acessibilidade	30	4	120	3	90
Testabilidade	5	3	15	3	15
Identificação	5	3	15	3	15
Fatores Humanos	15	3	45	3	45
Manuseabilidade	15	3	45	3	45
Número de Mantenedores	5	5	25	5	25
Subtotal			340		335
Fator Risco			1		1
Total Geral			340		335

5.2.2 Estudo de Caso II

Os 3 engenheiros identificaram em conjunto os seguintes atributos de manutibilidade como aplicáveis ao estudo de caso II:

- Ciclo
- Acessibilidade
- Comunalidade / Padronização
- Ajustabilidade
- Manuseabilidade
- Número de Mantenedores

Após a definição dos atributos afetados a aplicação do restante do método foi realizada individualmente. O fator de redução de risco não foi aplicado a esse estudo de caso.

5.2.2.1 Aplicação na Linha de Montagem

As tabelas: Tabela 5-12, Tabela 5-13 e Tabela 5-14, apresentam os resultados das análises de manutenibilidade para o cenário aplicação da modificação na linha de montagem.

Tabela 5-12 - Estudo de Caso II – Eng. # 1 - Aplicação na Linha

Eng. Manutenibilidade (#1)	Linha	Peso	Chapa Metálica		Novo Painel	
			Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
	Ciclo	20	3	60	4	80
Acessibilidade	25	3	75	3	75	
Comunalidade / Padronização	20	4	80	3	60	
Ajustabilidade	15	3	45	4	60	
Manuseabilidade	15	2	30	3	45	
Número de Mantenedores	5	3	15	3	15	
Subtotal			305		335	
Fator Risco			1		1	
Total Geral			305		335	

Tabela 5-13 - Estudo de Caso II – Eng. # 4 - Aplicação na Linha

Eng. Manutenibilidade (#4)	Linha	Peso	Chapa Metálica		Novo Painel	
			Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
	Ciclo	25	3	75	4	100
Acessibilidade	20	4	80	4	80	
Comunalidade / Padronização	20	5	100	3	60	
Ajustabilidade	10	3	30	4	40	
Manuseabilidade	15	3	45	3	45	
Número de Mantenedores	10	4	40	4	40	
Subtotal			370		365	
Fator Risco			1		1	
Total Geral			370		365	

Tabela 5-14 - Estudo de Caso II – Eng. # 5 - Aplicação na Linha

Eng Manutibilidade (#5)	Linha	Peso	Chapa Metálica		Novo Painei	
			Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
	Ciclo	25	3	75	4	100
Acessibilidade	20	3	60	3	60	
Comunalidade / Padronização	25	4	100	3	75	
Ajustabilidade	10	3	30	4	40	
Manuseabilidade	10	3	30	3	30	
Número de Mantenedores	10	3	30	4	40	
Subtotal			325		345	
Fator Risco			1		1	
Total Geral			325		345	

5.2.2.2 Aplicação na Frota (Boletim de Serviço)

As tabelas: Tabela 5-15, Tabela 5-16 e Tabela 5-17, apresentam os resultados das análises de manutibilidade para o cenário aplicação da modificação na frota.

Tabela 5-15 - Estudo de Caso II – Eng. # 1 - Aplicação na Frota (BS)

Eng Manutibilidade (#1)	Frota (BS)	Peso	Chapa Metálica		Novo Painei	
			Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
	Ciclo	20	5	100	3	60
Acessibilidade	25	3	75	3	75	
Comunalidade / Padronização	20	4	80	3	60	
Ajustabilidade	15	2	30	3	45	
Manuseabilidade	15	4	60	2	30	
Número de Mantenedores	5	4	20	2	10	
Subtotal			365		280	
Fator Risco			1		1	
Total Geral			365		280	

Tabela 5-16 - Estudo de Caso II – Eng. # 4 - Aplicação na Frota (BS)

Eng Manutibilidade (#4)	Frota (BS)	Peso	Chapa Metálica		Novo Painel	
			Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
	Ciclo	25	5	125	2	50
	Acessibilidade	20	4	80	3	60
	Comunalidade / Padronização	20	4	80	3	60
	Ajustabilidade	10	3	30	4	40
	Manuseabilidade	15	4	60	2	30
	Número de Mantenedores	10	3	30	3	30
	Subtotal			405		270
	Fator Risco			1		1
Total Geral			405		270	

Tabela 5-17 - Estudo de Caso II – Eng. # 5 - Aplicação na Frota (BS)

Eng Manutibilidade (#5)	Frota (BS)	Peso	Chapa Metálica		Novo Painel	
			Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
	Ciclo	25	1	25	4	100
	Acessibilidade	20	3	60	1	20
	Comunalidade / Padronização	25	4	100	2	50
	Ajustabilidade	10	3	30	1	10
	Manuseabilidade	10	4	40	1	10
	Número de Mantenedores	10	2	20	2	20
	Subtotal			275		210
	Fator Risco			1		1
Total Geral			275		210	

6 Discussões

Esse Capítulo apresenta as discussões em relação aos atributos de manutenibilidade abordados e aos resultados encontrados nas análises realizadas para os Estudos de Caso I e II decorrentes dos diferentes métodos utilizados.

6.1 Atributos de Manutenibilidade

A

Tabela 2-4 apresenta os atributos de manutenibilidade abordados em cada um dos métodos pesquisados. Observa-se que o método proposto aborda uma quantidade maior de atributos em relação aos outros métodos.

O método proposto por Abdullah, *et al.*, (2006) abordou apenas os atributos ciclo, montagem e acessibilidade. Vários atributos considerados relevantes pelos engenheiros de manutenibilidade não são endereçados por este método.

O método *Trade-off*, proposto por Blanchard *et al.*, (1995), é o método que mais se aproxima do método proposto em relação à quantidade de atributos de manutenibilidade. Entretanto, os atributos inspeção, simplicidade, padronização de ferramentas, ferramentas especiais/GSE, ambiente de trabalho e infraestrutura não são endereçados por este método. Vale ressaltar que esses 6 atributos são importantes. Dependendo do modo de operação de uma aeronave esses atributos podem ser mais ou menos relevantes. Por exemplo, a necessidade de infraestrutura pode ser mais crítica para um cliente que opera aviões executivos em comparação com uma empresa aérea. Outro exemplo, a necessidade de utilização de GSE pode tornar inviável ou dificultar o desdobramento durante uma operação militar.

As figuras: Figura 6.1 e Figura 6.2 mostram os atributos de manutenibilidade abordados, em cada um dos métodos, nas modificações apresentadas nos estudos de caso I e II.

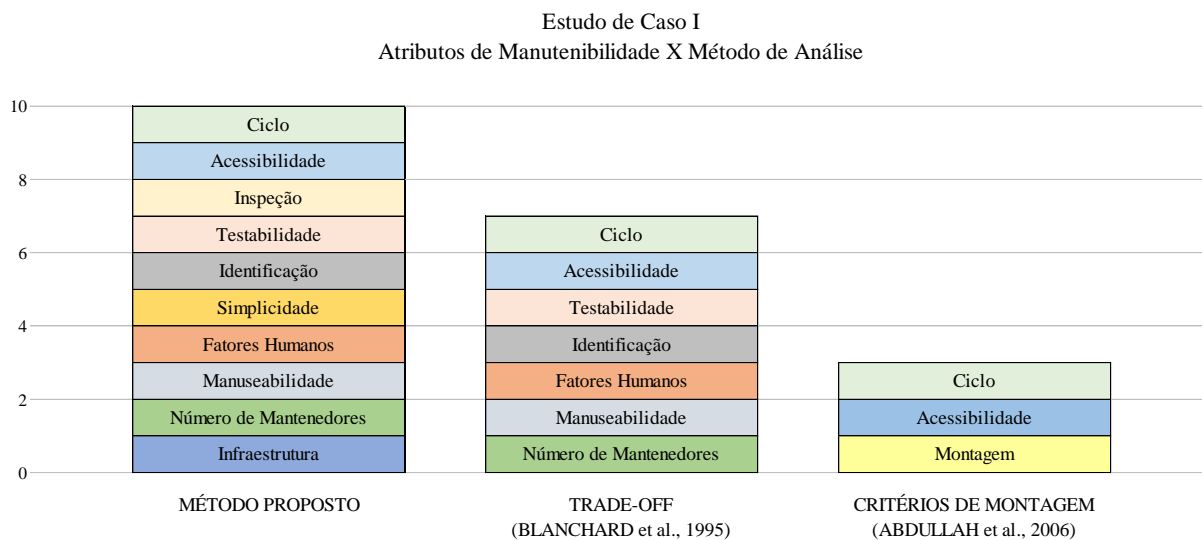


Figura 6.1 - Atributos Manutenibilidade X Métodos – Estudo de Caso I (Fonte: o autor).

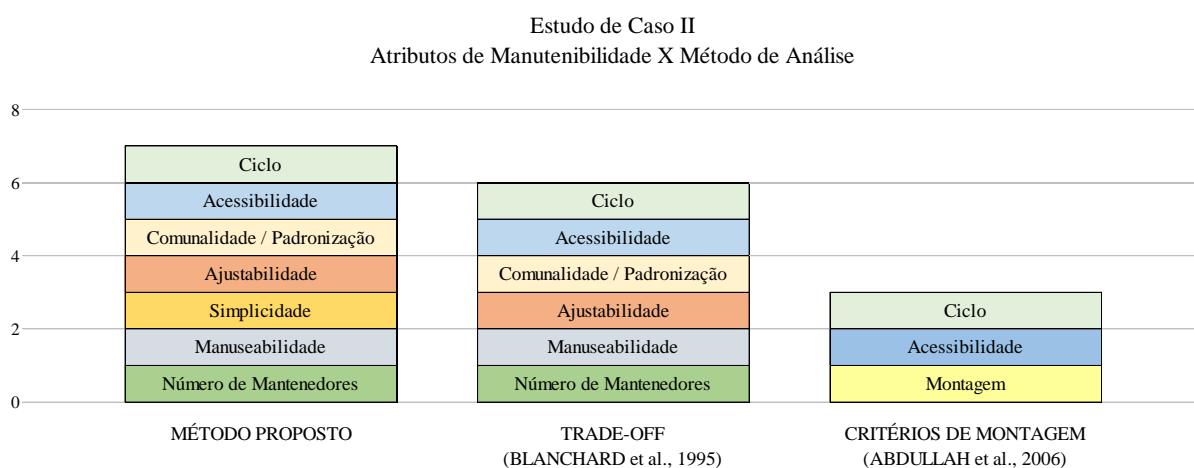


Figura 6.2 - Atributos Manutenibilidade X Métodos – Estudo de Caso II (Fonte: o autor).

Em ambos os estudos de caso o método proposto abordou um maior número de atributos nas análises de manutenibilidade.

Segundo mencionado por Saaty (2008), Belton e Stewart (2002) e Antunes (2007), a subjetividade e a incerteza são inerentes em toda tomada de decisão, em particular na escolha dos critérios nos quais basear a decisão. Nesse contexto, o maior número de atributos analisados durante as análises de manutenibilidade diminui a subjetividade da abrangência de cada atributo e auxilia o avaliador no momento da análise e no processo de definição dos pesos e pontuações dos índices desempenho dos atributos. Ao verificar se o atributo é afetado, o avaliador analisa a modificação de modo mais abrangente, evitando que algum aspecto relacionado à manutenção não seja avaliado.

6.2 Comparação entre os resultados encontrados

O método proposto e os métodos apresentados por Abdullah, *et al.*, (2006) e Blanchard *et al.*, (1995) foram aplicados aos estudos de caso I e II.

A Tabela 6-1 apresenta o resumo dos resultados das análises de manutenibilidade realizadas para o estudo de caso I decorrentes dos métodos utilizados.

Tabela 6-1 - Comparativo dos Métodos – Estudo de Caso I

Estudo de Caso I	MÉTODO PROPOSTO			TRADE-OFF (BLANCHARD <i>et al.</i> , 1995)			CRITÉRIOS DE MONTAGEM (ABDULLAH <i>et al.</i> , 2006)
	Eng. (#1)	Eng. (#2)	Eng. (#3)	Eng. (#1)	Eng. (#2)	Eng. (#3)	
Proposta 1	0,000	0,000	0,000	230	160	255	0,326
Config Inicial	1,000	1,000	1,000	410	340	375	0,326
Proposta 2	0,159	0,201	0,556	310	310	340	0,439
Config Inicial	0,841	0,799	0,444	380	355	335	0,326

As células destacadas indicam as opções mais recomendadas em relação às análises realizadas pelos engenheiros de manutenibilidade.

Analisando os resultados referentes a Proposta 1 e a Configuração Inicial, observa-se que o Método Proposto e o Método “Trade-off - Blanchard *et al.*, (1995)” apresentaram resultados similares, ou seja, as análises dos 3 engenheiros indicaram que a Configuração Inicial propiciou uma melhor manutenibilidade quando comparada com a Proposta 1.

Os resultados encontrados pelo método “Critérios de Montagem - Abdullah, *et al.*, (2006)” reforçam que este método não permite uma análise abrangente. Os resultados encontrados apresentaram valores iguais, ou seja, a Configuração Inicial e a Proposta 1 apresentam os mesmos índices de manutenibilidade. Esses resultados foram encontrados devido às duas propostas apresentarem os mesmos números de operações, tipo e quantidade de prendedores. Entretanto, vários outros aspectos relacionados à manutenção não foram considerados nessas análises. O método utilizado não propicia diferenciar os fatores relacionados à acessibilidade. O painel de acesso da proposta I está deslocado em relação ao equipamento, e mesmo assim a análise de manutenibilidade apresentou resultado igual ao da análise realizada para configuração inicial da aeronave. Adicionalmente, não diferencia a

importância entre os atributos de manutenibilidade. Esses fatores podem induzir ao erro e disponibilizar resultados não representativos.

As análises em relação à comparação da Proposta 2 com a Configuração Inicial apresentaram resultados similares para o Método Proposto e “*Trade-off* - Blanchard *et al.*, (1995)”. As análises dos engenheiros #1 e #2 foram favoráveis para a configuração inicial da aeronave e a análise do engenheiro #3 foi favorável a Proposta 2. As diferenças das análises, em ambos os métodos, estão vinculadas ao índice de desempenho atribuído pelo engenheiro #3 ao atributo acessibilidade, índice de desempenho contrário aos atribuídos pelos engenheiros #1 e #2. Isso fez com que a Proposta 2 apresentasse uma pequena vantagem em relação à Proposta Configuração Inicial.

Os resultados encontrados pela metodologia “Critérios de Montagem - Abdullah, *et al.*, (2006)” são similares aos resultados encontrados pelos engenheiros #1 e #2 utilizando o Método Proposto e o método “*Trade-off* - Blanchard *et al.*, (1995)”. Esses resultados são decorrentes do maior número de operações e quantidade de prendedores existentes na Proposta 2, que é composta por dois painéis de acesso.

A Tabela 6-2 apresenta o resumo dos resultados das análises de manutenibilidade realizadas para o estudo de caso II decorrentes dos métodos utilizados.

Tabela 6-2 - Comparativo dos Métodos – Estudo de Caso II

Estudo de Caso II		MÉTODO PROPOSTO			TRADE-OFF (BLANCHARD <i>et al.</i> , 1995)			CRITÉRIOS DE MONTAGEM (ABDULLAH <i>et al.</i> , 2006)
Cenário	Propostas	Eng. (#1)	Eng. (#4)	Eng. (#5)	Eng. (#1)	Eng. (#4)	Eng. (#5)	
Linha	Chapa Metálica	0,421	0,492	0,486	305	370	325	n/a
	Novo Painel	0,579	0,508	0,514	335	365	345	n/a
Frota	Chapa Metálica	0,704	0,817	0,776	365	405	275	0,441
	Novo Painel	0,296	0,183	0,224	280	270	210	0,475

As células destacadas indicam as opções mais recomendadas em relação às análises realizadas pelos engenheiros de manutenibilidade.

Os resultados das análises para o cenário “aplicação da modificação na frota” foram consistentes. Todas as análises mostraram que a proposta de modificação do produto Chapa Metálica é mais adequada para a manutenibilidade.

Para o cenário “aplicação da modificação na linha de montagem” a análise realizada pelo engenheiro #4, utilizando o método proposto por Blanchard *et al.*, (1995), apresentou

divergência em relação às demais análises. Conforme já mencionado, esse método abordou menos atributos quando comparado com o método proposto. Para diminuir as variáveis a serem comparadas, foram mantidos os índices de desempenho atribuídos aos atributos de manutenibilidade comuns entre o método proposto e o método Blanchard *et al.*, (1995). Entretanto, houve necessidade de definir os pesos aplicáveis a cada um dos atributos. A definição dos pesos, principalmente para os atributos ciclo, acessibilidade e comunalidade, fez com que essa análise apresentasse resultado contrário às demais análises.

Os resultados encontrados indicam que o método proposto é adequado para a realização de análises de manutenibilidade, o método abordou um maior número de atributos e disponibilizou resultados mais representativos.

7 Conclusão

Diante do problema de pesquisa apresentado, que é a falta de um método que possibilite a realização de análise de manutenibilidade abordando os aspectos envolvidos ao longo do ciclo de vida de um produto do setor aeronáutico, os objetivos geral e específicos foram traçados para auxiliar a execução desse trabalho.

O Objetivo Específico 1 (**OE1** - Identificar os atributos de manutenibilidade aplicáveis ao setor aeronáutico) foi demonstrado através do referencial teórico e da revisão da literatura realizada no Capítulo 2. Foram identificados os atributos aplicáveis ao setor aeronáutico e presentes no ciclo de vida do produto (

Tabela 2-4). A abordagem indicada nesse trabalho mostrou-se mais abrangente que os demais métodos encontrados nos trabalhos pesquisados. Foi apresentada uma descrição dos atributos de manutenibilidade com o objetivo de propiciar um entendimento comum, mais amplo e completo, direcionando e uniformizando as análises. A abordagem de um maior número de atributos minimiza a subjetividade da abrangência de cada atributo e auxilia o avaliador no momento da análise e no processo de definição da pontuação do índice de desempenho atribuído a cada um dos atributos de manutenibilidade.

O Objetivo Específico 2 (**OE2** - Rever o fluxograma de atividades e definir as devidas alterações a fim de identificar o momento adequado para se pensar em manutenção durante o desenvolvimento de uma modificação do produto) levou a construção de um novo fluxograma de atividades. O novo fluxograma foi elaborado para abordar os aspectos de manutenibilidade desde o início do desenvolvimento de modificação do produto. As modificações visam estruturar as informações necessárias no momento correto, para que os requisitos e atributos de manutenibilidade sejam analisados desde o início do desenvolvimento de uma modificação do produto.

O Objetivo Específico 3 (**OE3** - Identificar um método multicritério existente para a realização da análise da manutenibilidade) identificou o método TOPSIS como adequado para a realização de análise de manutenibilidade. Esse método apresenta um conceito simples, de fácil programação e adaptabilidade, não necessitando do uso de *software* específico. Permite utilizar um número ilimitado de critérios a serem analisados e pode ser aplicado por um único avaliador. Utiliza a normalização para eliminar as unidades das funções dos índices de desempenho dos atributos, estabelecendo valores que podem ser transformados em unidades

adimensionais possibilitando operações entre eles. Através do cálculo da distância euclidiana define a distância ideal positiva e ideal negativa entre os atributos. Disponibiliza uma resposta rápida e direta, resultando em parâmetros mensuráveis e assertivos para serem utilizados em um processo de tomada de decisão para a aprovação de uma modificação do produto.

O Objetivo Específico 4 (**OE4** - Demonstrar a aplicação do método através de estudos de caso) foi demonstrado através de dois estudos de caso, sendo ambos casos reais adaptados para serem utilizados nesse trabalho. Nos estudos de caso foram comparadas diferentes propostas de modificação do produto. O estudo de caso I representou uma modificação que já havia sido desenvolvida e incorporada em uma aeronave. O estudo de caso II apresentou uma modificação que ainda estava em desenvolvimento, possibilitando que o arcabouço apresentado nesse trabalho pudesse ser aplicado a um caso real de modificação do produto.

O Objetivo Específico 5 (**OE5** – Verificar as análises de manutenibilidade realizadas) foi demonstrado através da verificação das pontuações atribuídas pelos engenheiros aos índices de desempenho dos atributos de manutenibilidade. Com objetivo de verificar o entendimento da metodologia e as possíveis divergências dos resultados, três engenheiros aplicaram o método proposto nos dois estudos de caso. Foi realizada uma análise (referência subcapítulo 4.2.4) referente à modificação do produto descrita no Estudo de Caso II – Aplicação na Frota (BS – Boletim de Serviço). Como os atributos de manutenibilidade podem apresentar natureza quantitativa e/ou qualitativa, a verificação foi realizada analisando separadamente os atributos. Os resultados capturados pelos experimentos, adicionado às análises dos atributos quantitativos, estão coerentes com as pontuações atribuídas pelos engenheiros. Isso reforça que a experiência dos avaliadores somados a utilização de modelos 3D das propostas de modificação do produto são recursos necessários para elaborar dados de entrada para serem utilizados no método TOPSIS.

A realidade virtual foi utilizada para a realização dos experimentos. Esse recurso propiciou uma interação mais realista das atividades envolvidas nas tarefas de manutenção. Embora não seja possível capturar todas as percepções através de uma simulação em ambiente virtual, a realidade virtual mostrou-se adequada para capturar percepções como dificuldade, visualização, acesso e movimentação dos componentes. Entretanto, há uma diferença significativa entre o ambiente real e o ambiente virtual para capturar percepções relacionadas a atividades que envolvem esforço físico e peso dos componentes. Nesse contexto o uso da realidade virtual pode ser considerado uma ferramenta muito útil para suportar a realização das análises de manutenibilidade, podendo auxiliar o avaliador no momento da análise e no

processo de definição das pontuações atribuídas aos índices de desempenho dos atributos de manutenibilidade.

O Objetivo Específico 6 (**OE6** - Realizar análises de manutenibilidade utilizando os métodos existentes) foi demonstrado no Capítulo 5. Dos métodos encontrados, dois não apresentaram restrições quanto à aplicação e foram aplicados aos estudos de caso I e II.

7.1 Considerações Finais

Essa pesquisa evidenciou a importância em se investir em manutenção durante o desenvolvimento de modificações do produto que são incorporadas durante a fase de operação de uma aeronave. A manutenibilidade é uma característica intrínseca de um produto e se incorporada adequadamente pode tornar as atividades de manutenção convenientes, rápidas e econômicas. Essas características são fundamentais para o setor aeronáutico, uma vez que podem afetar a suportabilidade, operação e disponibilidade de uma aeronave.

Foi constatado que há poucos métodos disponíveis para a realização de análise de manutenibilidade direcionados ao setor aeronáutico. Os métodos existentes apresentam algumas limitações, seja em relação aos atributos analisados e/ou ao método de cálculo utilizado.

Esse trabalho desenvolveu um arcabouço para realizar análise de manutenibilidade para avaliar modificações que são incorporadas durante fase de operação de uma aeronave. Considera os atributos de manutenibilidade presentes ao longo do ciclo de vida do produto aeronáutico e utiliza um método multicritério de tomada de decisão que pode ser aplicado por um único avaliador, possibilitando realizar análises comparativas das possíveis propostas de modificação do produto.

Foram identificados os atributos de manutenibilidade aplicados ao setor aeronáutico. A correta identificação e a abordagem dos atributos propiciam um entendimento comum, mais amplo e completo, direcionando e uniformizando as análises de manutenibilidade. Isso evita ou minimiza possíveis impactos durante a execução das atividades de manutenção ao longo do ciclo de vida de um produto.

Foi confirmada que a subjetividade é inerente a toda tomada de decisão, no caso, principalmente na mensuração das pontuações atribuídas aos atributos de manutenibilidade que podem apresentar natureza quantitativa e/ou qualitativa. Embora todos os avaliadores

tenham experiências, todas as análises apresentaram diferenças entre os pesos e as pontuações dos índices de desempenho atribuídos aos atributos de manutenibilidade. Isso reforça a necessidade de utilizar um método multicritério para a tomada de decisão.

Em relação ao método TOPSIS, é um método que permite adaptabilidade, não apresentando limitações em relação ao número de critérios avaliados. Sua base de cálculo permite avaliar atributos quantitativos e qualitativos e disponibiliza uma resposta rápida e direta. Entretanto, a definição dos pesos de cada atributo de manutenibilidade é um item que pode ser melhorado. Nesse método os pesos dos atributos são definidos através de uma pontuação direta pelos avaliadores baseados nas suas preferências ou experiências, ou seja, não permite a checagem de inconsistências para os pesos atribuídos aos critérios a serem analisados.

Conforme já mencionado, o estudo de caso II é um caso real de um desenvolvimento de modificação do produto que se iniciou durante a execução desse trabalho, possibilitando a aplicação do conceito aqui apresentado. Uma das premissas para essa modificação do produto era desenvolver uma única solução a ser incorporada na Linha de Produção e na Frota em Operação. A decisão, antes da realização da análise de manutenibilidade, baseada apenas em informações referentes ao processo produtivo, era incorporar a modificação do produto a partir de um novo painel traseiro. Através dos resultados encontrados pelas análises de manutenibilidade foi possível demonstrar que a diferença entre as duas propostas de modificação do produto era muito pequena para o cenário Linha de Produção, porém muito significativa para o cenário Frota em Operação. Com esses dados, juntamente com os demais critérios de negócio, a decisão foi reavaliada e a proposta de modificação Chapa Metálica foi aprovada para ser incorporada na Linha e para a Frota.

Baseado nos resultados encontrados verificou-se que o arcabouço desenvolvido para a realização de análise de manutenibilidade é adequado para avaliar modificações que são incorporadas na fase de operação de uma aeronave. Abordou o momento correto para estruturar as informações e os requisitos de manutenibilidade que possam ser afetados por uma modificação do produto, identificou os atributos que abrangem os aspectos relacionados à manutenibilidade ao longo do seu ciclo de vida de uma aeronave e apresentou vantagens e resultados mais consistentes em relação aos outros métodos analisados.

É importante ressaltar que o arcabouço em si não é o tomador de decisão, mas uma ferramenta que fornece os dados necessários, em tempo hábil, para apoiar o processo de tomada de decisão para a incorporação de uma modificação no produto.

Vale mencionar que este trabalho não aborda as demais atividades envolvidas na suportabilidade do produto. Após a definição da melhor proposta de modificação do produto, é necessário identificar os possíveis impactos no plano de manutenção e nas publicações técnicas, bem como nos outros elementos relacionados à suportabilidade do produto. Para realizar essas análises complementares é recomendada a análise dos elementos abordados por Blanchard (BLANCHARD, 1998) e os Elementos do Suporte Integrado do Produto explicitado pelo arcabouço SX000i (ASD, 2021). O conjunto dessas ações visa melhorar o desempenho da suportabilidade do produto.

7.2 Contribuições

Este trabalho apresentou um arcabouço adequado para a realização de análise de manutenibilidade para modificações de produto do segmento aeronáutico.

Foram identificados e abordados os atributos de manutenibilidade, que juntamente com os manuais do Departamento de Defesa (*Department of Defense – DoD*) dos EUA, citados nesse trabalho, têm o objetivo de direcionar e harmonizar o entendimento dos mesmos.

Foram implementadas melhorias no fluxograma de desenvolvimento de modificações do produto existente na empresa onde o autor atua no momento desta pesquisa. As melhorias visaram abordar a manutenibilidade desde o início do desenvolvimento das modificações. Isso possibilitou: identificar as informações e requisitos de manutenibilidade no momento adequado; realizar a verificação da incorporação dos requisitos; e comparar as possíveis propostas de modificação do produto.

A realidade virtual foi utilizada para realizar a verificação das pontuações atribuídas aos índices de desempenhos dos atributos qualitativos. Esse recurso mostrou-se útil, podendo ser aplicado durante as análises de modificações de produto que demandem ou apresentem maior complexidade.

O método proposto para a realização de análises comparativas das possíveis propostas de modificação do produto utiliza a método TOPSIS, método multicritério para apoio a tomada de decisão que resulta em uma resposta rápida e direta, disponibilizando parâmetros mensuráveis e assertivos para serem utilizados em um processo de tomada de decisão para a aprovação de uma modificação do produto.

Esse arcabouço foi aplicado a uma modificação do produto ainda em desenvolvimento, conforme apresentado no estudo de caso II, possibilitando a aplicação do conceito aqui apresentado. As análises de manutenibilidade resultaram em parâmetros mensuráveis que auxiliaram o processo de tomada de decisão para a aprovação de uma modificação do produto em uso na empresa de atuação do autor do trabalho.

7.3 Sugestões de Trabalhos Futuros

Pesquisar um método complementar para ser utilizado juntamente com o método TOPSIS, para auxiliar na definição dos pesos atribuídos aos atributos de manutenibilidade afetados pela modificação do produto. Recomenda-se que seja um método de mensuração não linear e que possa ser utilizado por um único avaliador.

Incrementar a aplicação da realidade virtual através da incorporação de recursos que possibilitem a utilização das mãos e ferramentas ao invés de controles.

Estudar novas maneiras para incorporar o uso da realidade virtual durante o desenvolvimento de novos produtos ou modificações de produto, identificando novos equipamentos e *software* que minimizem a distância existente entre o ambiente real e o ambiente virtual.

Embora os resultados apresentados nesse trabalho corroborem para a avaliação inicial do método proposto, Wazlawick (2021) comenta que um estudo de caso em que a teoria funciona, embora seja uma evidência de validade, não é necessariamente uma prova de validade. Assim, recomenda-se que o método proposto seja aplicado a mais casos reais.

8 Referências Bibliográficas

ABDULLAH, A. B. *et al.* Determination of maintainability index based on assembly criteria. **Journal of Applied Sciences**, v. 6, n. 12, p. 2586-2592, 2006.

AEROSPACE AND DEFENSE INDUSTRIES ASSOCIATION OF EUROPE. **International guide for the use of the S-Series Integrated Logistic Support (ILS) specifications**: ASD, 2021.

ANGELO, Ana Carolina Maia. Multicriteria decision-making methods for results interpretation of life cycle assessment. *In*: REN, Jingzheng (ed.). **Methods in sustainability science**. [Amsterdam]: Elsevier, 2021. p. 153-168.

ANTUNES, Carlos Henggeler. **Decisão: perspectivas interdisciplinares**. Imprensa da Universidade de Coimbra/Coimbra University Press, 2007.

ASADI, Hamed; YU, Denny; MOTT, John H. Risk factors for musculoskeletal injuries in airline maintenance, repair & overhaul. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 70, p. 107-115, 2019.

BEHZADIAN, Majid *et al.* A state-of the-art survey of TOPSIS applications. **Expert Systems with applications**, v. 39, n. 17, p. 13051-13069, 2012.

BELTON, Valerie; STEWART, Theodor. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. New York: Springer Science & Business Media, 2002. 372 p.

BERNARD, Fabien *et al.* Consideration of human factor in aeronautical maintainability. *In*: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2017. **Proceedings** [...]. Piscataway: IEEE, 2017. p. 1-7.

BHUTIA, Pema Wangchen; PHIPON, Ruben. Application of AHP and TOPSIS method for supplier selection problem. **IOSR Journal of Engineering**, v. 2, n. 10, p. 43-50, 2012.

BLANCHARD, Benjamin S. **Logistics Engineering and Management**. Fifth edition. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 526 p.

BLANCHARD, Benjamin S.; VERMA, Dinesh C.; PETERSON, Elmer L. **Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management**. First edition. New York: John Wiley & Sons, 1995. 537 p.

BOSSÉ, Éloi; ROY, Jean; WARK, Steve. **Concepts, models, and tools for information fusion**. Norwood, MA: Artech House, 2007.

BOYD, J. R. **A Discourse on winning and losing**. Maxwell Air Force Base, Alabama: Air University Library, 1987. 400 slides.

BUGAJ, Martin *et al.* Aircraft maintenance reserves—new approach to optimization. **Transportation Research Procedia**, v. 43, p. 31-40, 2019.

CHEN, Shu-Jen; HWANG, Ching-Lai. Fuzzy multiple attribute decision making methods. *In: CHEN, Shu-Jen; HWANG, Ching-Lai. **Fuzzy multiple attribute decision making.*** Berlin, Heidelberg: Springer 1992. p. 289-486.

CHINA. Commission of Science Technology and Industry for National Defense. **GJB/Z 91-97: maintainability design technique handbook.** Beijing: COSTIND, 1997. 174 p.

ČOKORILO, Olja. Aircraft performance: The effects of the multi attribute decision making of non time dependant maintainability parameters. **International Journal for Traffic and Transport Engineering**, v. 1, n. 1, p. 42-48, 2011.

DASSAULT SYSTÈMES. CATIA V5: 3D cad design products. Version 5: Dassault Systèmes, 2002.

GHOSH, Chanchal *et al.* Reduction of life cycle costs for a contemporary helicopter through improvement of reliability and maintainability parameters. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 35, n.2 p. 545-567, 2018.

GUO, Ziyue *et al.* Using virtual reality to support the product's maintainability design: Immersive maintainability verification and evaluation system. **Computers in Industry**, v. 101, p. 41-50, 2018.

HUANG, Desuo *et al.* Construction of maintenance accessibility evaluation index based on purpose. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUALITY, RELIABILITY, RISK, MAINTENANCE, AND SAFETY ENGINEERING*, 2013. **Proceedings** [...]. Piscataway: IEEE, 2013. p. 1451-1454.

HWANG, Ching-Lai; YOON, Kwangsun. Methods for multiple attribute decision making. *In: HWANG, Ching-Lai; YOON, Kwangsun. **Multiple attribute decision making.*** Berlin, Heidelberg: Springer, 1981. p. 58-191.

IATA. **Airline maintenance cost executive commentary.** FY2020 Data Highlight. Montreal: Maintenance Cost Technical Group, International Air Transport Association, 2020. Anual.

Disponível em:

<https://www.iata.org/contentassets/bf8ca67c8bcd4358b3d004b0d6d0916f/fy2020-mctg-report_public.pdf>. Acesso em: 18 Out. 2021.

ISHIZAKA, Alessio; NEMERY, Philippe. **Multi-criteria decision analysis: methods and software.** Chichester: John Wiley & Sons, 2013.

JIAN, Xiaogang; CAI, Shuaibo; CHEN, Qianfeng. A study on the evaluation of product maintainability based on the life cycle theory. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 481-491, 2017.

LAWSON, John. **Design and analysis of experiments with r.** Boca Raton: CRC Press, 2014. 618 p.

LEE, Hyeonju; WOO, Donghyun; YU, Sunjin. Virtual reality metaverse system supplementing remote education methods: based on aircraft maintenance simulation. **Applied Sciences**, v. 12, n. 5, p. 2667, 2022.

MONTGOMERY, Douglas C. **Design and analysis of experiments**. 8.ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2017. 757 p.

MU, Enrique; PEREYRA-ROJAS, Milagros. **Practical decision making using super decisions v3: an introduction to the analytic hierarchy process**. Cham: Springer, 2017. 115 p.

MULLINER, Emma; MALYS, Naglis; MALIENE, Vida. Comparative analysis of MCDM methods for the assessment of sustainable housing affordability. **Omega**, v. 59, p. 146-156, 2016.

OEM AERONÁUTICO. **PMP: master guideline of Product Modification Process**. [S. l.]: ,2021.

OPRICOVIC, Serafim; TZENG, Gwo-Hshiung. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. **European journal of operational research**, v. 156, n. 2, p. 445-455, 2004.

PAVIĆ, Zlatko; NOVOSELAC, Vedran. Notes on TOPSIS method. **International Journal of Research in Engineering and Science**, v. 1, n. 2, p. 5-12, 2013.

PERIYARSELVAM, U. *et al.* Analysis on costs for aircraft maintenance. **Adv. Aerosp. Sci. Appl**, v. 3, p. 177-182, 2013.

POMEROL, J.-C.; BARBA-ROMERO, S. **Multicriterion decision in management: principles and practice**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.

ROSZKOWSKA, Ewa. Multi-criteria decision making models by applying the TOPSIS method to crisp and interval data. **Multiple Criteria Decision Making/University of Economics in Katowice**, v. 6, n. 1, p. 200-230, 2011.

SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International journal of services sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SAATY, Thomas L.; OZDEMIR, Mujgan S. Why the magic number seven plus or minus two. **Mathematical and computer modelling**, v. 38, n. 3-4, p. 233-244, 2003.

SALES, Rodrigo Damasceno; GOLDONI, Luiz Rogério Franco. Considerações sobre comando e controle. **Revista de Ciências Militares**, v. 4, p. 277-301, 2016.

SCHRAMM, Vanessa Batista; CABRAL, Luciana Priscila Barros; SCHRAMM, Fernando. Approaches for supporting sustainable supplier selection-A literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, no. do artigo 123089, 2020.

SILVA, A. C. S. **Tópico: análise de decisão**. São José dos Campos: ITA, 2020. Notas de aula 05 - Technique of Order Preference Similarity to the Ideal Solution (TOPSIS) - PO-212.

STOLT, R.; ELGH, F.; ANDERSSON, P. Design for inspection-evaluating the inspectability of aerospace components in the early stages of design. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1193-1199, 2017.

UNITED STATES. Department of Defense. **DOD-HDBK-791**: maintainability design techniques. Washington, DC: DoD, 1988.

UNITED STATES. Department of Defense. **MIL-HDBK-470A**: designing and developing maintainable products and systems. Washington, DC: DoD, 1997.

UNITED STATES. Department of Defense. **MIL-HDBK-472**: maintainability prediction. Washington, DC: DoD, 1966.

UNITED STATES. Department of Defense. **MIL-S-8512D**: military specification: support equipment, aeronautical, special, general specification for the design of. Washington, DC: DoD, 1974.

VIVE PRO. [S. l.]: HTC Corporation, 2021. Disponível em: <<https://www.vive.com/us/product/vive-pro-eye/specs/>>. Acesso em: Jun. 2022.

WAHAB, Dzuraidah Abd *et al.* Product redesign for ease of maintenance: A case study. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, v. 3, n. 2, p. 153-159, 2008.

WANI, M. F.; GANDHI, O. P. Development of maintainability index for mechanical systems. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 65, n. 3, p. 259-270, 1999.

WAZED, M. A.; AHMED, S.; YUSOFF, N. Commonality and its measurement in manufacturing resources planning. **Journal of Applied Sciences**, v. 9, n. 1, p. 69-78, 2009

WAZLAWICK, Raul Sidnei. **Metodologia de pesquisa para ciência da computação**. 3. ed, Rio de Janeiro: LTC, 2021.

ZHONG, Lu; YOUCHAO, Sun. Research on maintainability evaluation model based on fuzzy theory. **Chinese Journal of Aeronautics**, v. 20, n. 5, p. 402-407, 2007.

9 Glossário

Aeronavegabilidade: É a propriedade ou capacidade de uma aeronave de realizar um voo seguro ou navegar com segurança no espaço aéreo, para o transporte de pessoas, bagagens ou cargas, ou para a realização de serviços aéreos especializados. Essa propriedade ou capacidade é reconhecida pela autoridade certificadora através da concessão de um certificado de aeronavegabilidade.

Arcabouço: É uma espécie de grade de conceitos utilizados para desmembrar um problema específico, para buscar diferentes soluções a partir de mais de uma perspectiva. No sentido figurado, arcabouço é a capacidade de produzir algo. Ter um arcabouço teórico quer dizer ter a base ou direcionamentos intelectuais necessários para compreender novas teorias, desenvolver teses ou simplesmente embasar uma opinião.

Autoridade Certificadora: São as agências responsáveis para regular e fiscalizar as atividades da aviação civil e a infraestrutura aeronáutica e aeroportuária.

Condição aeronavegável: Condição que comprova que a aeronave está em conformidade com os regulamentos sob os quais o projeto foi aprovado. Significa que a aeronave continua em conformidade com o projeto (ou modificações aprovadas) e está inspecionada conforme os requisitos ou manuais aprovados.

Mantenedor: É o responsável por executar as atividades relacionadas à manutenção.

Manutenibilidade: É uma característica intrínseca de um produto e se incorporada adequadamente pode tornar as atividades de manutenção conveniente, rápida e econômica.

Monumento: São móveis instalados no interior de uma aeronave

Sideledge: É um painel instalado na lateral da cabine de passageiros.

Stakeholder: É um termo da língua inglesa definido como "grupo de interesse" ou "parte interessada". Fazem parte deste grupo pessoas e instituições que possuem alguma relação com os processos, projetos e/ou resultados de uma empresa.

TAT (*Turn Around Time*): É o conjunto de atividades que devem ocorrer em uma aeronave entre um pouso e sua próxima decolagem, para que ela esteja pronta para seguir seu próximo trecho.

Torquímetro: É uma ferramenta usada para ajustar precisamente o torque de um parafuso em uma porca. Possibilita controlar a força de torque (força rotacional) dimensionada em projeto, ou seja, possibilita o máximo de aperto sem o risco de danificar os componentes.

Trade-off: É um termo da língua inglesa que define uma situação em que há conflito de escolha. Ele se caracteriza em uma ação que visa à resolução de problema, mas acarreta outro, obrigando uma escolha. Ocorre quando se renuncia a algum bem ou serviço distinto para se obter outro bem ou serviço distinto.

Apêndice A – Treinamento VR

Esse treinamento foi desenvolvido para que os voluntários pudessem se ambientar com os equipamentos, óculos, controles e com as operações que seriam realizadas durante a execução dos experimentos.

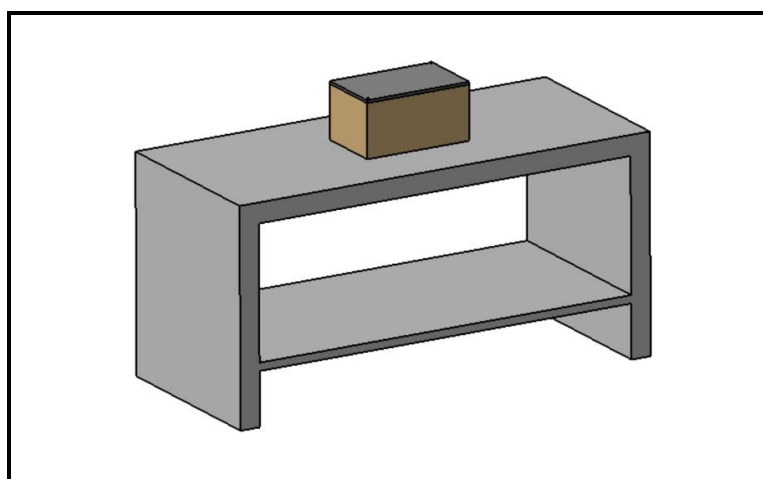


Figura A.0.1 – Treinamento VR (Fonte: o autor).

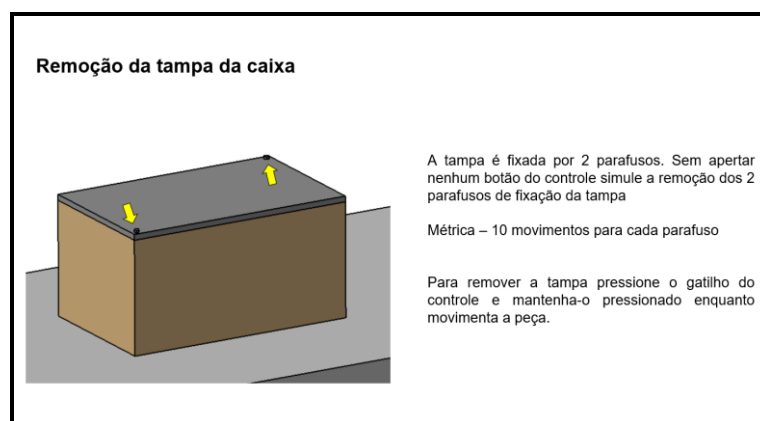


Figura A.0.2 – Treinamento VR (Fonte: o autor).



Figura A.0.3 – Treinamento VR (Fonte: o autor).

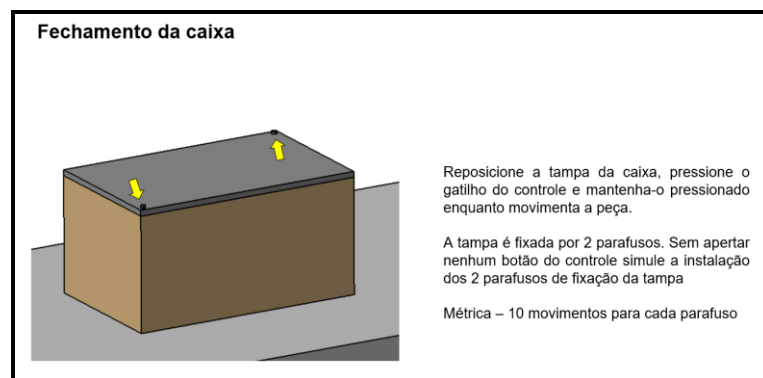


Figura A.0.4 – Treinamento VR (Fonte: o autor).

Apêndice B – Familiarização com as atividades a serem realizadas

Esse material foi desenvolvido para ilustrar as atividades a serem realizadas durante a realização dos experimentos. A sequência das atividades foi baseada no MTA elaborado para os dois cenários analisados, conforme apresentado no subcapítulo 4.2.4.1.

B.1 Inclusão da chapa metálica.

Remoção das Espumas

Remoção da Espuma do Encosto
Fixada com velcro – Necessário puxá-la para a sua direção

Para movê-la pressione o gatilho do controle e mantenha-o pressionado enquanto movimenta a espuma do encosto.

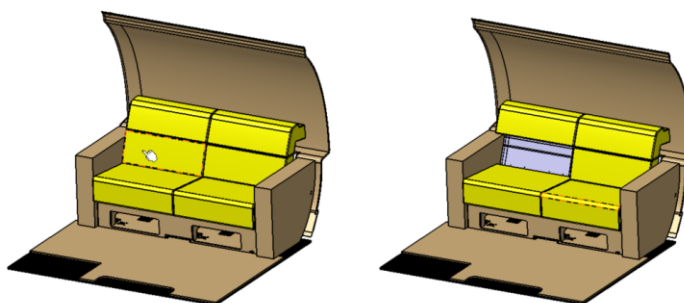


Figura B.0.1 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

Remoção das Espumas

Remoção da Espuma do assento
Fixada com velcro – Necessário puxá-la para cima

Para movê-la pressione o gatilho do controle e mantenha-o pressionado enquanto movimenta a espuma do assento.

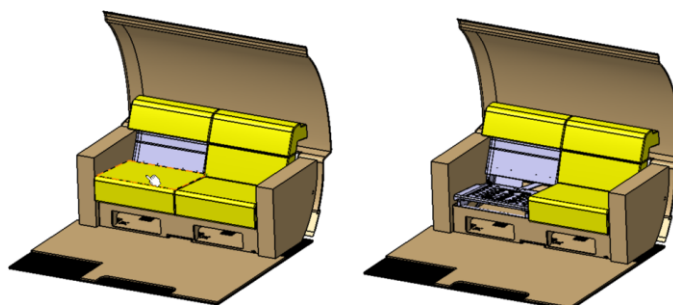


Figura B.0.2 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

Remoção da chapa do assento do Divã

Fixada por 6 parafusos – Necessário utilização de ferramenta



Figura B.0.3 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

Remoção da estrutura do Divã

Fixada por 8 porcas – Necessário utilização de ferramenta

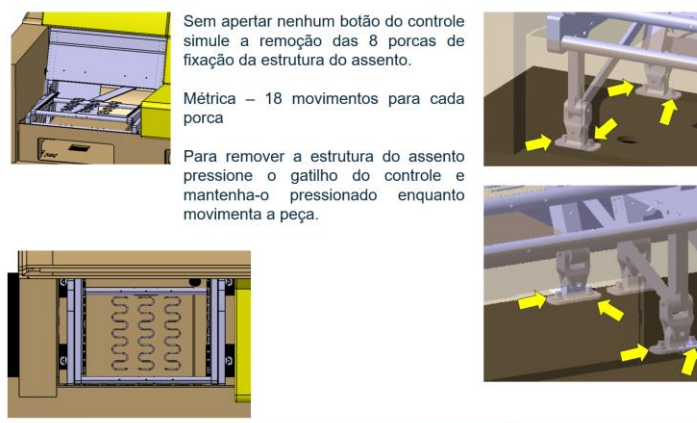


Figura B.0.4 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

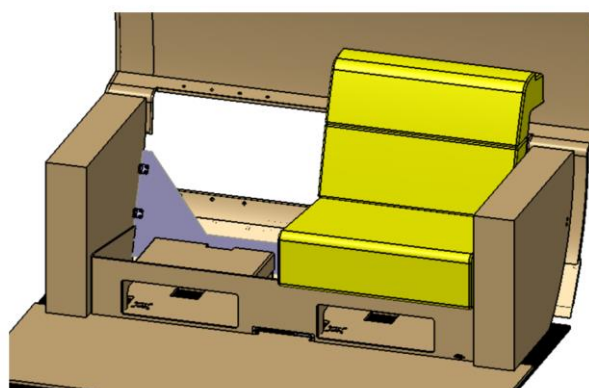
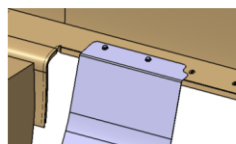
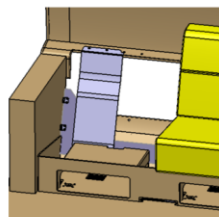


Figura B.0.5 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

Instalação da Chapa Metálica

A peça está localizada na bancada.

Pegue a chapa metálica e instale do local indicado. Para mover a peça pressione o gatilho do controle e mantenha-o pressionado enquanto movimenta a peça.



A chapa é fixada por 2 parafusos, sem apertar nenhum botão do controle simule o instalação dos 2 parafusos.
Métrica – 18 movimentos para cada parafuso

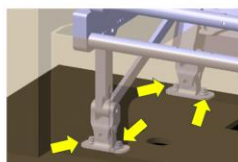
Figura B.0.6 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

Instalação da Estrutura do Divã



Reposicione a estrutura do divã.

Pressione o gatilho do controle para movimentar a peça.



Sem apertar nenhum botão do controle simule o instalação das 8 porcas de fixação da estrutura do assento.

Métrica – 18 movimentos para cada porca

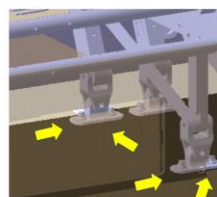
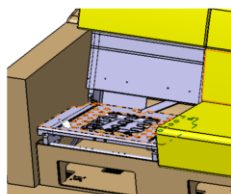


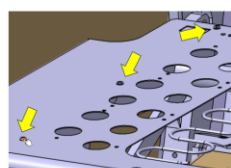
Figura B.0.7 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

Instalação da chapa do assento do Divã

Remoção da chapa do assento do divã
Fixada por 6 parafusos – Necessário utilização de ferramenta



Reposicione a chapa do assento do divã, pressione o gatilho do controle e mantenha-o pressionado enquanto movimenta a peça.



Sem apertar nenhum botão do controle simule a instalação dos 6 parafusos de fixação da chapa

Métrica – 18 movimentos para cada parafuso

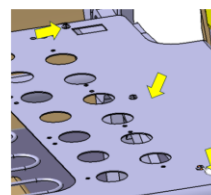
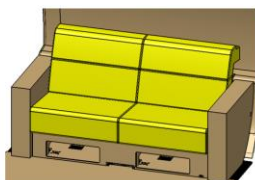
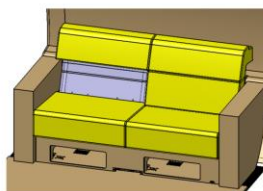


Figura B.0.8 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

Instalação das espumas

Reposicione a espuma do assento do divã, pressione o gatilho do controle e mantenha-o pressionado enquanto movimenta e posiciona a espuma do assento.



Repita a operação para a espuma do encosto. Pressione o gatilho do controle e mantenha-o pressionado enquanto movimenta e posiciona a espuma do encosto.

Figura B.0.9 – Familiarização - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

B.2 Substituição Painel Traseiro

Remoção das Espumas

Remoção da Espuma do Encosto

Fixada com velcro – Necessário puxá-la para a sua direção

Para movê-la pressione o gatilho do controle e mantenha-o pressionado enquanto movimenta a espuma do encosto.

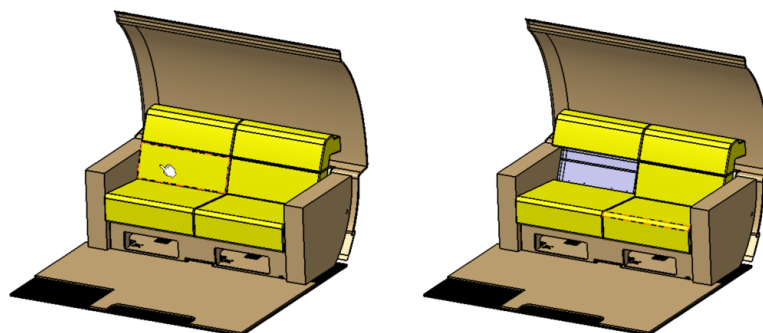


Figura B.0.10 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Remoção das Espumas

Remoção da Espuma do assento
Fixada com velcro – Necessário puxá-la para cima

Para movê-la pressione o gatilho do controle e mantenha-o pressionado enquanto movimenta a espuma do assento.



Figura B.0.11 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Remoção do Divã

Remoção da Espuma do Encosto
Fixada com velcro – Necessário puxá-la para a sua direção

Para movê-la pressione o gatilho e mantenha-o pressionado enquanto movimenta a espuma do encosto.

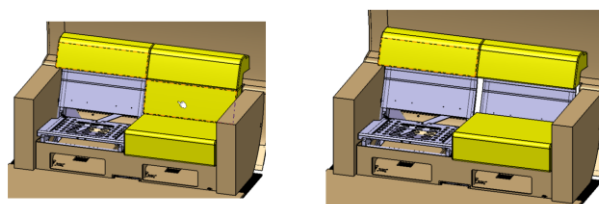


Figura B.0.12 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Remoção do Divã

Remoção da Espuma do assento
Fixada com velcro – Necessário puxá-la para cima

Para movê-la pressione o gatilho e mantenha-o pressionado enquanto movimenta a espuma do assento.

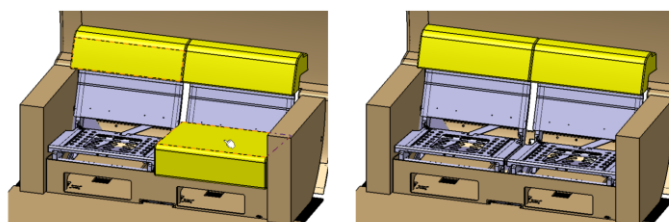


Figura B.0.13 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Remoção da chapa do assento do Divã

Remoção da chapa do assento do divã
Fixada por 6 parafusos – Necessário utilização de ferramenta

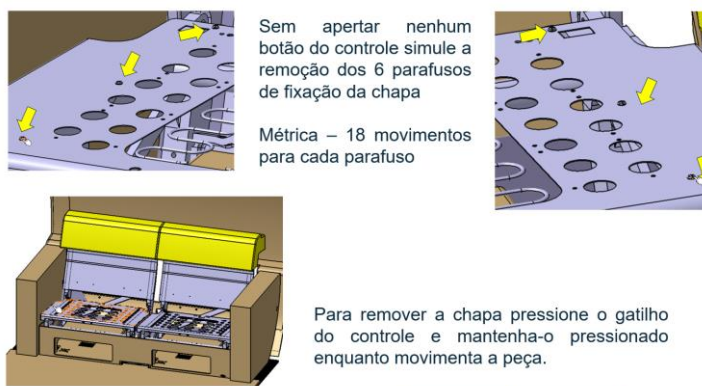


Figura B.0.14 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Remoção da chapa do assento do Divã

Remoção da chapa do assento do divã
Fixada por 6 parafusos – Necessário utilização de ferramenta

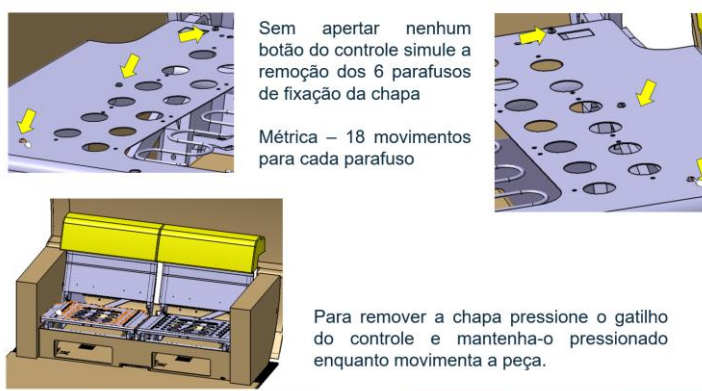


Figura B.0.15 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Remoção da chapa do assento do Divã

Repita o mesmo procedimento para a chapa do divã direito

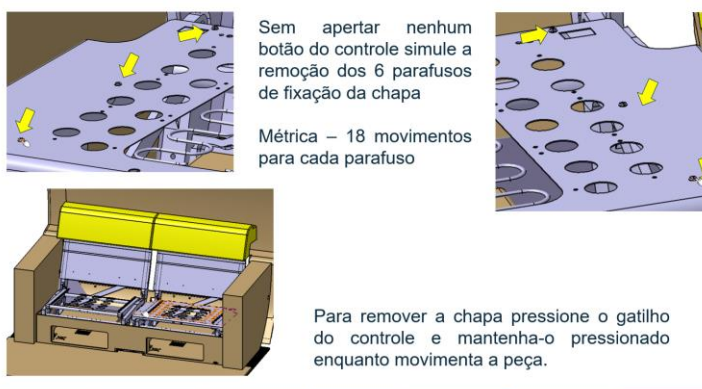


Figura B.0.16 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Remoção da estrutura do Divã

Fixada por 8 porcas – Necessário utilização de ferramenta

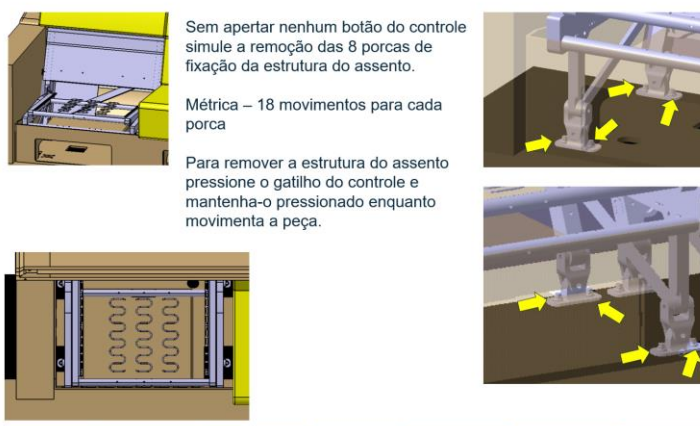


Figura B.0.17 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Remoção da estrutura do Divã

Repita o mesmo procedimento para a estrutura do divã direito

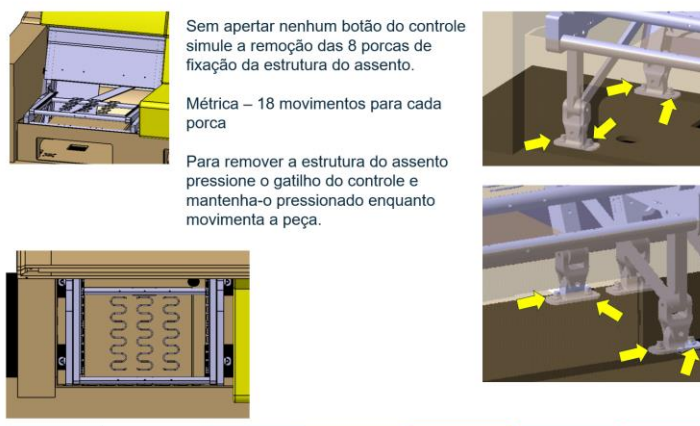


Figura B.0.18 - - Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Remoção do Painel Traseiro do Divã

Remoção do Painel Traseiro
Fixado por 6 parafusos – Necessário utilização de ferramenta

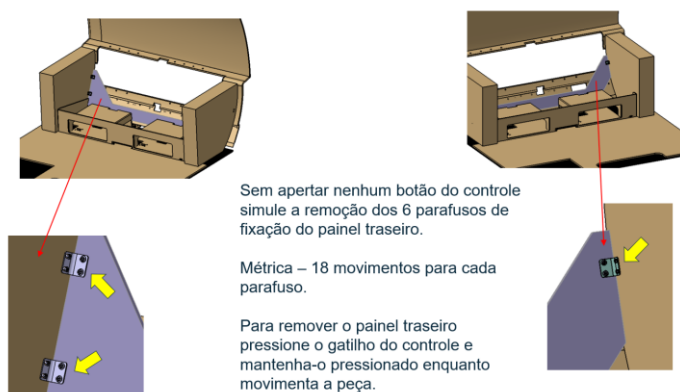


Figura B.0.19 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Instalação do NOVO Painel Traseiro do Divã

Instalação do Novo Painel Traseiro
Fixado por 6 parafusos – Necessário utilização de ferramenta

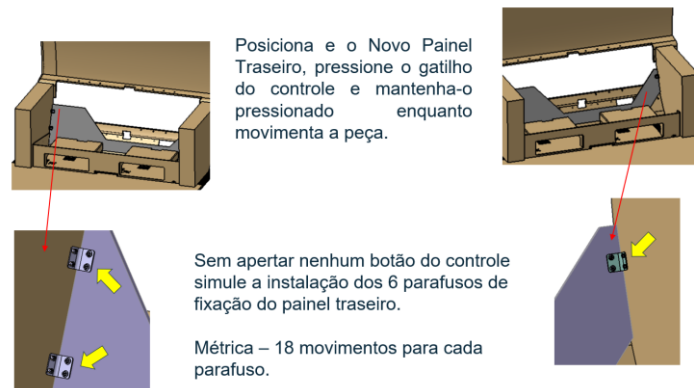


Figura B.0.20 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Instalação da Estrutura do Divã

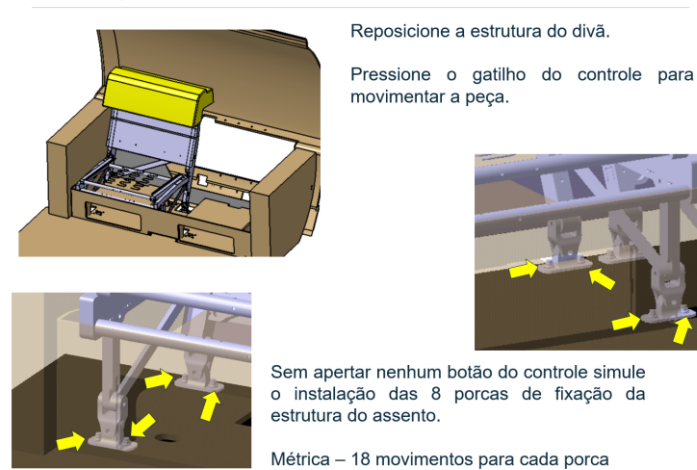


Figura B.0.21 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Instalação da Estrutura do Divã

Repita o mesmo procedimento para a estrutura do divã direito

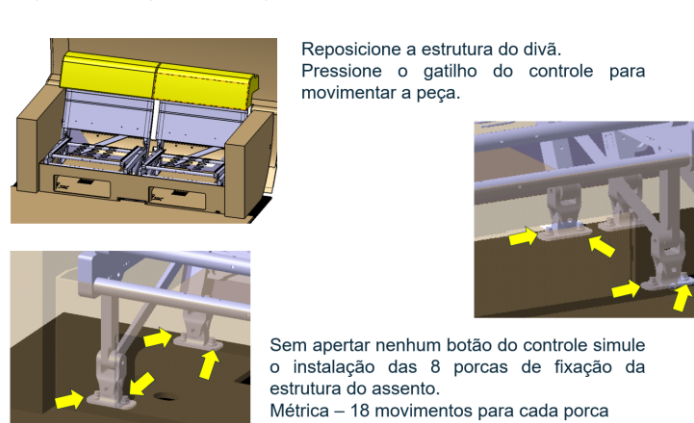
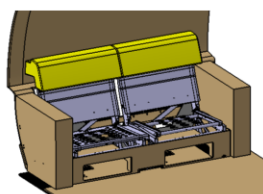


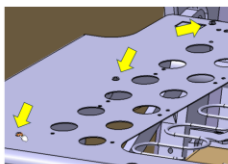
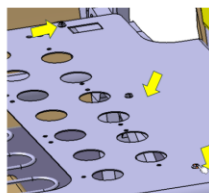
Figura B.0.22 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Instalação da chapa do assento do Divã

Fixada por 6 parafusos – Necessário utilização de ferramenta



Reposicione a chapa do assento do divã, pressione o gatilho do controle e mantenha-o pressionado enquanto movimenta a peça.



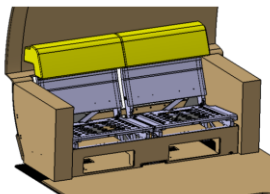
Sem apertar nenhum botão do controle simule a instalação dos 6 parafusos de fixação da chapa

Métrica – 18 movimentos para cada parafuso

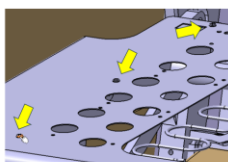
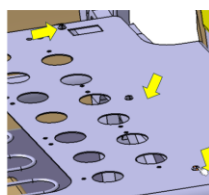
Figura B.0.23 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Instalação da chapa do assento do Divã

Repita o mesmo procedimento para a estrutura do divã direito



Reposicione a chapa do assento do divã, pressione o gatilho do controle e mantenha-o pressionado enquanto movimenta a peça.



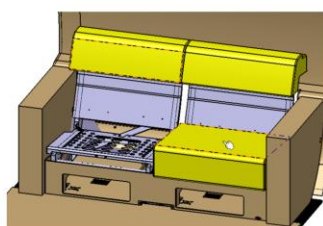
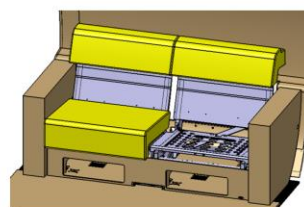
Sem apertar nenhum botão do controle simule a instalação dos 6 parafusos de fixação da chapa

Métrica – 18 movimentos para cada parafuso

Figura B.0.24 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Instalação da espuma

Instale a espuma do assento do divã, pressione o gatilho do controle e mantenha-o pressionado enquanto movimenta e posiciona a espuma do assento.

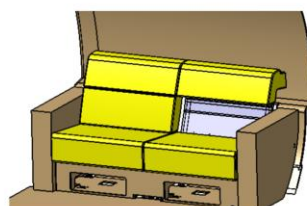
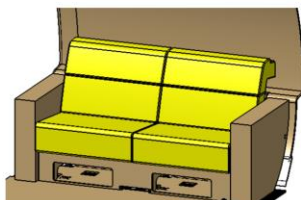


Repita a operação para a espuma do assento do divã direito. Pressione o gatilho do controle e mantenha-o pressionado enquanto movimenta e posiciona a espuma do assento.

Figura B.0.25 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Instalação da espuma

Instale a espuma do encosto do divã, pressione o gatilho do controle e mantenha-o pressionado enquanto movimenta e posiciona a espuma do encosto.



Repita a operação para a espuma do encosto do divã direito. Pressione o gatilho do controle e mantenha-o pressionado enquanto movimenta e posiciona a espuma do encosto.

Figura B.0.26 – Familiarização – Substituição Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Apêndice C – Questionário - Experimento

Nome: Voluntário #1		Data: 09/05
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Cenários	Instalação chapa metálica <input checked="" type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input type="checkbox"/>

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: Não avaliado peso e nem interferências com precisão.					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Como avalia sua dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: O cenário está muito bom e ajuda bastante a orientação de espaço para a execução das atividades. Em relação a dificuldade de montagem e desmontagem de fato está na instalação do assento					

Figura C.0.1 – Voluntário #1 - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

Nome: Voluntário #1		Data: 09/05
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Cenários	Instalação chapa metálica <input type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input checked="" type="checkbox"/>

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: Neste experimento comparado com o outro é um pouco mais complicado pois a chapa é maior, com necessidade de visão dos pontos dos parafusos dos dois lados do divan.					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: Mais parafusos e mais componentes para montar e desmontar comparado com a outra solução.					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Houve alguma dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: Comparado com a outra solução é pior pois tem mais componentes para desmontar mesmo sendo praticamente igual em relação os assentos e espumas.					

Figura C.0.2 – Voluntário #1 - Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Nome: Voluntário #2		Data: 13-05-2022
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Cenários	Instalação chapa metálica <input checked="" type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input type="checkbox"/>

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: Ainda possui a necessidade de remover a estrutura do divan, porém é necessário remover apenas um ao invés de dois. Tendo considerado isso, existe uma melhora.					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: A remoção de apenas 1 divan facilita a montagem e o fato de instalar uma peça adicional sem ter que remover o painel traseiro melhora a condição para instalação.					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Houve alguma dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: Mesmo comentário do item anterior, o fato de adicionar uma peça sem ter que remover o painel traseiro.					

Figura C.0.3 – Voluntário #2 - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

Nome: Voluntário #2		Data: 13-05-2022
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Cenários	Instalação chapa metálica <input type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input checked="" type="checkbox"/>

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: Para remover o painel traseiro, precisa remover as duas partes do divan. A remoção da estrutura do divan apresenta dificuldades devido ao acesso da fixação no piso.					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: A remoção das duas estruturas do divan é o fator que contribui para dificuldade da operação de remoção e consequentemente a remoção do painel traseiro.					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Houve alguma dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Figura C.0.4 – Voluntário #2 - Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Nome: Voluntário #3		Data: 16/05
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>
Cenários	Instalação chapa metálica <input checked="" type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input type="checkbox"/>

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Houve alguma dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Figura C.0.5 – Voluntário #3 - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

Nome: Voluntário #3		Data: 16/05
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>
Cenários	Instalação chapa metálica <input type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input checked="" type="checkbox"/>

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: Número de parafusos é cansativo					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Houve alguma dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Figura C.0.6 – Voluntário #3 - Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Nome: Voluntário #4		Data: 16/05
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Cenários	Instalação chapa metálica <input checked="" type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input type="checkbox"/>

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					
Alcance dos componentes com facilidade, devido ausência de atrito entre as peças.					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Houve alguma dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Figura C.0.7 – Voluntário #4 - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

Nome: Voluntário #4		Data: 16/05
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Cenários	Instalação chapa metálica <input type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input checked="" type="checkbox"/>

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: Alcance dos componentes com facilidade, devido ausência de atrito entre as peças.					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Houve alguma dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Figura C.0.8 – Voluntário #4 - Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Nome: Voluntário #5		Data: 23/05/22
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Cenários	Instalação chapa metálica <input checked="" type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input type="checkbox"/>

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Houve alguma dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Figura C.0.9 – Voluntário #5 - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

Nome: Voluntário #5		Data: 23/05/22
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Cenários	Instalação chapa metálica <input type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input checked="" type="checkbox"/>

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Houve alguma dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Figura C.0.10 – Voluntário #5 - Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Nome: Voluntário #6		Data: 25/05/22
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>
Cenários	Instalação chapa metálica <input checked="" type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input type="checkbox"/>

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: A visibilidade praticamente não muda em relação ao caso do painel, contudo, por ter menos movimentos, isso favorece o fato da movimentação e o alcance não serem tão bons. É um procedimento mais objetivo.					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: Melhor facilidade de montagem. Para mim foi uma montagem tão intuitiva quanto ao painel. Menor número de tarefas.					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Houve alguma dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: Realmente o espaço é restrito, porém melhor do que o caso do painel.					

Figura C.0.11 – Voluntário #6 - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

Nome: Voluntário #6		Data: 25/05/22
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>
Cenários	Instalação chapa metálica <input type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input checked="" type="checkbox"/>

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
A alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Se necessário incluir comentários:

Por se tratar de um painel inteiro sendo retirado e colocado, acessar tal parte é realmente pior, até mesmo porque tem-se maior quantidade de parafusos para serem retirados e colocados. Em termos de visibilidade para mim foi indiferente, mas a movimentação no caso com painel foi consideravelmente pior, em virtude, de ser um painel, ou seja, 2 lados. No caso que é apenas uma chapa, ter que mexer em apenas 1 lado facilitou.

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Se necessário incluir comentários:

O fato de ser um painel inclui ainda mais etapas ao procedimento de manutenção, tornando-o mais custoso.

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Houve alguma dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Se necessário incluir comentários:

É mais complicado principalmente retirar as porcas, o acesso é o pior de todos.

Figura C.0.12 – Voluntário #6 - Painel Traseiro (Fonte: o autor).

Nome: Voluntário #7		Data: 26/05/22
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Cenários	Instalação chapa metálica <input checked="" type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input type="checkbox"/>

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: Necessidade de ferramenta alongada para solda das porcas traseiras das porcas amarelas					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Houve alguma dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Figura C.0.13 – Voluntário #7 - Chapa Metálica (Fonte: o autor).

Nome: Voluntário #7		Data: 26/05/22	
Possui experiência com montagens de interiores de aeronaves		Sim <input checked="" type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>
Cenários	Instalação chapa metálica <input type="checkbox"/>	Substituição painel traseiro <input checked="" type="checkbox"/>	

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a acessibilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Visibilidade (Avaliar a dificuldade para visualizar os componentes a serem removidos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alcance (Avaliar a dificuldade em acessar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Limitações ergonômicas (Dificuldade em se realizar alguma atividade de a limitação ergonômica)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Movimentação (Deslocamento do operador e movimentação de Peças)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: Necessária ferramenta alongada para movimentação das porcas dos pés traseiros da estrutura do assento.					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Simplicidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Facilidade para executar as atividades (Considerar a facilidade para executar todas as atividades de cada cenário)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Montagem intuitiva (Considere se as montagens trazem dúvidas durante a sua execução)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quantidade de tarefas (Considere o número de atividades executadas em cada cenário)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários: Demanda tempo muito superior e cansaço quanto à quantidade de tarefas					

Utilizando a escala abaixo, como você avalia os seguintes itens relacionados a Manuseabilidade:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Espaço para movimentar os componentes (Houve alguma dificuldade em movimentar os componentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se necessário incluir comentários:					

Figura C.0.14 – Voluntário #7 - Painel Traseiro (Fonte: o autor).

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO			
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO DM	2. DATA 09 de janeiro de 2023	3. REGISTRO N° DCTA/ITA/DM-152/2022	4. N° DE PÁGINAS 174
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Análise de manutenibilidade para avaliar modificações que são incorporadas durante a fase de operação do produto.			
6. AUTOR(ES): Alexander Rodolfo Correia das Neves			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: 1. Manutenibilidade. 2. Multicritério. 3. Atributos.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: 1. Manutenção de aeronaves 2. Controle de processos 3. Requisitos 4. Engenharia aeronáutica			
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. Henrique Costa Marques. Defesa em 01/12/2022. Publicada em 2022.			
11. RESUMO: Este trabalho de pesquisa evidencia a importância em se investir em manutenção durante o desenvolvimento de modificações de produto incorporadas durante a fase de operação de uma aeronave. A manutenibilidade é uma característica intrínseca de um produto, e se incorporada adequadamente pode tornar as atividades de manutenção convenientes, rápidas e econômicas. É constatado que há poucos métodos disponíveis para a realização de análise de manutenibilidade, direcionados ao setor aeronáutico. Os métodos existentes apresentam algumas limitações, seja em relação aos atributos analisados e/ou ao método de cálculo utilizado. Essas limitações podem induzir o avaliador ao erro, e conseqüentemente trazer impactos para o operador, afetando a disponibilidade da aeronave, ocasionando aumento recorrente nos custos, recursos e ciclos necessários para a execução das tarefas de manutenção ao longo do ciclo de vida de um produto. O trabalho apresenta um arcabouço para a realização de análise de manutenibilidade referente às modificações incorporadas na fase de operação de uma aeronave. A metodologia apresentada neste arcabouço traz as seguintes contribuições; demonstrar o momento correto para estruturar as informações e identificar os requisitos de manutenibilidade que possam ser afetados; identificar os atributos de manutenibilidade presentes ao longo do ciclo de vida de um produto aeronáutico; e realizar as análises de manutenibilidade utilizando o método TOPSIS, podendo ser aplicado por um único avaliador para a realização de análises comparativas das possíveis propostas de modificação do produto. Dois estudos de caso são apresentados para demonstrar a aplicação da metodologia proposta. As análises de manutenibilidade são realizadas por três avaliadores. É confirmada que a subjetividade é inerente a tomada de decisão, principalmente na mensuração dos atributos que podem apresentar natureza quantitativa e/ou qualitativa. Um experimento em realidade virtual realizado para verificar as análises de manutenibilidade propiciou uma interação realista das atividades envolvidas nas tarefas executadas. Embora não seja possível capturar todas as percepções através de uma simulação em ambiente virtual, essa ferramenta proporciona capturar percepções como dificuldade, visualização, acesso e movimentação dos componentes. O arcabouço desenvolvido mostra-se adequado para realizar análises de manutenibilidade referentes às modificações que são incorporadas na fase de operação de uma aeronave, apresenta resultados mais consistentes em relação aos outros métodos analisados e disponibiliza uma resposta rápida e direta, com parâmetros mensuráveis e assertivos para serem utilizados em um processo de tomada de decisão para a aprovação de uma modificação do produto. É importante ressaltar que o arcabouço em si não é o tomador de decisão, mas uma ferramenta que fornece os dados necessários, em tempo hábil, para apoiar o processo de tomada de decisão para a incorporação de uma modificação no produto. Vale ressaltar que este trabalho não aborda as demais atividades envolvidas na suportabilidade do produto. Após a definição da melhor proposta de modificação do produto é necessário identificar os possíveis impactos no plano de manutenção, nas publicações técnicas, bem como nos demais elementos relacionados à suportabilidade do produto.			
12. GRAU DE SIGILO: <input checked="" type="checkbox"/> OSTENSIVO <input type="checkbox"/> RESERVADO <input type="checkbox"/> SECRETO			