

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS DE CURITIBA
DEPARTAMENTO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
E DE MATERIAIS – PPGEM

SIMÃO MARCON JUNIOR

DEFINIÇÃO DE RESERVA DE ESPAÇO DURANTE O PDP PARA
ASSEGURAR MANUTENÇÃO DE COMPONENTES-CHAVE

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2015

SIMÃO MARCON JUNIOR

**DEFINIÇÃO DE RESERVA DE ESPAÇO DURANTE O PDP PARA
ASSEGURAR MANUTENÇÃO DE COMPONENTES-CHAVE**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Área de Concentração em Engenharia de Manufatura, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, do Câmpus de Curitiba, da UTFPR.

Orientador: Prof. Carlos Cziulik, Ph. D.

CURITIBA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

M321d
2015

Marcon Junior, Simão
Definição de reserva de espaço durante o PDP para assegurar manutenção em componentes-chave / Simão Marcon Junior.-- 2015.
167 p.: il.; 30 cm

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, 2015
Bibliografia: p. 142-149

1. Projeto auxiliado por computador. 2. Sistema CAD/CAM. 3. Produtos novos. 4. Manutenibilidade (Engenharia). 5. Engenharia mecânica - Dissertações. I. Cziulik, Carlos, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 620.1

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba

TERMO DE APROVAÇÃO

SIMÃO MARCON JUNIOR

DEFINIÇÃO DE RESERVA DE ESPAÇO DURANTE O PDP PARA ASSEGURAR MANUTENÇÃO DE COMPONENTES-CHAVE

Esta dissertação foi julgada para a obtenção do título de mestre em engenharia, área de concentração em engenharia de manufatura, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais.

Prof. Dr. Paulo Cesar Borges
Coordenador de Curso

Banca Examinadora

Prof. D. Eng. José Aguiomar Foggiatto
(UTFPR)

Prof. Dr. Rui Francisco Martins Marçal
(PUC-PR)

Prof. D. Eng. Walter Luís Mikos
(UTFPR)

Prof. Carlos Cziulik, Ph. D
(UTFPR)

Curitiba, 28 de Agosto de 2015.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor orientador e amigo, Carlos Cziulik, pelos esclarecimentos e direcionamentos durante a dissertação.

A minha família, especialmente a minha querida mãe, pela força prestada e apoio incondicional nos momentos difíceis e de ausência.

A minha esposa, Fernanda, pela compreensão, companheirismo e paciência ao longo dos estudos.

Ao amigo e companheiro de trabalho, Andre Diogo Moscheto, por toda a ajuda e boas discussões ao longo da dissertação.

Ao colega Lucas Gonçalves Araújo pela ajuda durante a realização desse trabalho.

Aos companheiros de trabalho pelas dúvidas sanadas e ajuda irrestrita.

RESUMO

MARCON JUNIOR, Simão. Definição de reserva de espaço durante o PDP para assegurar manutenção em componentes-chave. 2015. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

Apesar da manutenibilidade ser considerada importante dentro do PDP, a literatura, bem como as metodologias de desenvolvimento de produto tratam desse parâmetro superficialmente e indiretamente. Baseado nisso, melhorar o endereçamento do parâmetro manutenibilidade se faz necessário durante as etapas iniciais do desenvolvimento do produto, onde os custos atrelados às alterações são menores. Uma forma de considerar a manutenibilidade é por meio das reservas de espaço. As reservas de espaço têm como objetivo assegurar o tratamento virtual, utilizando sistemas *CAD*, de um espaço que será empregado futuramente pelos técnicos para realizar a manutenção do produto. Atualmente, a reserva de espaço é empregada de forma manual, gastando horas do desenvolvimento de produto e dependente do conhecimento prévio de pessoas experientes. A presente dissertação tem como objetivo propor um conjunto de procedimentos e um aplicativo computacional para auxiliar a equipe de desenvolvimento de produto no tratamento do parâmetro manutenibilidade, por meio da reserva de espaço, de forma ágil e concisa. A metodologia usada para atingir os objetivos está disposta em três pilares: i/entender a literatura relevante ao tema; ii/desenvolver os procedimentos necessários e um aplicativo computacional para auxiliar a equipe de desenvolvimento, ao longo do PDP, a considerar a manutenibilidade; e iii/validação dos resultados. Com esse corpo de conhecimento, foi possível criar procedimentos e um aplicativo computacional que visam endereçar a manutenibilidade, com o uso de reservas de espaço, durante o PDP. A proposta foi validada por meio da apresentação dos procedimentos e do aplicativo a um grupo de profissionais da indústria automotiva. Com a coleta de respostas oriundas de dois questionários, pode-se avaliar os resultados obtidos. Os resultados indicam que os procedimentos e o aplicativo possuem potencial para melhorar a forma de considerar a manutenibilidade durante o PDP.

Palavras-chave: CAD; Manutenibilidade; PDP; Reserva de espaço.

ABSTRACT

MARCON JUNIOR, Simão. Space claim definition during PDP to ensure maintenance in key components. 2015. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

Even though maintainability is regarded as important in the PDP, both literature and PDP methodologies deal with this parameter superficially and in an indirect manner. With that, it becomes clear that the proper addressing of the maintainability parameter is necessary in the early stages of the PDP when the costs associated with design changes are smaller. One way of addressing maintainability is through the use of space claims. The space claims have as their goal to assure the virtual analysis using *CAD* systems, during product development, of the space that will be used by technicians to perform product maintenance. Currently, the space claims are done manually, spending valuable development time/hours and dependent on the previous knowledge of experts. The purpose of this thesis is to propose a set of procedures and a computer application to assist the product development team in the treatment of maintainability parameter, through the usage of space claims, agile and concisely. The methodology used to reach the objectives is supported by three main components: i/understanding the relevant literature; ii/ developing the needed procedures and a computer application to assist the product development team, during PDP, to address maintainability; and iii/results validation. With this knowledge, it was possible to design the procedures and a computer application aiming to address the maintainability, through the space claims, during PDP. The proposal was validated through the presentation of procedures and computer application to a professional group in the automotive industry. By collecting answers originated from two questionnaires, could evaluate the results. The results show that set of procedures and computer application have a potential to improve the way of address maintainability during PDP.

Keywords: CAD; Maintainability; PDP; Space claim.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de consideração do parâmetro de manutenibilidade no PDP...19	19
Figura 2 – Exemplo de reserva de espaço e rotas de saída21	21
Figura 3 – Fases do PDP de acordo com autores pesquisados.....28	28
Figura 4 – Etapas do ciclo de vida29	29
Figura 5 – Custo do ciclo de vida do produto30	30
Figura 6 – Ferramenta <i>DELMIA</i> – Acessibilidade de desmontagem39	39
Figura 7 – Vida útil de um produto41	41
Figura 8 – Evolução do produto no PDP43	43
Figura 9 – Direções de remoção e movimentação de conexões.....52	52
Figura 10 – Composição básica de um parafuso55	55
Figura 11 – Espaços requeridos para operações com ferramentas mecânicas59	59
Figura 12 – Diagrama esquemático do tamanho das mãos61	61
Figura 13 – Verificação da acessibilidade utilizando realidade virtual.....64	64
Figura 14 – Verificação de acessibilidade em ambiente virtual66	66
Figura 15 – Exemplo de reserva de espaço68	68
Figura 16 – Procedimentos para a alocação da manutenibilidade por meio da reserva de espaço.....74	74
Figura 17 – Estrutura para o desenvolvimento do aplicativo computacional80	80
Figura 18 – Planejamento do aplicativo computacional82	82
Figura 19 – Principais dimensões dos componentes88	88
Figura 20 – Conjunto base (placa superior + placa inferior + elemento de fixação)88	88
Figura 21 – Dimensões principais da chave combinada90	90
Figura 22 – Dimensões principais da chave soquete90	90
Figura 23 – Dimensões principais da chave catraca91	91

Figura 24 – Dimensão na extremidade do conjunto catraca-soquete	91
Figura 25 – Dimensões principais do torquímetro	92
Figura 26 – Dimensão na extremidade do torquímetro	92
Figura 27 – Forma de empunhar uma ferramenta – chave combinada.....	93
Figura 28 – Tela do programa <i>DELMIA</i> apresentando a criação do manequim....	94
Figura 29 – Tela do programa <i>3DVia</i> apresentando o manequim utilizado no estudo	95
Figura 30 – Dimensões da mão virtual oriundas do programa <i>DELMIA</i>	96
Figura 31 – Conjunto base e as ferramentas utilizadas no estudo.....	99
Figura 32 – Interferência entre a mão virtual e a região de empunhadura da ferramenta.....	99
Figura 33 – Manequim virtual com as ferramentas e o conjunto base	100
Figura 34 – Movimentos do elemento de fixação	101
Figura 35 – Remoção de elementos desnecessários para a geração da reserva de espaço.....	102
Figura 36 – Posição inicial e final da mão virtual e ferramenta, ângulo de 45° ...	103
Figura 37 – Volume gerado considerando um ângulo de 45°	104
Figura 38 – Volume aberto no programa <i>SOLIDWORKS</i>	105
Figura 39 – Deslocamento de elemento de fixação	106
Figura 40 – Volume chave combinada e componente	106
Figura 41 – Modelo digital para a aplicação demonstrativa	116
Figura 42 – Modelo digital para a realização da validação.....	126
Figura 43 – Idade dos participantes da validação	127
Figura 44 – Tempo de atuação dos participantes na empresa	128
Figura 45 – Tempo de atuação no mercado de trabalho.....	128
Figura 46 – Exemplos de elementos de fixação.....	150
Figura 47 – Grupos de parafusos.....	151

Figura 48 – Características dos tipos de parafusos	152
Figura 49 – Tipos de parafusos.....	153
Figura 50 – Ferramentas de aperto.....	155
Figura 51 – Elementos de fixação definidos – Etapa 2	156
Figura 52 – Seleção das ferramentas – Etapa 3	156
Figura 53 – Interferência entre as ferramentas e a tubulação	156
Figura 54 – Movimentação da ferramenta – Etapa 3	157
Figura 55 – Consideração dos aspectos ergonômicos – Etapa 4	157
Figura 56 – Reserva de espaço gerada apresentando as interferências	158
Figura 57 – Tela inicial do programa <i>SOLIDWORKS</i> com a aba do aplicativo computacional.....	159
Figura 58 – Seleção de componentes.....	159
Figura 59 – Seleção das ferramentas mecânicas	159
Figura 60 – Seleção dos parâmetros de movimentação	160
Figura 61 – Reserva de espaço inserida no modelo de estudo.....	160
Figura 62 – Verificação do tempo de reparo	161
Figura 63 – Resultado da acessibilidade.....	161

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores para a desmontagem de elementos de fixação.....	54
Tabela 2 – Tempo para a substituição de elementos de fixação.....	54
Tabela 3 – Tamanho das mãos de pessoas em diferentes percentis (em mm)	60
Tabela 4 – Relação entre dimensões da mão virtual e valores de referência	96
Tabela 5 – Resultados dos cálculos de percentis	98
Tabela 6 – Volumes, tempos encontrados na literatura, fatores de multiplicação e tempo final.....	109
Tabela 7 – Funções e etapas do processo utilizando o aplicativo computacional	111
Tabela 8 – Demonstração do conjunto de procedimentos	117
Tabela 9 – Demonstração do aplicativo computacional	121
Tabela 10 – Compilação dos tempos de cada etapa da aplicação demonstrativa	123
Tabela 11 – Relação entre funções do aplicativo e etapas do processo.....	125
Tabela 12 – Correlação entre norma <i>ISO versus DIN</i>	154

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Correlação entre os tipos de conexão	51
Quadro 2 – Detalhamento do conjunto de procedimento para a alocação da manutenibilidade	78
Quadro 3 – Nomenclatura dos arquivos digitais	108
Quadro 4 – Funções de cada botão do aplicativo computacional	115

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3DXML – *3D model plus XML language* (Modelo tridimensional mais linguagem XML)

API – *Application Programming Interface* (Interface de Programação de Aplicativos)

CAD – *Computer Aided Design* (Projeto Auxiliado por Computador)

DIN – *Deutsches Institut für Normung* (Instituto Alemão para Normatização)

DFA – *Design for Assembly* (Projeto para a Montagem)

DFD – *Design for Disassembly* (Projeto para a Desmontagem)

DFM – *Design for Manufacturing* (Projeto para a Manufatura)

DFMt – *Design for Maintainability* (Projeto para a Manutenibilidade)

DFSv – *Design for Serviceability* (Projeto para o Serviço)

DFX – *Design for X* (Projeto para X)

ISO – *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Padronização)

MTBF – *Mean Time Between Failure* (Tempo Médio entre Falhas)

MTTR – *Mean Time To Repair* (Tempo Médio de Reparo)

PDP – Processo de Desenvolvimento de Produto

SDK – *Software Development Kit* (Kit de Desenvolvimento de Software)

SLDASM – *SOLIDWORKS Assembly* (Montagem)

SLDPRT – *SOLIDWORKS Part* (Componente)

STEP – *Standard for the Exchange of Product model data* (Padronização para a Troca de Dados do Produto)

VRML – *Virtual Reality Modelling Language* (Modelagem da Linguagem da Realidade Virtual)

WRL – *Worlds* (Associado ao VRML)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 DEFINIÇÃO DA OPORTUNIDADE.....	18
1.2 OBJETIVO	22
1.3 JUSTIFICATIVA.....	22
1.4 ABORDAGEM METODOLÓGICA	23
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2 ABORDAGEM DA MANTENABILIDADE DURANTE O PDP.....	25
2.1 O QUE É PRODUTO?	25
2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO – PDP.....	25
2.3 CUSTOS DURANTE O CICLO DE VIDA DE UM PRODUTO	28
2.4 O QUE É MANUTENÇÃO?	30
2.4.1 Tipos de manutenção	31
2.5 MANTENABILIDADE	32
2.6 MÉTRICAS E PARÂMETROS DA MANTENABILIDADE	33
2.6.1 Métricas quantitativas	33
2.6.1.1 Confiabilidade.....	34
2.6.1.2 Tempo médio de reparo (Mean Time to Repair – MTTR).....	34
2.6.1.3 Disponibilidade	36
2.6.2 Métricas qualitativas	37
2.6.3 Parâmetros da manutenibilidade	37
2.6.3.1 Acessibilidade.....	38
2.6.3.2 Padronização e simplificação	40
2.7 A MANTENABILIDADE NO PDP	40
2.8 TÉCNICAS DE AUXÍLIO AO PROJETO – TÉCNICAS DFX	44
2.8.1 Projeto para a montagem (<i>Design for assembly – DFA</i>)	45
2.8.2 Projeto para a desmontagem (<i>Design for disassembly – DFD</i>)	46
2.8.3 Projeto para o serviço (<i>Design for Serviceability – DFSv</i>)	47
2.8.4 Projeto para a manutenibilidade (<i>Design for maintainability – DFMt</i>)	48
2.8.4.1 Benefícios da aplicação da técnica DFMt.....	48
2.9 CONEXÕES MECÂNICAS	49
2.9.1 Tipos de conexão	50
2.9.2 Direção de remoção	52
2.9.3 Elementos de fixação	53
2.9.3.1 Parafusos	54

2.10 FERRAMENTAS PARA OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO	56
2.10.1 Ferramentas mecânicas universais	57
2.11 ERGONOMIA.....	58
2.11.1 Tamanho das mãos	60
2.12 ENGENHARIA SIMULTÂNEA	61
2.13 UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS CAD	63
2.13.1 Reserva de espaço	67
2.14 CARACTERIZAÇÃO DA OPORTUNIDADE E MOTIVAÇÃO PARA A INVESTIGAÇÃO	70
3 CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS E APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA ALOCAÇÃO DA MANTENABILIDADE.....	72
3.1 CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS PARA A ALOCAÇÃO DA MANTENABILIDADE UTILIZANDO RESERVA DE ESPAÇO	73
3.2 APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA A ALOCAÇÃO DA MANTENABILIDADE	80
3.2.1 Planejamento e funções básicas do aplicativo computacional	81
3.2.2 Definição das funções adicionais.....	84
3.2.3 Criação do banco de dados	85
3.2.3.1 Programas computacionais e extensões de arquivos	85
3.2.3.2 Definição do conjunto base	87
3.2.3.3 Definição das ferramentas mecânicas universais utilizadas.....	89
3.2.3.4 Características ergonômicas: considerações	92
3.2.3.5 Definição do manequim virtual	94
3.2.3.6 Definição do tamanho da mão virtual	96
3.2.3.7 Integração das ferramentas mecânicas e mão virtual	98
3.2.3.8 Definição dos movimentos.....	100
3.2.3.9 Criação das reservas de espaço	101
3.2.3.10 Abertura do volume gerado no programa SOLIDWORKS.....	104
3.2.3.11 Nomenclatura dos arquivos	107
3.2.3.12 Considerações para o cálculo do tempo de remoção/instalação.....	108
3.2.4 Implementação em sistema CAD	110
3.2.5 Apresentação das funcionalidades do aplicativo computacional	111
3.3 APLICAÇÃO DEMONSTRATIVA – CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS <i>versus</i> APLICATIVO COMPUTACIONAL	116
3.3.1 Demonstração do conjunto de procedimentos proposto.....	117
3.3.2 Demonstração do aplicativo computacional.....	120

4 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO	124
4.1 VERIFICAÇÃO DAS FUNÇÕES DO APLICATIVO COMPUTACIONAL ...	124
4.2 VALIDAÇÃO DO CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS E DO APLICATIVO COMPUTACIONAL	125
4.2.1 Identificação dos participantes.....	127
4.2.2 Resultados da validação do conjunto de procedimentos.....	129
4.2.3 Resultados da validação do aplicativo computacional.....	133
4.2.4 Considerações finais sobre a validação	135
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS ...	137
5.1 CONCLUSÕES.....	137
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	140
PRODUÇÃO CIENTÍFICA NO PERÍODO (2011-2015)	141
REFERÊNCIAS.....	142
APÊNDICE A – ELEMENTOS DE FIXAÇÃO	150
APÊNDICE B – GRUPOS DE PARAFUSOS	151
APÊNDICE C – CARACTERÍSTICAS DOS PARAFUSOS.....	152
APÊNDICE D – TIPOS DE PARAFUSOS	153
APÊNDICE E – NORMA ISO VERSUS NORMA DIN	154
APÊNDICE F – FERRAMENTAS DE APERTO	155
APÊNDICE G – DEMONSTRAÇÃO DO CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS	156
APÊNDICE H – DEMONSTRAÇÃO DO APLICATIVO COMPUTACIONAL.....	159
APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO PARA A VALIDAÇÃO DO CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS.....	162
APÊNDICE J – QUESTIONÁRIO PARA A VALIDAÇÃO DO APLICATIVO COMPUTACIONAL	165

1 INTRODUÇÃO

Na literatura e durante a criação de novos produtos, a manufatura tem assumido uma função importante ao considerar as suas demandas ao longo do processo de desenvolvimento do produto (MOSCHETO, 2009). Contudo, com os atuais níveis de competitividade (com o efeito da globalização), a lucratividade nas vendas do produto está sendo pressionada, obrigando as empresas a obter dividendos em outros setores e, até mesmo, incorporando novos meios de desenvolvimento de produto que proporcionem maior lucratividade (MOSCHETO, 2009). De acordo com Coulibaly, Houssin e Mutel (2008), o processo de desenvolvimento de produto corrente chegou ao seu limite e as empresas têm de aprimorar seus conhecimentos em questões ambientais e do ciclo de vida de produtos gerando assim novas formas de encantamento de seus clientes.

Sendo assim, para o sucesso de um produto no mercado, é imprescindível a conversão de novas solicitações de um futuro cliente em um produto capaz de superar suas necessidades e demandas. Deste modo, o processo de transformação das demandas em um artigo/serviço/sistema chama-se Processo de Desenvolvimento do Produto, ou simplesmente PDP. Considerando o PDP, a equipe de desenvolvimento de produto recebe uma série de requisitos que devem ser abordados, tais como: aspectos de manufatura, custo restrito e controlado, novas funcionalidades e respeito aos padrões de qualidade e confiabilidade (ZIMMERMAN; BERGSJÖ; MALMQVIST, 2006).

Todas essas demandas são atreladas a uma pressão pela entrega de novos produtos para o mercado. Sendo assim, esporadicamente a equipe de desenvolvimento de produto pode não interpretar e/ou ponderar os aspectos considerados fundamentais para a vida do produto, gerando impactos negativos para o pós-venda. Uma das demandas que não é priorizada ou é considerada de modo superficial dentro durante o PDP é a forma como deverá ser realizada a manutenção do produto (suporte do produto no campo). Inclui-se nessa área, disponibilidade, custo de peças de reposição, acessibilidade¹ aos componentes com taxa de falha mais elevada e baixos tempos de reparo (melhorando a

¹ O termo acessibilidade apresentado nessa dissertação está relacionado com facilidade de acessar/alcançar conjuntos e/ou elementos de um sistema.

disponibilidade). Negligenciando itens básicos de pós-vendas, como tempo de reparo, valor de revenda, custo no pós-venda, custos de peças de reposição e criação de soluções exclusivas para o mercado de pós-venda, gera-se insatisfação e reduz-se a disponibilidade do produto para o cliente final (MOSCHETO, 2009).

Portanto, para reduzir possíveis conflitos com o pós-venda, um item que não pode ser ignorado é a forma de realização da manutenção do produto durante o seu ciclo de vida. Segundo Blanchard e Fabrycky (2006), a manutenção é a constituição de uma série de ações necessárias para restabelecer ou manter um produto em seu estado operacional. De acordo com MIL-HDBK-470A (1997), manutenabilidade² é a capacidade de um sistema se manter e/ou retornar a um estado funcional específico, tendo a manutenção como ferramenta básica. Baseado nisso, o parâmetro de engenharia que deve ser considerado é a manutenibilidade, enquanto que a manutenção é o resultado encontrado no produto desenvolvido.

Sendo assim, para que o parâmetro manutenibilidade seja considerado dentro do PDP, algumas etapas devem ser contempladas até o produto final ser disponibilizado para o cliente. Inicia-se com estudos preliminares e verificações conceituais, projeto preliminar e detalhado contendo a solução proposta, chegando à industrialização, comercialização e acompanhamento do produto durante o seu uso.

Durante o uso do produto, é desejável que o mesmo não passe por intervenções frequentes durante o seu ciclo de vida. Porém, isso nem sempre é possível de ser atingido, devido a restrições como custo de projeto, custo de produto, limitações técnicas e de tecnologia. Assumindo que o produto passará por atividades de manutenção durante a sua vida útil, fica latente a necessidade de abordar a manutenibilidade como parte integrante do desenvolvimento do produto.

Devido a isso, a equipe de desenvolvimento de produto deve estar capacitada para entender a realidade de como é realizada a manutenção do sistema e, por meio da utilização de ferramentas de auxílio ao desenvolvimento, com foco

² Manutenibilidade é a capacidade de um sistema se manter e/ou retornar a um estado funcional específico, aonde se tem a manutenção como a ferramenta por meio da qual se atinge esse objetivo (MIL-HDBK-470A, 1997). Na literatura, encontram-se também os termos manutenibilidade e manutenibilidade. Todos os termos, manutenibilidade, manutenibilidade e manutenibilidade estão corretos e têm o mesmo sentido. Manutenibilidade, segundo Babylon (2014), vem do inglês *Maintainability*. Por deliberação do autor, será convencionado Manutenibilidade como nomenclatura base ao longo dessa dissertação.

em manutenção, considerar o parâmetro manutenibilidade de acordo com a necessidade do produto em desenvolvimento.

1.1 DEFINIÇÃO DA OPORTUNIDADE

Como apresentado na seção anterior e, considerando todos os aspectos negativos quando se negligencia itens de manutenibilidade e pós-vendas no PDP, um aspecto importante e que deve ser considerado no desenvolvimento de novas soluções diz respeito à manutenção do produto no campo, evitando assim, impactos desagradáveis no pós-venda.

Levando em consideração que todo o produto passará por alguma intervenção durante a sua utilização/vida útil, pode-se considerar que a demanda por uma melhor manutenibilidade e disponibilidade do produto ao longo do desenvolvimento do produto é importante e fundamental para o sucesso das empresas (aumento do reconhecimento, participação de mercado, entre outros).

Contudo, a equipe de desenvolvimento deve estar em sintonia para interpretar e considerar os efeitos dessas intervenções no desempenho do produto bem como balizar o desenvolvimento das soluções por meios de indicadores de desempenho, qualidade, funcionalidade e, principalmente, custo, considerado como aceitável ou não aceitável para o produto em questão. Um aspecto importante que deve ser levado em consideração é em que momento do PDP a manutenibilidade deve ser implementada, ressaltando que as metodologias clássicas de desenvolvimento de produto abordam superficialmente o tema.

Apesar de Blanchard e Fabrycky (2006), Rozenfeld *et al.* (2006) e Pahl *et al.* (2005) considerarem importante a inclusão da manutenibilidade como um parâmetro de projeto, apresentando algumas diretrizes e indicadores (e.g. $MTTR^3$), não está clara a forma de se abordar o tema durante o desenvolvimento do produto tanto quanto hoje a manufatura é considerada dentro do PDP. Sendo assim, é sabido que a manutenibilidade é importante. Porém, a literatura não traz subsídios confiáveis que conduzam um engenheiro de desenvolvimento de produto a compreender e assegurar a entrega das demandas e/ou solicitações de manutenibilidade,

³ *MTTR* – *Mean Time to Repair* – Tempo Médio de Reparo – Medição do intervalo de tempo para que se realize um ciclo de manutenção.

provenientes dos requisitos de projeto e solicitações do pós-venda, e que sejam incluídos de forma adequada no desenvolvimento do produto até o seu descarte.

Conseqüentemente, para avançar o conhecimento relacionado à manutenção durante o desenvolvimento do produto, é necessário um melhor entendimento de como a manutenibilidade pode ser enquadrada de uma forma sistemática e confiável durante do PDP.

Moscheto (2009) propôs um modelo para considerar o parâmetro manutenibilidade durante o desenvolvimento do produto, bem como considerou as responsabilidades de atuação durante as fases do PDP nas atividades-chave que devem ser executadas, conforme mostrado na Figura 1.

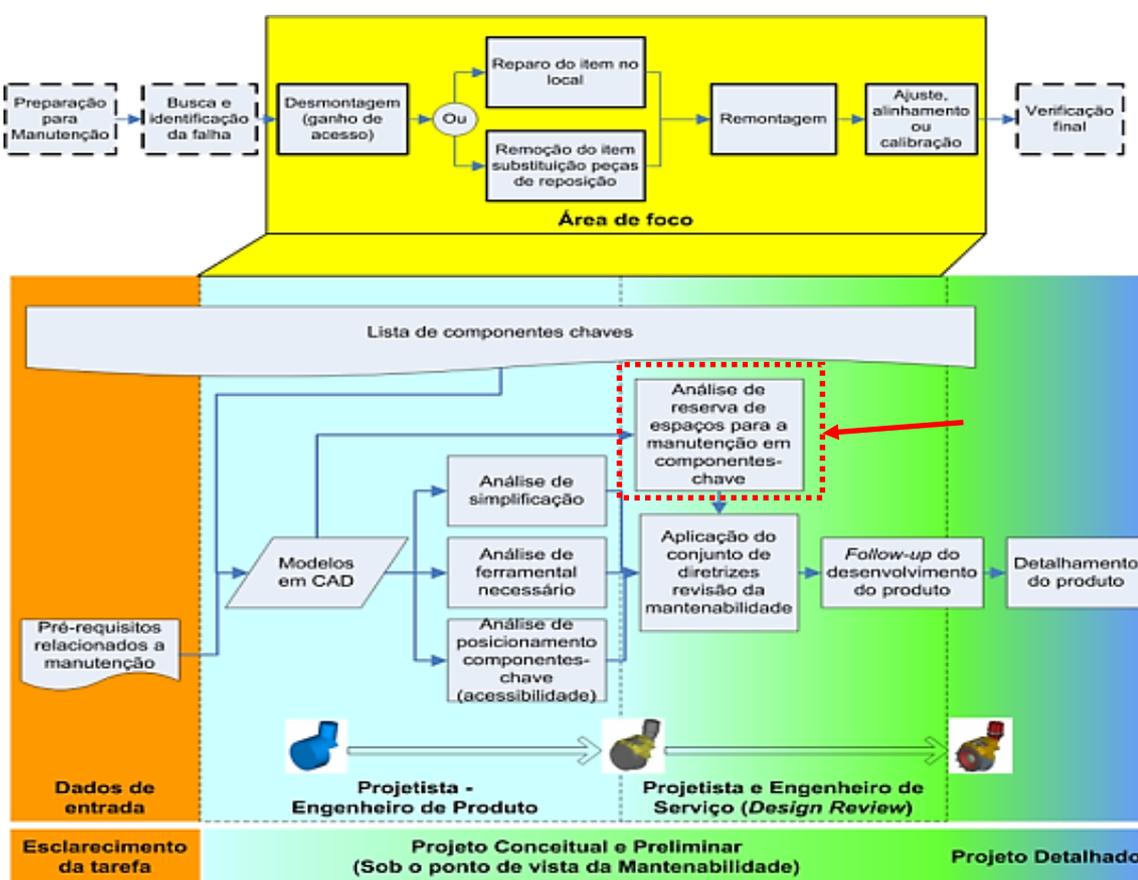


Figura 1 – Modelo de consideração do parâmetro de manutenibilidade no PDP⁴
 Fonte: Moscheto (2009).

O conceito mostrado na Figura 1 foi desenvolvido a partir da proposta de fases apresentada em Pahl *et al.* (2005) e adaptada para o endereçamento da

⁴ Todas as Figuras, Tabelas e Quadros sem identificação explícita da fonte foram produzidas pelo autor da dissertação.

mantenabilidade ao longo do PDP. Considerar a manutenibilidade ao longo do PDP, objetivando redução dos custos de reparo, melhorando a disponibilidade dos produtos e, conseqüentemente, aumentando a lucratividade do sistema, poderá ser um elemento de diferenciação dos produtos no mercado.

Moscheto (2009) desenvolveu uma forma de considerar manutenibilidade no desenvolvimento do produto convertendo a linguagem do pós-vendas (campo) em linguagem da engenharia do produto (projetista). Essa conversão acontece na forma de identificação do potencial de interferência entre componentes. Uma sistemática para assegurar a reserva de espaço⁵ foi desenvolvida de forma a garantir o espaço necessário para a manutenção de componentes-chave⁶.

O mecanismo de reserva de espaço está disponível em ambiente *CAD* e pode ser empregado pela equipe de desenvolvimento do produto para verificações e consultas de volumes e colisões entre os componentes que estão em desenvolvimento.

A cada novo componente idealizado pela equipe de desenvolvimento, analisa-se a existência ou não de interferência dos componentes com a reserva de espaço previamente gerada. Em caso de interferência entre algum outro componente, analisa-se a ocorrência de algum problema na manutenção do produto como a limitação de acesso aos componentes, problemas de remoção de outras peças, entre outros.

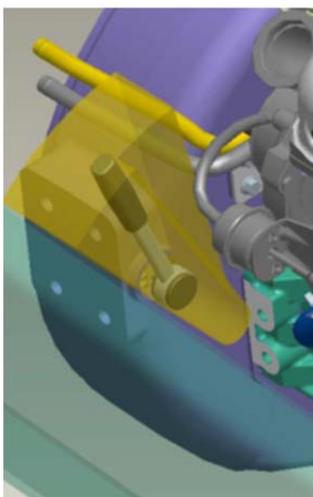
Outra forma de considerar manutenibilidade é mediante utilização das rotas de saída de componentes. As rotas de saída são criadas utilizando aplicativos computacionais específicos, como mostrado em IPS (2014). Esse aplicativo auxilia na avaliação da remoção de componentes, informando se existirão problemas ou não quando realizar a operação de retirada do componente.

A principal diferença entre reserva de espaço e rotas de saída, é que na reserva de espaço o volume gerado para considerar a manutenibilidade é realizado de forma proposital para assegurar que não haverá a interferência de outros

⁵ Volume criado para salvaguardar um espaço necessário para a realização da manutenção, com ou sem a utilização de ferramentas, em componentes-chave.

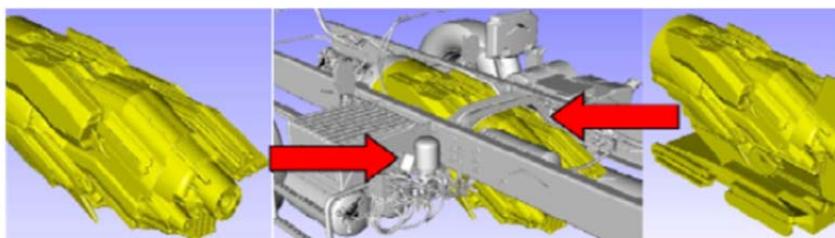
⁶ Componentes-chave são componentes e/ou módulos que possuem uma alta taxa de falha e/ou que estão conectados à manutenção preventiva e devem ser considerados de fácil remoção e fácil manutenibilidade (MOSCHETO, 2009).

componentes na operação de manutenção, enquanto rotas de saída são inerentes ao componente que está sendo removido/instalado (considerando o ambiente onde está inserido). A Figura 2 apresenta uma reserva de espaço gerada propositalmente para uma ferramenta de giro de um motor (2a) e uma rota de saída da remoção de uma caixa de transferência (2b).



a/ exemplo de reserva de espaço.

Fonte: Moscheto (2009).



b/ exemplo de rota de saída.

Fonte: Moscheto *et al.*, (2011).

Figura 2 – Exemplo de reserva de espaço e rotas de saída

Para atender uma determinada rota de saída de um ponto inicial até o ponto final, é necessário um espaço reservado para utilização de ferramentas, movimentação das mãos e/ou parte do corpo do técnico de manutenção e movimentação/remoção do componente-chave.

A forma de considerar a manutenibilidade utilizando reserva de espaços e/ou rotas de saída para garantir a acessibilidade é muito válida e útil durante as etapas iniciais do desenvolvimento do produto, pois asseguram para componentes-chave, uma forma direta de garantir a correta manutenção do produto ao longo do ciclo de vida.

Atualmente, o desenvolvimento da reserva de espaço ocorre de forma manual (utilizando sistemas CAD de modelagem) onerando o projeto com uma carga extra de custo (horas de engenharia para o desenvolvimento das reservas de espaço para considerar o parâmetro manutenibilidade). Além disso, é dependente do conhecimento prévio do engenheiro/analista de pós-venda/reparo e não considera

alguns fatores importantes para o seu desenvolvimento (e.g. tamanho das mãos dos técnicos de manutenção, diferentes ferramentas, entre outros).

Sendo assim, a manutenibilidade é considerada um parâmetro importante do desenvolvimento do produto e diretamente associado à satisfação dos clientes. Portanto, torna-se relevante para o avanço do conhecimento dentro do PDP que a manutenibilidade e a relação entre literatura e prática possa ser melhor estudada. Além disso, existe a possibilidade de propor melhorias no processo de geração das reservas de espaço.

1.2 OBJETIVO

O objetivo da presente dissertação é: i/ desenvolver um conjunto de procedimentos; e ii/ criar um aplicativo computacional para auxiliar a equipe de desenvolvimento de produto no tratamento do parâmetro manutenibilidade por meio do uso da reserva de espaço, considerando o correto endereçamento da acessibilidade, assegurando melhorias na manutenção de equipamentos industriais, de forma rápida, visual e abordando fatores negligenciados, tais como: i/ aspectos ergonômicos; ii/ ferramentas; iii/ movimentações; entre outros.

1.3 JUSTIFICATIVA

Acredita-se que com um conjunto de procedimentos e um aplicativo computacional que auxilie a equipe de desenvolvimento de produto, alguns dos principais aspectos relacionados à manutenibilidade poderão evoluir, tais como:

- a/ Redução das horas gastas no desenvolvimento das reservas de espaço;
- b/ Diminuição da dependência de engenheiros de produto/reparo experientes no desenvolvimento da reserva de espaço;
- c/ Garantia do correto endereçamento da manutenibilidade durante o PDP utilizando reserva de espaço como forma de gerenciamento visual;
- d/ Redução de tempo de reparo de produtos;
- e/ Melhoraria da manutenção em equipamentos industriais;
- f/ Assegurar a acessibilidade para elementos de fixação.

Aprimorando a manutenibilidade no PDP, a disponibilidade do produto para o cliente final será afetada positivamente. Em veículos comerciais, por exemplo, a disponibilidade do produto é um fator competitivo para o fechamento de vendas para grandes empresas bem como fator decisivo para a escolha da marca A ou B.

1.4 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A presente pesquisa envolverá uma abordagem teórico-prática. O objetivo principal será a elaboração de procedimentos e um aplicativo computacional para auxiliar a equipe de desenvolvimento de produto a considerar o parâmetro da manutenibilidade no PDP, sendo estruturada por análise da bibliografia disponível, com o objetivo de avaliar e mensurar os conceitos da manutenibilidade, reserva de espaço e outros parâmetros.

O tipo de pesquisa a ser desenvolvida, do ponto de vista da sua natureza, será pesquisa aplicada, uma vez que estará focada à geração de conhecimentos para aplicação prática posterior, com o objetivo de solucionar um problema específico – auxiliar a equipe de desenvolvimento, utilizando a reserva de espaço, a endereçar a manutenibilidade no PDP, com redução de horas de desenvolvimento, redução de tempo de reparo, melhora na acessibilidade de componentes-chave e redução da dependência de pessoas experientes.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1, tem-se a introdução sobre o cenário atual do PDP *versus* parâmetro manutenibilidade. São expostos, também, a justificativa os objetivos e a abordagem metodológica.

O capítulo 2 contém uma revisão da literatura explorando a forma como a manutenibilidade vem sendo abordada na bibliografia corrente considerando a apresentação desse tema por outros autores e parâmetros relevantes para o presente estudo. É apresentada a forma como a manutenção é endereçada durante o PDP. São examinados ainda alguns pontos marginais à manutenibilidade como técnicas de auxílio (*DFX's*), utilização de sistemas de modelagem 3D (*CAD*), métricas e verificações da manutenibilidade durante as etapas de desenvolvimento de produto.

Um conjunto de procedimentos e um aplicativo computacional são apresentados no capítulo 3, buscando atingir o objetivo de auxiliar a equipe de desenvolvimento, com a utilização da reserva de espaço. Conseqüentemente, espera-se contribuir com a engenharia de desenvolvimento de produto no correto endereçamento da manutenibilidade durante as fases iniciais do desenvolvimento do produto.

No quarto capítulo destacam-se os resultados da verificação e da validação dos procedimentos e do aplicativo computacional proposto no capítulo 3, com a aplicação da ferramenta em um caso real, colhendo informações sobre a validade do estudo com engenheiros e analistas de desenvolvimento de produto/reparo experientes.

Por fim, a conclusão do presente estudo e propostas para trabalhos futuros são apresentadas.

2 ABORDAGEM DA MANTENABILIDADE DURANTE O PDP

O corrente capítulo irá contextualizar a sustentabilidade e como esse parâmetro é abordado atualmente durante o PDP apresentando aspectos importantes para o desenvolvimento da presente dissertação.

2.1 O QUE É PRODUTO?

O termo “produto” pode receber definições diferentes, dependendo da área de atuação. As definições relacionadas à área industrial e administrativa são as mais comuns. Com um conceito voltado para o comércio, Kotler (1998) define o termo **produto**, amplo ou expandido, como sendo um conjunto de soluções e serviços agregados que acompanham o produto em si, por exemplo, imagem, a garantia, serviço de entrega, valor cultural entre outros.

Para Costa (1987), adicionalmente aos pontos de Kotler, produto apresenta algumas especificações das características, sendo compreendido por atributos tangíveis (cor, embalagem, desenho industrial) e intangíveis (reputação da marca, imagem do produto e do fabricante, serviços, pós-venda entre outros), servindo como base para a decisão do consumidor no que tange as suas necessidades e/ou desejos.

Back *et al.* (2008) define produto como um “objeto concebido, produzido industrialmente com características e funções, comercializado e usado pelas pessoas ou organizações, de modo a atender seus desejos ou necessidades”.

Baseado nas definições, identificar e entender as necessidades e desejos dos clientes de forma hábil, ágil e com custo relativamente baixo de produção é parte integrante do desempenho e sucesso das companhias no que se refere ao desenvolvimento de novos produtos.

2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO – PDP

Grande parte do sucesso econômico das companhias está associada às habilidades em identificar as necessidades dos clientes e, com agilidade, criar produtos que atendam a essas solicitações, sendo produzidos a um custo relativamente baixo. Atender as necessidades dos clientes não é somente um

problema de marketing, ou mesmo apenas de projeto ou da produção, é um problema de desenvolvimento do produto, que envolve esses e outros setores da companhia (ULRICH e EPPINGER, 2000).

Para converter uma ideia gerada em um produto de sucesso no mercado, usualmente, se faz necessária a aplicação de um processo de desenvolvimento de produto (PDP). Sendo assim, o PDP pode ser definido como um conjunto de atividades a partir das quais se buscam, baseado nas necessidades do mercado, das possibilidades e/ou limitações tecnológicas e considerando as estratégias da companhia, alcançar as especificações de projeto de um produto e sua confecção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo.

Além disso, o desenvolvimento abrange o acompanhamento do produto após o lançamento no mercado, bem como o planejamento de sua descontinuidade. Sendo assim, é importante incorporar os conceitos de acompanhar o produto após o lançamento e planejar a sua retirada do mercado, durante a especificação do projeto atendendo assim, às necessidades do produto ao longo do seu ciclo de vida (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Clark e Fujimoto (1991) descrevem o desenvolvimento do produto como sendo o processo por meio do qual uma empresa transforma dados relacionados às oportunidades de mercado e possibilidades técnicas em informações e bens necessários à produção comercial de um produto.

Ulrich e Eppinger (2000) detalham que projeto e desenvolvimento do produto é o conjunto de atividades interdisciplinares que se iniciam com a identificação de requisitos do cliente e terminam com a entrega do produto fabricado ao cliente, passando pela concepção, projeto e fabricação do produto.

Para Pahl e Beitz (1996), o planejamento e projeto do produto é o resultado do planejamento e esclarecimento de tarefas, com a identificação de funções necessárias, elaboração de soluções primárias, construção de estruturas modulares para a documentação final do produto.

De acordo com Montgomery e Porter (1998), o mercado está exigindo um estudo mais sério e eficaz sobre a metodologia do desenvolvimento de produto para que se possa reduzir os riscos e os intervalos que compõem esta atividade. Entretanto, cada empresa emprega o seu próprio processo de desenvolvimento de

produtos, o que torna o estudo acerca das metodologias de desenvolvimento importante e necessária.

Algumas empresas definem um processo de forma mais precisa e minuciosa e outras, possuem um processo menos estruturado e simplificado. No entanto, a mesma empresa pode definir e seguir vários tipos de processos para cada tipo diferente de projeto de desenvolvimento de produto (TAKAHASHI e TAKAHASHI, 2007).

Para Back *et al.* (2008), todo o PDP contém oito fases: i/ planejamento do produto; ii/ projeto informacional; iii/ projeto conceitual; iv/ projeto preliminar; v/ projeto detalhado; vi/ preparação da produção; vii/ lançamento do produto; e viii/ validação do produto. Baxter (2005) descreve que o PDP é desenvolvido em quatro fases: i/ especificação da oportunidade; ii/ projeto conceitual; iii/ planejamento do produto; e iv/ projeto detalhado. Para Clark e Fujimoto (1991) o PDP apresenta as seguintes etapas: i/ desenvolvimento do conceito; ii/ planejamento do produto; iii/ engenharia do produto; iv/ engenharia do processo; e v/ produção em volume.

Já para os autores Pahl e Beitz (2005), o PDP envolve: i/ esclarecimento da tarefa; ii/ projeto conceitual; iii/ projeto preliminar; e iv/ projeto detalhado. Para Rozenfeld *et al.* (2006), o PDP contém as seguintes fases: i/ planejamento do projeto; ii/ projeto informacional; iii/ projeto conceitual; iv/ projeto detalhado; v/ preparação para produção; e vi/ lançamento do produto.

De acordo com Ulrich e Eppinger (2000), o PDP pode apresentar seis etapas: i/ planejamento; ii/ desenvolvimento do conceito; iii/ projeto em nível de sistemas; iv/ projeto detalhado; v/ teste; e refinamento e vi/ produção/*ramp up*.

Mesmo com a variação nos processos de desenvolvimento entre os autores citados aqui, em números de fases e/ou conteúdo de cada uma delas, pode-se considerar que a estrutura básica do PDP é a mesma para todas as metodologias apresentadas. Sendo assim, o processo inicia-se com as demandas e/ou necessidades dos clientes servindo para montar uma estrutura de funções do produto a ser desenvolvido e a partir dessa estrutura de funções são geradas alternativas que possam resolver o problema apresentado para a equipe de desenvolvimento. Depois de geradas as alternativas, são realizadas avaliações das possíveis soluções sendo então escolhido um conceito que a equipe de

desenvolvimento de produto irá se aprofundar até a entrega do produto final. A Figura 3 traz a síntese das explicações anteriores a respeito das fases do PDP apresentadas pelos autores referenciados.

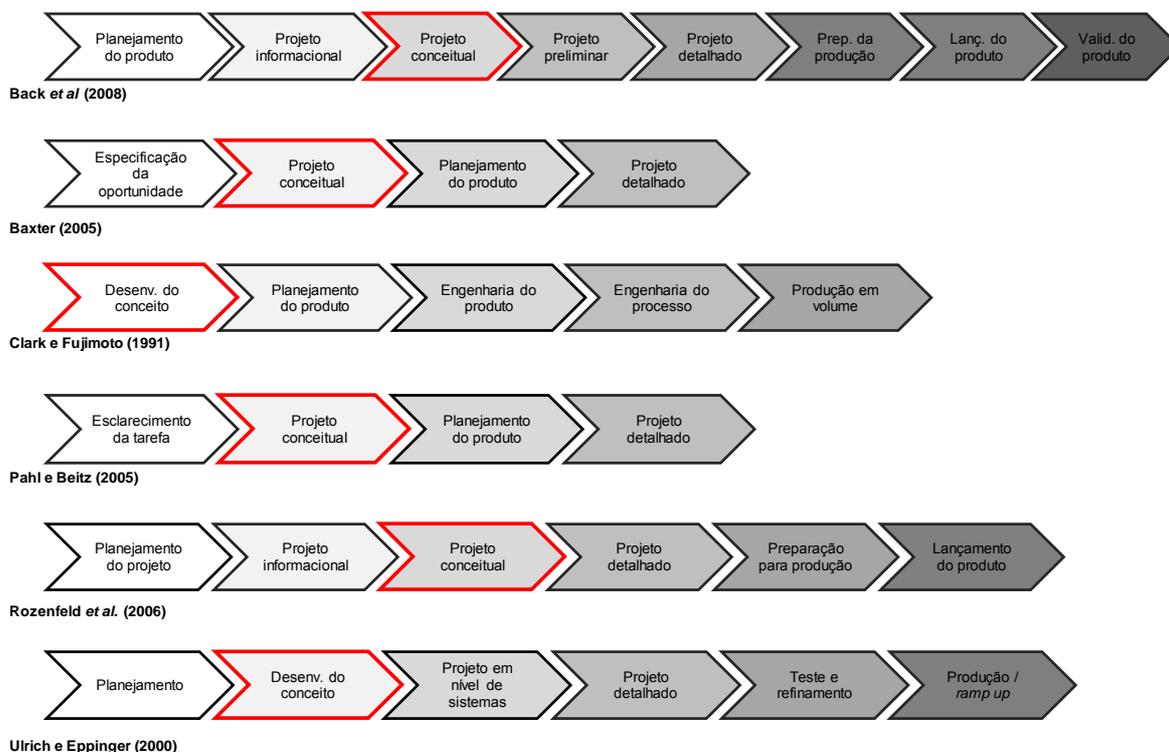


Figura 3 – Fases do PDP de acordo com autores pesquisados

Nos processos de desenvolvimento de produto mostrados anteriormente, a etapa aonde se cria e aprimora o conceito do produto está presente nas metodologias de todos os autores pesquisados, mostrando a importância dessa etapa no desenvolvimento dos produtos. Com base nisso, acredita-se que é na etapa conceitual que o parâmetro manutenibilidade e aspectos relacionados à manutenção do produto devem ser considerados, uma vez que os custos de alteração do produto ainda são relativamente baixos se comparados com as etapas posteriores do PDP.

2.3 CUSTOS DURANTE O CICLO DE VIDA DE UM PRODUTO

Cada produto e/ou sistema está sujeito a um ciclo de vida, que pelo aspecto econômico industrial, orienta-se por faturamento, lucros e perdas (PAHL *et al.*, 2005). Para Horngren, Foster e Datar (2000), o ciclo de vida do produto abrange o tempo desde o início do planejamento e desenvolvimento das soluções técnicas até

o término do suporte ao cliente durante a utilização do produto em sua atividade primária. Sakurai (1997) apresenta, na Figura 4, as etapas do ciclo de vida do produto *versus* produção/venda do produto.

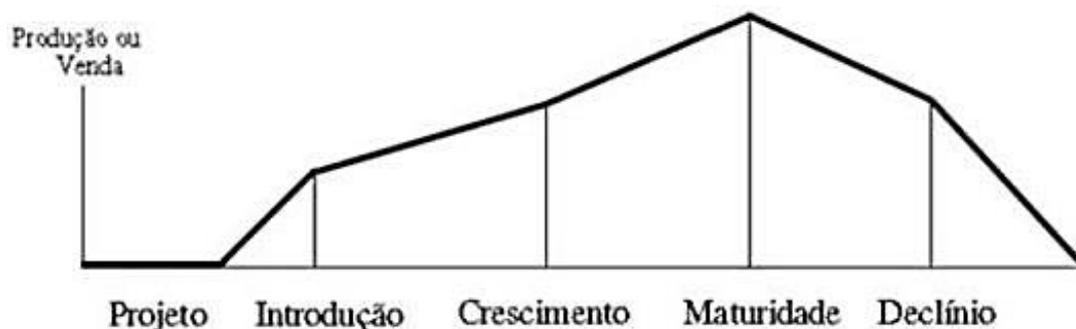


Figura 4 – Etapas do ciclo de vida
Fonte: Sakurai (1997).

Considerando sistemas mais complexos, por exemplo, automóveis, máquinas-ferramenta ou eletrodomésticos, além das etapas de projeto, o produto passa pela fabricação, montagem, embalagem, transporte, uso, manutenção e reciclagem (BACK *et al.*, 2008).

Portanto, desde a introdução no mercado, até o declínio da produção e/ou vendas, a necessidade por atividades relacionadas à manutenção do produto/sistema é parte integrante do ciclo de vida e tem um papel importante para o sucesso do produto e de companhias. Com base nisso, alguns custos devem ser considerados (não apenas custos de aquisição) durante o desenvolvimento do produto.

De acordo com Blanchard, Verma e Peterson (1995), o ciclo de vida do produto incorpora diversos custos, que passam por:

- a/ Pesquisa e desenvolvimento;
- b/ Produção e construção;
- c/ Operação e manutenção;
- d/ Retirada e descarte.

Blanchard e Fabrycky (2006) vai um pouco além e desmembra essas quatro classes de custo de vida em maiores detalhes, conforme mostrado na Figura 5.

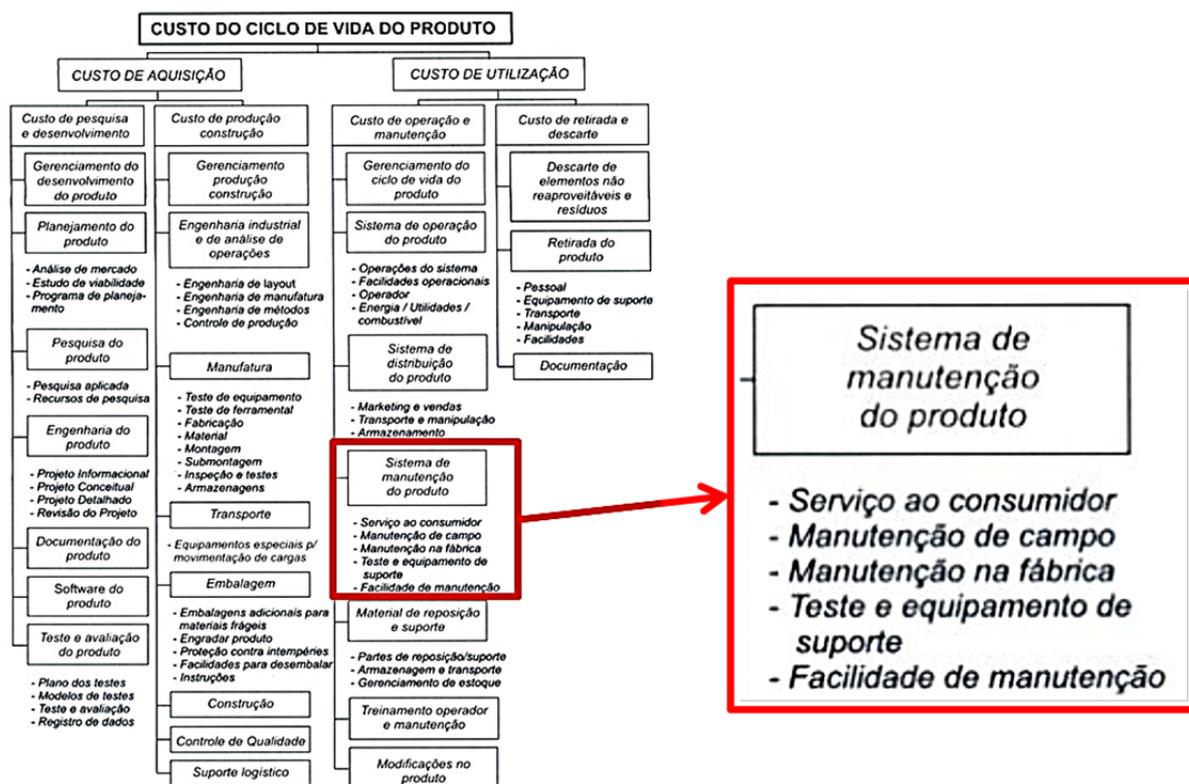


Figura 5 – Custo do ciclo de vida do produto
 Fonte: Adaptado de Blanchard e Fabrycky (2006).

Sendo a manutenção o objeto de estudo da presente dissertação, nas próximas seções este tema será exposto e detalhado, procurando clarificar o que é, quando é realizado e como está sendo incorporado no processo de desenvolvimento do produto.

2.4 O QUE É MANUTENÇÃO?

A NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994), define manutenção como a “combinação de ações técnicas e administrativas, inclusive atividades de coordenação, destinadas a manter ou recolocar um dado equipamento, instalação ou sistema, na sua principal função requerida, outrora projetado”.

Segundo Pahl e Beitz (1996), sistemas e/ou produtos estão sujeitos a desgastes e quebras, diminuição da vida útil, entre outros fenômenos que alteram a funcionalidade do produto ao longo da sua utilização. Após um período de tempo, seja em uso ou não, a condição de utilização do produto pode não ser mais a

desejada. Portanto, para restabelecer ou manter o produto ao seu estado operacional inicial, um conjunto de ações e recursos são necessários. Este conjunto é denominado de manutenção.

Já a manutenibilidade (maiores detalhes na seção 2.5) é o parâmetro de engenharia que busca facilitar e reduzir tempo/recursos para que um produto possa ser mantido ou restabelecido a uma condição especificada (inicial) quando a manutenção for realizada por pessoal capacitado, usando procedimentos e recursos definidos (MIL-HDBK-470A, 1997).

Resumindo, a manutenibilidade está diretamente conectada à busca por facilitar e reduzir os custos da manutenção de um produto e/ou sistema. Sendo assim, durante o PDP, endereçar a melhoria da manutenibilidade de um produto, agindo sobre este parâmetro de engenharia, é um fator importante e que deve ser considerado ao longo do PDP. O resultado final da aplicação dos conceitos e parâmetros da manutenibilidade será a própria forma de realizar a manutenção no produto, contemplando todas as ações/atividades e recursos (físicos e intelectuais) para que a mesma seja conduzida de forma segura, organizada e no menor tempo.

2.4.1 Tipos de manutenção

De acordo com Kardec e Nascif (2001), os tipos de manutenções são as maneiras pelas quais são feitas as intervenções nos equipamentos, sistemas ou instalações, sejam elas programadas ou não programadas. Na literatura há diferentes formas de abordar essas intervenções.

Para Kardec e Nascif (2001), as intervenções podem ser divididas em sete tipos, são elas: i/ manutenção corretiva não-planejada; ii/ manutenção corretiva planejada; iii/ manutenção preventiva sistemática; iv/ manutenção preventiva condicionada; v/ manutenção preditiva; vi/ manutenção detectiva; e vii/ engenharia de manutenção. Já Blanchard, Verma e Peterson (1995) resumem que as intervenções podem ser divididas em dois principais ramos, a preventiva e a corretiva.

A manutenção corretiva objetiva restabelecer um produto à sua condição operacional após um estado de pane (ocorrência de falha). Suas etapas podem ser descritas como: i/ preparação para a manutenção; ii/ busca e identificação da falha;

iii/ desmontagem; iv/ reparo do item no local ou remoção do item falhado e substituição por peças de reposição; v/ remontagem; vi/ ajuste, alinhamento ou calibração; e vii/ verificação final.

A manutenção preventiva utiliza manutenções em intervalos determinados de tempo, buscando manter o estado operacional do produto em um nível desejável. Segundo Pallerosi (2007), a manutenção preventiva é dividida em programada e controlada. A programada é efetuada seguindo um programa de intervenções preestabelecido, enquanto que a controlada, também denominada preditiva, usa técnicas de análise por meios de supervisão centralizados ou de amostragem que são capazes de definir com melhor exatidão o momento correto de realizar uma manutenção sem causar perda de disponibilidade.

Apresentar os principais pontos relacionados à manutenção de produtos e/ou sistemas é parte integrante dos conceitos que serão apresentados nas próximas seções relacionando os conceitos e parâmetros da manutenibilidade e suas interações com o desenvolvimento do produto.

2.5 MANTENABILIDADE

“A manutenibilidade é um parâmetro de projeto e a manutenção é uma consequência do projeto” afirmam Blanchard, Verma e Peterson (1995).

Mantenabilidade é a capacidade de um sistema se manter e/ou retornar a um estado funcional específico, aonde se tem a manutenção como a ferramenta por meio da qual se atinge esse objetivo. No caso de se manter um sistema, é empregada a manutenção preventiva, e no caso de se reparar um sistema, utiliza-se a manutenção corretiva. Sendo assim, a manutenibilidade é o parâmetro da engenharia que visa facilitar, economizar tempo e recursos para que um produto/sistema esteja em um estado funcional (MIL-HDBK-470A, 1997).

De acordo com a NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994), manutenibilidade é a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos.

A manutenibilidade é definida como “habilidade de um item, sob algumas condições de uso, ser reparado ou retornado ao estado funcional, quando a manutenção é realizada sob dadas condições usando procedimentos e recursos” (CEN/TC 319, 2010). Blanchard, Verma e Peterson (1995) descrevem ainda que a manutenibilidade, além de ser um parâmetro de projeto, deve endereçar a facilidade, precisão, menor tempo e economia das ações de manutenção.

Wani e Gandhi (1999) descrevem que a manutenibilidade é um importante aspecto do ciclo de vida do produto e tem uma função significativa durante o período de serviço. É o atributo de projeto do sistema que visa facilitar várias atividades de manutenção, em particular inspeção, reparo, troca e diagnóstico. A manutenção de um sistema pode ser afetada dependendo das condições onde será aplicada, impactando na manutenibilidade do conjunto como um todo. Se a operação for feita em condições de muito frio, chuva, neve, longas distâncias, entre outras situações, o tempo de reparo pode ser maior do que o previsto inicialmente (BARABADI; MARKESET; BARABADY, 2011).

Cen/Tc 319 (2010) complementa informando que a manutenibilidade pode ser quantificada usando medidas ou indicadores apropriados, referindo-se como desempenho da manutenibilidade. Sendo assim, na seção 2.6 serão apresentadas algumas métricas e parâmetros da manutenibilidade.

2.6 MÉTRICAS E PARÂMETROS DA MANTENABILIDADE

As métricas relacionadas à manutenibilidade podem ser divididas entre quantitativas e qualitativas. Geralmente, essas métricas são utilizadas para orientar o trabalho da engenharia de desenvolvimento do produto, atuando como requisitos importantes durante o PDP.

2.6.1 Métricas quantitativas

MIL-HDBK-470A (1997) detalha uma série de métricas quantitativas relacionadas à manutenibilidade. Dentre as principais, destaca-se o *MTTR* (utilizado para a manutenção corretiva) e a disponibilidade do sistema. Essas duas métricas serão apresentadas nas seções 2.6.1.2 e 2.6.1.3, respectivamente. Outras métricas podem ser encontradas em MIL-HDBK-470A (1997), como exemplo, tempo de

inspeção, probabilidade da detecção da falha, tempo de reconfiguração, tempo médio entre manutenção preventiva, entre outros.

2.6.1.1 Confiabilidade

Para o manual MIL-HDBK-470A (1997), a confiabilidade e a manutenibilidade são consideradas disciplinas complementares. Isso se deve pelo fato de que quanto mais confiável for o produto, mais estará disponível, pois não terá paradas para a realização de manutenção, suprimento, entre outros.

Para Juran (1974), Feigenbaum (1983), Blanchard e Fabrycky (2006) e Pallerosi (2007), a confiabilidade é uma característica de projeto e pode ser definida como a probabilidade na qual um sistema ou produto irá operar de um modo satisfatório para um dado intervalo de tempo, quando utilizado restrito a condições de operação específicas. Para Blanchard, Verma e Peterson (1995) para se avaliar a confiabilidade de um produto, duas medidas principais devem ser consideradas: i/ taxa de falhas e; ii/ *MTBF*, mostrada na Equação (1).

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (1)$$

Onde:

MTBF = tempo médio entre falhas;

λ = Taxa de falhas.

Portanto, se um produto é desenvolvido sob uma expectativa de uma taxa de falha durante a sua vida útil, existe um momento no tempo t que o mesmo falhará ou passará por uma manutenção preventiva (MIL-HDBK-470A, 1997). Sendo assim, quando o produto e/ou sistema estiver indisponível, o objetivo a ser alcançado é fazê-lo retornar ao seu estado funcional no menor intervalo de tempo possível.

2.6.1.2 Tempo médio de reparo (*Mean Time to Repair – MTTR*)

De acordo com Coulibaly, Houssin e Ait-kadi (2007), o *MTTR* é definido

como o tempo total requerido para realizar o diagnóstico, reparo ou substituição e o controle. A métrica *MTTR* é dependente, principalmente, das configurações de produto e é utilizada para calcular a disponibilidade do sistema (DING, 2009).

Para Dhillon (1999), o *MTTR* é o tempo para realizar um ciclo de manutenção. Esse ciclo é composto por cinco etapas: detecção da falha, isolamento da falha, desmontagem, reparo e remontagem. Coulibaly, Houssin e Ait-kadi (2007) indicam que para uma melhor manutenibilidade, o *MTTR* deve ser o menor possível, reduzindo tempo de reparo, indisponibilidade do sistema e aumentando a disponibilidade. Com esse objetivo, apresentam a Equação (2) para o cálculo do *MTTR*:

$$MTTR = T_{diag} + T_r + T_c \quad (2)$$

Onde:

T_{diag} = Tempo para diagnóstico do sistema;

T_r = Tempo de reparo;

T_c = Tempo de controle.

Coulibaly, Houssin e Ait-kadi (2007) descrevem os tempos que compõem o *MTTR* da seguinte forma:

- a/ Tempo para o diagnóstico do sistema (T_{diag}): é dependente do tipo de falha, podendo ser instantâneo, por exemplo, na quebra de um componente principal. Ou pode levar muito tempo, por exemplo, desgaste de componentes. O tempo para o diagnóstico é difícil de ser estimado durante as fases do projeto.
- b/ Tempo de reparo: é dependente de alguns critérios como: i/ operações de desmontagem/montagem; ii/ acessibilidade dos componentes; iii/ manipulação de componentes ou sub-montagens; iv/ reparo; e v/ recursos de manutenção. O tempo de reparo é o critério comumente usado para estimar a manutenibilidade do sistema.
- c/ Tempo de controle: é o tempo para a verificação do funcionamento do sistema, podendo este ser curto ou longo.

A Equação (2) transcreve que não apenas é necessário reduzir o tempo de reparo, sendo necessário também reduzir o tempo de diagnóstico e controle do sistema. O presente estudo visa à redução do tempo de reparo do produto com a adoção de ferramentas que auxiliem a equipe de desenvolvimento do produto a endereçar a manutenibilidade durante as fases iniciais do PDP.

Porém, considera como muito importante os outros itens (tempo de diagnóstico e tempo de controle) e que estes devem ser considerados durante o desenvolvimento do produto.

2.6.1.3 Disponibilidade

A disponibilidade do sistema é a probabilidade de que o sistema estará em seu estado operacional (funcional) quando a sua utilização se faz necessária (BLANCHARD; VERMA; PETERSON, 1995). MIL-HDBK-470A (1997) define a disponibilidade (D), como uma relação entre o $MTBF$ e o $MTTR$, conforme a Equação (3).

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3)$$

Onde:

$MTBF$ – Tempo médio entre falhas;

$MTTR$ – Tempo médio de reparo.

Sendo assim, se o produto não falhar e/ou se o tempo de reparo tender a zero, a disponibilidade será 100%. Para que seja possível aumentar a disponibilidade do produto, pode-se trabalhar com duas alternativas sendo i/ melhorar a confiabilidade; e ii/ reduzir o tempo de reparo do produto.

Durante o desenvolvimento das soluções, a equipe de desenvolvimento precisará avaliar se é melhor aperfeiçoar a confiabilidade do produto (podendo gerar custos supérfluos e esbarrar em algum conflito tecnológico) ou aperfeiçoar a manutenção do produto com a redução do tempo de reparo (melhorando a acessibilidade, por exemplo) consequentemente melhorando a disponibilidade.

A métrica *MTTR* e a disponibilidade do produto são importantes medições relacionadas à manutenibilidade. Porém, servem apenas como base para produtos futuros e avaliação pontual do produto corrente. Elas são realizadas em um estágio do desenvolvimento do produto, no qual não são possíveis alterações fáceis do conceito do produto. Ou seja, qualquer alteração será custosa e levará tempo para ser aplicada.

2.6.2 Métricas qualitativas

Segundo a MIL-HDBK-470A (1997), as métricas qualitativas compõem um conjunto de demandas que asseguram que o produto a ser desenvolvido seja possível de ser mantido. São exemplos dessas métricas:

- a/ Nenhuma nova ferramenta especial será criada para suportar o novo produto;
- b/ O novo produto deve ser composto de no mínimo 85% das peças já existentes no inventário da companhia;
- c/ O acesso a componentes considerados prioritários deve ser livre – fica vedada a remoção de qualquer peça periférica nestes itens.

Mesmo não existindo uma fórmula exata para o cálculo da qualidade da manutenibilidade, essas métricas transferem para a equipe de desenvolvimento do produto alguns desejos/necessidades/demandas dos clientes internos (departamentos da companhia) e externos, podendo gerar ganhos importantes para a companhia (MOSCHETO, 2009).

2.6.3 Parâmetros da manutenibilidade

Parâmetros da manutenibilidade são pontos-chave que devem ser considerados durante o PDP sendo base para as atividades de desenvolvimento. Nas próximas seções serão apresentados alguns desses parâmetros como a acessibilidade, padronização e simplificação.

2.6.3.1 Acessibilidade

Dhillon (1999) referencia uma norma do exército americano para determinar o quão importante é a acessibilidade no desenvolvimento das soluções. Reforça ainda que, “obter acesso a um equipamento é, possivelmente, a segunda tarefa que mais consome tempo, perdendo apenas para o isolamento da falha, e quando existe um sistema de detecção automática de falhas, com certeza obter acesso é a tarefa mais demorada”.

A acessibilidade é uma característica do desenvolvimento de produto e é definida como uma medição da relativa facilidade de atingir áreas de um item com o propósito de execução de uma operação ou manutenção. É considerado um fator primordial dentro da manutenibilidade, pois a acessibilidade influencia em muitos aspectos da manutenção (ZHOU *et al.*, 2014). Dong, Chuan e Le (2013) identificam os fatores críticos da manutenibilidade que influenciam o tempo de manutenção. São eles: acessibilidade visual, acessibilidade ao toque nos componentes, acessibilidade de desmontagem e a postura (ergonomia) durante a execução do trabalho.

Definindo cada item, tem-se: i/ acessibilidade visual como sendo a visualização direta da área de trabalho, ferramentas, objetos e o próprio técnico de manutenção usando seus olhos; ii/ acessibilidade ao toque nos componentes é descrita como sendo a facilidade de tocar os objetos que estão sendo mantidos, considerando diferentes ferramentas e postura (ergonomia); iii/ acessibilidade de desmontagem significa assegurar que os técnicos de manutenção tenham espaço suficiente para desmontar uma unidade falhada ou que permita o uso de ferramentas padrão; e iv/ postura (ergonomia) refere-se à posição adotada pelo técnico de manutenção durante o procedimento devido à estação de trabalho ou à natureza da tarefa, sendo que uma má ergonomia pode resultar em fadiga, desconforto e risco de acidente.

Segundo DOD-HDBK-791 (1988), para simplificar o procedimento de manutenção, devem ser atendidos os procedimentos: i/ para se testar e/ou inspecionar um equipamento, o acesso deve prover um bom espaço para a fixação do equipamento teste e; ii/ deve ter espaço suficiente para ajustar, reparar ou trocar o equipamento danificado. Portanto, se o produto tiver uma alta taxa de falha, a acessibilidade é um item crítico e deve ser considerado ao longo do desenvolvimento do produto. Um equipamento pode ser considerado acessível se este

componente/módulo atende aos critérios citados aqui como, o uso de ferramentas padronizadas, espaço para a execução do trabalho, correta ergonomia e com simplicidade durante o procedimento.

Moscheto (2009) sinaliza que a acessibilidade não deve ser utilizada somente sob o conceito de espaço (garantia de livre acesso), mas também sob a forma de dificuldade (e.g. ergonomia) em se acessar um equipamento e quanto à quantidade excessiva de elementos de fixação, o que faz com que aumente consideravelmente o tempo exigido para a manutenção. Desta forma, faz-se necessária a atenção do engenheiro de desenvolvimento de produto para os possíveis conflitos de interesse entre a linha de montagem (produção seriada) e a manutenção do produto ainda durante o desenvolvimento do produto, uma vez que as demandas podem ser completamente conflitantes entre os diversos setores da companhia.

A literatura apresenta discussões e métodos para verificar a visibilidade e o alcance num ambiente virtual, como o uso de cone de visão para analisar a visibilidade e o uso de detecção de colisão para verificar alcance. Como exemplo, destaca-se a ferramenta *DELMIA*, com a chamada “ferramenta bola”, que descreve a capacidade de acessar um objeto (DELMIA, 2015).

A Figura 6 apresenta o exemplo da aplicação da ferramenta *DELMIA*, na qual tem-se um manequim ” acessando” a uma prateleira. Apresenta-se o raio de alcance desse manequim sendo possível analisar se a acessibilidade está correta.

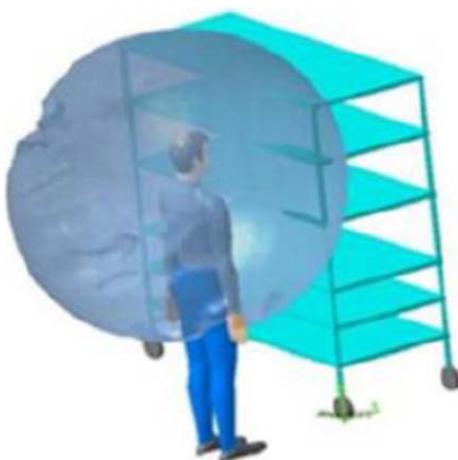


Figura 6 – Ferramenta *DELMIA* – Acessibilidade de desmontagem
Fonte: Dong, Chuan e Le (2013).

Algumas vezes, a acessibilidade se torna até mais crítica do que a quantidade de elementos de fixação. Caso o acesso ao componente seja ruim, mesmo que fixo por um ou dois elementos de fixação, o tempo para a remoção pode-se tornar maior do que a remoção de vários elementos de fixação com uma ótima acessibilidade.

2.6.3.2 Padronização e simplificação

Para Dhillon (1999) a padronização é definida como uma mínima variedade de peças e componentes que um produto/sistema precisa. Ou seja, pode ser também descrita como a maior uniformização possível no projeto de produto, contudo não se pode torná-la uma obsessão, pois isso não pode interferir no desenvolvimento de novas tecnologias e inovações no desenvolvimento de produto.

MIL-HDBK-470A (1997) trata a padronização não só apenas com componentes comuns, mas também com processos, sistemas, princípios de engenharia, programas, entre outros. O manual ainda traduz a padronização em alguns objetivos, tais como: i/ minimizar custos de suporte e aquisição de um produto/sistema, ii/ aumentar a disponibilidade de um equipamento essencial; e iii/ diminuir a necessidade de treinamento de pessoal para a família de produtos.

Pahl e Beitz (1996) definem simplicidade, para aplicações técnicas, pela palavra “simples” significando não complexo, de fácil entendimento e de fácil fabricação. Porém, para o atendimento das funções do produto, certa quantidade de componentes é necessária. Ainda descrevem que uma solução parecerá simples se puder ser efetiva com poucos componentes. Com isso, a probabilidade de baixos custos produtivos, menos desgaste e baixa manutenção é então, aumentada. Entretanto, isso só poderá ser atingido se a organização e formato dos componentes forem conservados de forma simples.

2.7 A MANTENABILIDADE NO PDP

Ao longo de todo o PDP, afirma-se que o engenheiro de desenvolvimento do produto recebe grande influência dos diferentes setores da organização, que demandam a consideração de vários requisitos durante a criação da concepção do produto (ZIMMERMAN; BERGSJÖ; MALMQVIST, 2006). Basicamente, as

demandas incluem aspectos de manufatura, qualidade, comprometimento em relação aos custos (produto e projeto) e inclusões de funcionalidades solicitadas pelo marketing entre outros departamentos da empresa.

Sendo assim, existe uma “disputa” pelas soluções fornecidas pela equipe de desenvolvimento do produto, combinado a recursos limitados e prazos cada vez mais reduzidos de entrega, fazendo com que alguns requisitos, como a sustentabilidade e suporte ao produto, fiquem em um segundo plano e até mesmo negligenciado (MOSCHETO, 2009). É sabido que tanto a manutenção quanto o suporte ao produto ocorrem após a introdução do produto ao mercado e que é, justamente, no pós-vendas que os lucros são revertidos à empresa como mostrado na Figura 7.

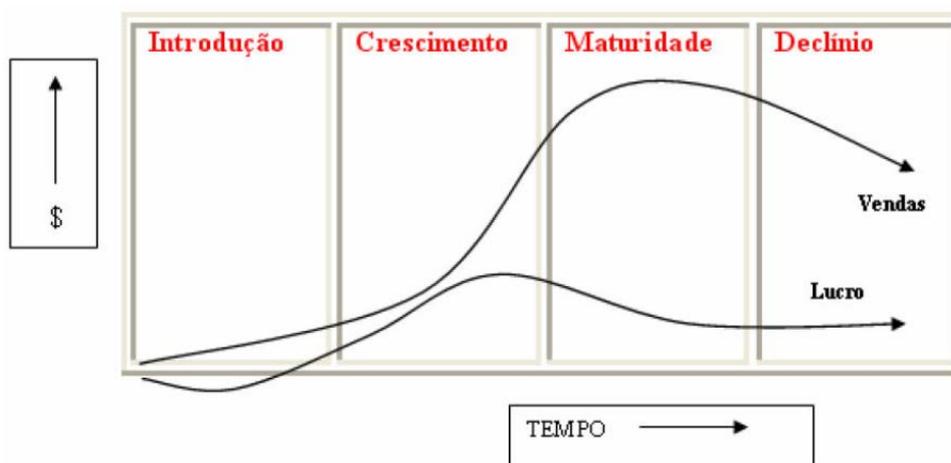


Figura 7 – Vida útil de um produto
Fonte: Adaptado de Pahl e Beitz (1996).

Sendo assim, é de fácil entendimento que um projeto mal desenvolvido sob estes aspectos (manutenção e suporte ao produto) poderá causar sérios comprometimentos à lucratividade do produto ao longo da sua vida útil.

Portanto, para o melhor entendimento do parâmetro de sustentabilidade e onde está inserido no PDP, uma análise foi realizada sobre a metodologia proposta por Pahl *et al.* (2005). Para os autores, as fases do desenvolvimento do produto podem ser resumidas em quatro grandes etapas:

1. Esclarecimento da tarefa;
2. Projeto conceitual;
3. Projeto preliminar;
4. Projeto detalhado.

Observa-se que dentro dos fundamentos de sistemas técnicos que propõem, eles declaram que além de satisfazer a funcionalidade e o inter-relacionamento entre os componentes, deve-se também garantir que uma solução atenda aos aspectos da manutenibilidade, garantindo a conservação, a possibilidade de inspeção e reparo do produto além de aconselharem ainda que a manutenibilidade seja tratada na fase conceitual, pelo menos na sua essência (PAHL *et al.*, 2005). Pode-se afirmar que as fases são compostas pelas seguintes definições:

- a/ Esclarecimento da tarefa: fase inicial e responsável pelo levantamento das necessidades dos clientes, transformando-as em uma especificação do produto. Nessa etapa, a manutenibilidade aparece como um item de uma lista de verificações. Porém, essa verificação não é aprofundada, sendo a manutenibilidade tratada superficialmente;
- b/ Projeto conceitual: fase responsável pela clarificação dos problemas e pela definição de uma estrutura funcional (o que o produto deve entregar). Novamente, a manutenibilidade é considerada apenas como uma lista de verificações, servindo de auxílio para a avaliação do projeto na fase conceitual. Contudo, alguns itens como simplicidade, limpeza, fácil inspeção e reparo são citados com o objetivo de que o conceito já atenda a esses requisitos;
- c/ Projeto preliminar: fase responsável pelo aprimoramento/transformação do conceito em uma configuração definitiva da solução técnica do produto. Nessa fase, os autores citam uma pergunta chave como forma de identificar se a manutenção, inspeção e recondicionamento podem ser executados/verificados facilmente. Além disso, Pahl *et al.* (2005) reforçam que, além dos que já foram apresentados nas outras fases, alguns aspectos de manutenibilidade devem ser seguidos, como: i/ utilização mínima de ferramentas, equipamentos e informações complexas no reparo; ii/ criação de uma planilha que defina o escopo e a programação de como ocorrerá a manutenção do produto; iii/ viabilidade de certificação de que o reparo recém realizado foi devidamente conduzido ou não; iv/ falhas devem ser encontradas de uma forma rápida; e fácil e; v/ a manutenção deve ser simplificada e com baixo tempo de reparo. Consideram ainda, ao final da fase de

Projeto Preliminar, que algumas técnicas de auxílio ao projeto devem ser abordadas como *DFMt*. Alegam também que durante o Projeto Preliminar é importante considerar a acessibilidade e o *DFA*;

d/ Projeto detalhado: fase responsável pela finalização/detalhamento da configuração do produto. Nessa fase, os autores são sucintos quando se trata de manutenibilidade. Porém citam a importância de documentar a forma de operação e manutenção do produto ao longo da sua vida útil.

Na Figura 8, é apresentada uma forma gráfica de visualizar o amadurecimento das soluções durante o desenvolvimento de produto *versus* fases da metodologia proposta por Pahl *et al.* (2005).

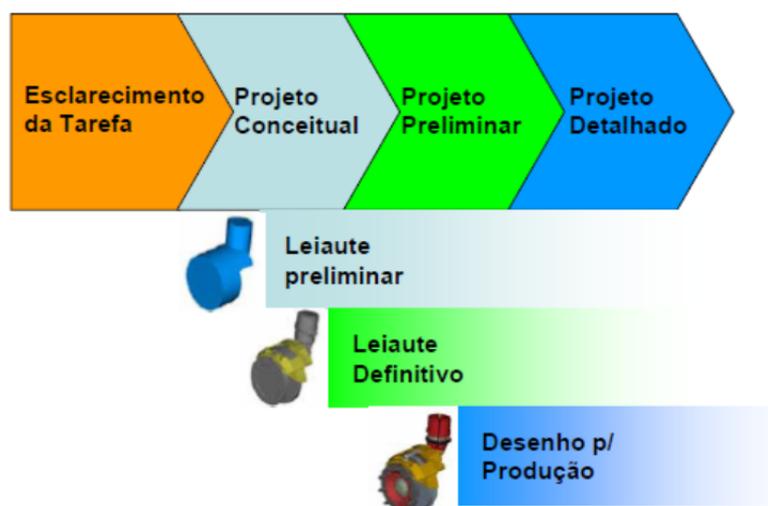


Figura 8 – Evolução do produto no PDP
Fonte: Moscheto (2009).

De acordo com a metodologia de desenvolvimento de produto estudada nessa dissertação, pode-se constatar que a manutenibilidade não está sendo completamente examinada e considerada em etapas recentes do PDP, uma vez que a metodologia cita que a manutenibilidade é importante, porém, não fornece informações mais profundas sobre como deve ser endereçada ao longo do desenvolvimento.

Considera-se, durante o PDP, que existe uma “disputa por espaço” desde o conceito do produto até chegar à solução definitiva. Para Moscheto (2009), é exatamente nessas fases que o parâmetro de manutenibilidade deve ser aplicado e

cuidadosamente revisado, usando verificações visuais com o auxílio da realidade virtual até chegar a averiguações físicas em protótipos reais.

De acordo com Wu *et al.* (2011), com o uso frequente da realidade virtual imersa durante o desenvolvimento do produto, deve ocorrer uma redução das verificações físicas em protótipos reais uma vez que o custo é elevado para a confecção desses protótipos.

Além da utilização da realidade virtual para verificações de manutenibilidade, a utilização de técnicas que auxiliem os projetistas na concepção dos produtos e na avaliação do impacto de suas decisões de projeto no ciclo de vida do produto se tornaram frequentes. Esses conjuntos de ações são chamadas técnicas *DFX* e servem como ferramentas durante o desenvolvimento do produto.

2.8 TÉCNICAS DE AUXÍLIO AO PROJETO – TÉCNICAS *DFX*

Antes da introdução de técnicas e ferramentas de auxílio, o projeto de engenharia era concluído puramente baseado na consideração da funcionalidade do produto, na qual o projeto era passado da equipe de desenvolvimento para o planejamento do processo produtivo e então para a manufatura (*over the wall*). Essas atividades eram completadas de uma maneira sequencial, sem um retorno para o projetista, que muitas vezes não conhecia as etapas da manufatura (KUO; HUANG; ZHANG, 2001). Baseado nessa dificuldade de comunicação e desconhecimento do projetista do ambiente da manufatura, era latente a necessidade de técnicas que auxiliassem durante o desenvolvimento do produto. Focando nesse objetivo, tem-se o surgimento das técnicas *DFX*.

As técnicas *DFX* podem ser classificadas como um conjunto de ações geralmente aplicadas nas fases iniciais do PDP, para garantir que os vários aspectos do ciclo de vida sejam considerados no produto, tais como necessidades do cliente, o desenvolvimento do produto, processos de manufatura, qualificação do produto, confiabilidade, suportabilidade e meio ambiente, entre outros (VALERI e TRABASSO, 2003).

Boothroyd e Dewhurst (1980) apresentaram alguns estudos que traziam os fatores produtivos para junto do desenvolvimento do produto, tendo como parâmetro de análise o tempo estimado de montagem (*DFA* – Projeto para a montagem).

Sugeriram também, guias para o projeto para a manufatura (*DFM* – Projeto para a manufatura). Esses guias continham melhores práticas para desenvolver as soluções técnicas. Depois das implementações do *DFM* e do *DFA*, diversas melhorias no desenvolvimento de produto passaram a ser notadas, como:

- a/ Redução no número de peças – simplificação;
- b/ Aumento da qualidade do processo/produto;
- c/ Utilização de componentes em comum com o portfólio de produtos;
- d/ Redução dos tempos de montagem;
- e/ Redução no custo do produto.

Depois da utilização frequente dessas técnicas, diversas outras foram surgindo. Resumidamente, essas técnicas buscam a redução do custo do produto durante todo o ciclo de vida, desde o momento da criação da ideia até o seu descarte/reuso. Destacam-se algumas técnicas como:

- a/ Projeto para a montagem – *DFA - Design for Assembly*;
- b/ Projeto para desmontagem – *DFD - Design for Disassembly*;
- c/ Projeto para o serviço – *DFSv – Design for Serviceability*;
- d/ Projeto para manutenibilidade – *DFMt - Design for Maintainability*.

Um aspecto importante a ser esclarecido é o fato de existir uma mescla grande de terminologias nesta área, já que todos estes *DFX's*, mostrados aqui, abordam de certa forma a manutenibilidade, porém sempre de uma maneira superficial, gerando confusão durante o uso das diretrizes destas metodologias (HUANG, 1996). Como forma de clarificar as técnicas *DFA*, *DFD* e *DFSv*, que afetam o *DFMt*, uma descrição sintetizada será realizada a seguir.

2.8.1 Projeto para a montagem (*Design for assembly* – *DFA*)

Uma montagem é uma coleção de partes manufaturadas, unidas por meio de operações/atividades de montagem para realizar uma ou mais funções primárias. Operação de montagem é definida como o processo ou série de ações que envolvem a realização da montagem (KIM *et al.*, 2004). Como forma de auxiliar os

projetistas a endereçarem parâmetros para a correta montagem dos componentes, a técnica *DFA* deve ser utilizada.

A pesquisa a cerca do *DFA* é baseada na premissa que baixos custos de montagem podem ser atingidos pelo projeto do produto de uma forma que este possa ser economicamente montado pelo sistema de montagem mais apropriado (KUO; HUANG; ZHANG, 2001). Na literatura, diversos autores propuseram novas formas de abordar o *DFA*, por exemplo, os estudos propostos por Warneck e Bassler (1988), Poli e Knight (1984) e Scarr (1986). Porém, mesmo com vários estudos na área apresentados por diversos autores, os guias básicos de projeto para a montagem permanecem inalterados ao longo do tempo, e indicam, principalmente, reduzir a quantidade de componentes, assegurar a facilidade de montagem e evitar certas obstruções durante o processo de montagem.

O projeto para a montagem poderá afetar positivamente a manutenibilidade, uma vez que endereça soluções interessantes, como a redução de quantidades de componentes a serem instalados. Com uma quantidade reduzida de componentes a serem montados, o processo de reparo é facilitado, pois menos componentes devem ser removidos/instalados durante a operação, reduzindo então o tempo de reparo e consequentemente aumentando a disponibilidade do produto.

2.8.2 Projeto para a desmontagem (*Design for disassembly – DFD*)

Projeto para a desmontagem é um conceito que os projetistas utilizam para desenvolver os produtos para a fácil desmontagem (BOOTHROYD e ALTING, 1992). Desmontagem é um método sistemático para separar um produto em suas partes constituintes, componentes, sub-montagens ou outros grupos por diversas razões (LAMBERT e GUPTA, 2005). Uma das razões para realizar desmontagens é a necessidade de realizar operações de manutenção nos produtos, sejam eles simples ou complexos (GUNGOR, 2006).

Villalba *et al.* (2004) apresentam, com base nos resultados dos seus estudos, dois importantes aspectos do *DFD*. São eles:

1. Usar poucos componentes no produto: usar poucos componentes ajudará a atingir os seguintes resultados: i/ reparo e manutenção – redução do tempo de reparo; e ii/ reciclagem – redução do tempo de

desmontagem e ajudará na separação seletiva de materiais. Adicionalmente, o número de elementos de fixação e a variedade de ferramentas requeridas para as atividades de desmontar/remontar serão reduzidas;

2. Usar conexões que são facilmente desconectadas: Não somente reduzir a quantidade de elementos de fixação, selecionar quais elementos de fixação são fáceis de serem removidos.

Os aspectos apresentados por Villalba *et al.* (2004) são de extrema importância e estão em linha com o *DFA*, apresentado anteriormente, principalmente no que tange à redução de componentes no processo de montagem. Esse aspecto influencia diretamente a manutenibilidade do produto. Quanto menos componentes tiverem de ser instalados, menos componentes deverão ser removidos, consequentemente, menor poderá ser o tempo para acessar e reparar o produto.

2.8.3 Projeto para o serviço (*Design for Serviceability – DFSv*)

DFSv pode ser definido como sendo a técnica que visa endereçar, durante a etapa de desenvolvimento, a facilidade de realizar a manutenção em um produto/sistema (ARNETTEA *et al.*, 2014). Rozenfeld *et al.* (2006) descrevem que projeto para o serviço “compreende a adequação do produto para a operação, manutenção, fácil acesso a componentes, de maneira a garantir a performance contra conflitos entre diferentes serviços que possam ser executados no produto.” Basicamente, o *DFSv* procura propor uma metodologia em que os componentes do produto são revisados baseados nas seguintes questões:

- a/ A peça/módulo (no sentido de sub-montagem) removida é/ou contém o item a ser reparado?
- b/ A peça/módulo removida é uma tampa/capa que deve enclausurar o componente a ser reparado ou proteger o mecânico do mesmo?
- c/ A peça/módulo deve ser removida para isolar o componente a ser reparado ou o módulo que o contém?

Melhorando a serviceabilidade pode-se reduzir custo e tempo de serviço. Porém, o impacto de outros *DFX's* na serviceabilidade também deve ser considerado (ARNETTEA *et al.*, 2014). Alguns estudos na literatura mostram a

necessidade da correta realização do *DFA*, como Huang (1996), e do *DFD*, como Sodhi, Sonnenbert e Das (2004), para a obtenção de resultados satisfatórios no *DFSv*.

Baseado nas informações mostradas nas técnicas *DFA*, *DFD* e *DFSv*, a utilização de guias, conceitos e metodologias servem para auxiliar a equipe de desenvolvimento de produto a considerar requisitos importantes do projeto. Essas técnicas promovem a integração e a troca de conhecimento entre a equipe de desenvolvimento e suportam a aplicação do *DFMt*.

2.8.4 Projeto para a manutenibilidade (*Design for maintainability – DFMt*)

PMBOK (2004) define projeto como um esforço temporário com ponto de início estabelecido e com objetivos definidos para produzir um produto. Como afirma Blanchard, Verma e Peterson (1995), “a manutenibilidade é um parâmetro de projeto e a manutenção é uma consequência do projeto”.

Portanto, pode-se definir o projeto para manutenibilidade como uma estratégia de projeto que visa atender aos seguintes objetivos:

- a/ Identificar e priorizar requisitos de manutenção;
- b/ Melhorar a disponibilidade de produtos e reduzir o tempo de manutenção;
- c/ Melhorar a satisfação do cliente;
- d/ Reduzir a responsabilidade da logística e o custo do ciclo de vida.

Projeto para a manutenibilidade engloba medidas para reduzir o tempo e outros recursos gastos em manter o desempenho do produto de acordo com as especificações. Isso beneficia o usuário final reduzindo a participação nos custos com menos tempo de parada (perda de produtividade), menores custos de manutenção, menos inventário, poucas ferramentas, melhorias em segurança entre outros (PENG *et al.*, 2012).

2.8.4.1 Benefícios da aplicação da técnica *DFMt*

Aplicando a técnica *DFMt*, os sistemas irão melhorar a sua disponibilidade por meio de fatores como visibilidade, acessibilidade, capacidade de testes,

simplicidade e intercambiabilidade do sistema que está sendo reparado (NASA, 1994). De acordo com Back *et al.* (2008), com a aplicação da técnica *DFMt* no desenvolvimento do produto, espera-se alguns benefícios como citados a seguir:

- a/ Melhoria na acessibilidade;
- b/ Habilidade na detecção e isolamento de falhas;
- c/ Minimização da necessidade de ferramentas especiais;
- d/ Produtos simplificados;
- e/ Menor número de peças;
- f/ Diminuição do número de artigos em estoque para reposição;
- g/ Tempo de reparo menor;
- h/ Maior disponibilidade do produto.

Analisando a literatura, mesmo com as técnicas *DFX* disponíveis e rapidamente disseminadas, poucas ferramentas permitem o desenvolvimento do *DFMt* e o correto endereçamento do parâmetro manutenibilidade durante o PDP. As técnicas mostradas na seção 2.8 auxiliam a equipe de desenvolvimento de produto a considerarem itens importantes e que não devem ser negligenciados durante as etapas de desenvolvimento de um novo produto. Porém, a aplicação dessas técnicas demanda tempo, conhecimento e um alto nível de engajamento por parte da equipe de desenvolvimento de produto.

Como citado na seção 2.1, produto é um objeto, sistema, serviço que atende a funções e deve suprir a necessidade e demandas dos clientes. Sendo assim, produtos tangíveis (físicos) são basicamente formados por: i/ componentes físicos desenvolvidos com uma finalidade específica; ii/ conexões mecânicas (elementos de fixação); e iii/ processos de montagem/inspeção entre outros.

2.9 CONEXÕES MECÂNICAS

Um conector ou elemento de fixação é definido como um componente utilizado para conectar, manter fixos os componentes, estabelecer localização, alinhamento/orientação, transferir cargas e absorver tolerâncias entre os componentes para prevenir vibrações (SONNENBERG, 2001).

Pahl *et al.* (2005) definem que os componentes estão conectados uns aos outros para atender uma determinada função e que os tipos de conexão indicam seu comportamento básico e o sucesso de suas aplicações. Definem ainda, que as conexões servem para transferir forças, momentos e movimentos entre os componentes com posicionamento claro e definido, podendo ter funções adicionais como absorver movimentos, vedar contra fluídos, isolar/transmitir energia térmica ou elétrica. Existem alguns tipos de conexão que serão descritas a seguir.

2.9.1 Tipos de conexão

Sonnenberg (2001) classifica as conexões dos elementos de fixação em quatro grupos principais. São eles:

1. Conexões discretas: são elementos de fixação independentes das partes que serão unidas. Podem ser unitários ou múltiplos, podendo ser removidos dos componentes e reusados, dependendo das suas condições. São exemplos de conexões discretas parafusos, porcas, arruelas, molas, entre outros;
2. Conexões integrais: são conexões integradas às partes do produto. Essas conexões não requerem o uso de elementos de suporte ou ferramentas de montagem. São exemplos de conexões integrais travas, *snap-fits*, entre outros;
3. Conexão adesiva: são conexões que unem componentes por meio do uso de tipos de cola (adesivos). Essas colas podem variar de acordo com a necessidade de aplicação;
4. Conexão energética: são conexões que usam energia externa para unir componentes. São exemplos de conexões energéticas o processo de solda, brasagem, entre outros.

Pahl *et al.* (2005) dividem as conexões mecânicas em dois grupos:

1. Arranjo fixo: conexões com arranjo fixo são descritas como sendo sem movimento relativo entre os componentes;
2. Arranjo móvel: conexões com arranjo móvel possuem, ao menos, um grau de liberdade entre os componentes.

Nesse contexto, serão apresentadas as conexões com arranjo fixo. Após dividir em dois grandes grupos, Pahl *et al.* (2005) classificam as conexões em três grupos menores:

1. Conexão material: são conexões que ocorrem pela união entre materiais, por meio de forças moleculares e de adesão na superfície de contato. São exemplos de conexão material uniões por solda, abrasão e adesivos;
2. Conexão pela forma: são conexões que ocorrem por meio de forças normais nas superfícies atuantes de elementos que se entrelaçam nas regiões de interfaces. São exemplos de conexão pela forma uniões com chaveta, pino, rebite, engate rápido entre outros;
3. Conexão por força: são conexões que ocorrem pela ação da força entre as superfícies dos componentes conectados. São divididas ainda em outros três grupos: i/ conexão por força de atrito – ocorrem por meio das forças de atrito nos pares das superfícies de funcionamento, gerando força normal e força resultante. São exemplos dessas conexões uniões flangeadas, parafusadas entre outras; ii/ conexão por campos de força – ocorrem por meio de campos de força como forças magnéticas, hidrostáticas, aerostática ou meios viscosos. São exemplos dessas conexões mancais magnéticos, embreagens hidrostáticas; e iii/ conexões por forças elásticas – ocorrem pela deformação de elementos elásticos que armazenam forças. São exemplos de conexões por forças elásticas uniões pela ação de molas, borrachas, entre outros.

No Quadro 1 tem-se a correlação entre as conexões apresentadas por Sonnenberg (2001) e Pahl *et al.* (2005).

Tipos de conexão	
Sonnenberg (2001)	Pahl <i>et al.</i> (2005)
Conexão adesiva	Conexão material
Conexão energética	
Conexões integrais	Conexão pela forma
Conexões discretas	Conexão por força

Quadro 1 – Correlação entre os tipos de conexão

Conceituar os tipos de conexão é importante para o entendimento das restrições geométricas existentes entre elas. Por exemplo, em uma conexão adesiva não existe possibilidade de rotação isolada entre os componentes. Ou seja, uma vez unidos, esses componentes transferem o mesmo movimento. Conhecer as restrições geométricas e direções de movimentação será importante para o desenvolvimento dessa dissertação.

Nota: O foco dessa dissertação será o tipo de conexão discreta/ por força.

2.9.2 Direção de remoção

Algumas das conexões apresentadas na seção 2.9.1 possuem certa liberdade de movimentação, por exemplo, o tipo de conexão discreta/por força. Outros tipos possuem liberdade de movimentação limitada, devido ao seu conceito. Com base nisso, a presente seção pretende apresentar algumas características relacionadas à direção de remoção de algumas conexões mecânicas. A Figura 9 mostra, em uma forma gráfica, algumas direções de remoção e as possibilidades de movimentação de alguns tipos de conexões mecânicas.

Nome	Ilustração		Translação	Rotação	Movimento helicoidal
Plana		→			
Nervura-Rasgo		→			
Conexão T		→			
Pino-furo		→			
Retangular		→			

Figura 9 – Direções de remoção e movimentação de conexões

Fonte: Adaptado de Popescu e Iacob (2013).

A conexão plana simula a união por solda entre duas chapas, sendo possível transladar 360° em um plano, rotacionar e com movimentos helicoidais, em apenas um eixo (antes do processo de solda ser efetivado). A conexão Nervura-Rasgo permite a translação em um eixo, com restrições em rotações e movimentos helicoidais.

A conexão T é similar à Retangular, pois permite movimentação em apenas um eixo, translação, mesmo que sejam mecanicamente muito diferentes. A conexão Pino-Furo, foco desse estudo, permite a translação, rotação e movimento helicoidal em apenas um eixo, neste caso, eixo Y.

Por analogia, a conexão Pino-Furo, remete à montagem de um parafuso na união de dois ou mais componentes. Em um parafuso, tem-se o movimento helicoidal, devido aos filetes de rosca e à translação por meio de um eixo.

Na próxima seção, serão apresentados alguns pontos relacionados aos elementos de fixação.

2.9.3 Elementos de fixação

Durante o processo de reparo, uma das principais atividades é a remoção dos elementos de fixação⁷. Sendo assim, ao longo da desmontagem de um sistema para se ganhar acesso ao componente, muitos passos podem ser necessários até que se alcance o item desejado. Em componentes mecânicos, o procedimento de montagem e desmontagem está repleto de elementos de fixação, como parafusos, travas, contra pinos, rebites, montagens por interferência entre outros tipos que fazem a união entre dois ou mais componentes de um produto.

Para Coulibaly, Houssin e Mutel (2008), as uniões existentes entre os componentes em uma modelagem em *CAD* podem trazer informações relevantes sobre a dificuldade e a facilidade com que a remoção destes componentes podem ocorrer. A metodologia apresentada por estes autores sugere-se o uso de um fator de tempo em relação à dificuldade de se realizar a desmontagem do elo de fixação como apresentada na Tabela 1.

⁷ Ressalta-se que existem outros tipos de conexões/elementos de fixação. Porém, esta dissertação irá focar em elementos de fixação – parafusos.

Tabela 1 – Fatores para a desmontagem de elementos de fixação

Tipo de elo de fixação	Fator de desmontagem
Sem contato	0
Contato	1
Clipping	2
Roscamento / Dobradiça	3
Parafuso/Porca	4
Encapsulamento	7
Cola	8
Solda	10

Fonte: Adaptado Coulibaly, Houssin e Mutel (2008).

MIL-HDBK-470A (1997) reforça algumas ações elementares de manutenção para alguns elementos de fixação, encontrados na literatura, disponibilizando tempos aproximados em minutos, como mostrado na Tabela 2, e a correlação com a Figura 46 (pág.150), mostrada no Apêndice A.

Tabela 2 – Tempo para a substituição de elementos de fixação

Descrição	Remoção (min)	Substituição (min)	Figura
Parafuso padrão	0,16	0,42	APÊNDICE A
Parafuso cabeça cilíndrica com hexagonal interno (<i>Allen</i>)	0,17	0,60	
Parafuso borboleta	0,06	0,14	
Parafuso de máquina com contra porca	0,21	0,67	
Parafuso com contra porca	0,34	0,78	

Fonte: Adaptado de MIL-HDBK-470A (1997).

Como mostrado na Tabela 1 e 2, fica clara a importância da seleção da conexão pela equipe de desenvolvimento do produto. Dependendo da solução adotada bem como a quantidade de elementos de fixação, estes fatores poderão influenciar no tempo de reparo do produto. Portanto, uniões que possuem alto tempo de remoção, por exemplo, parafuso com contra porca, devem ser evitadas.

2.9.3.1 Parafusos

Parafusos são elementos de fixação, empregados na união não permanente de peças, isto é, as peças podem ser montadas e desmontadas facilmente, bastando apertar e desapertar os parafusos que as mantêm unidas (DUBBEL,

1994). Os parafusos se diferenciam pela forma da rosca, da cabeça, da haste e do tipo de acionamento, conforme mostrado na Figura 10.

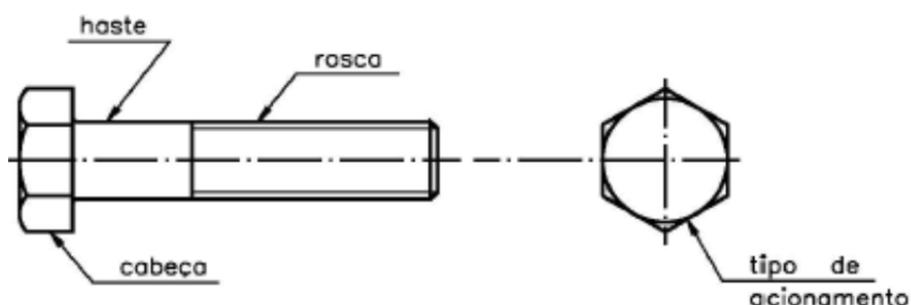


Figura 10 – Composição básica de um parafuso
Fonte: IFES (2011).

O corpo do parafuso pode ser cilíndrico ou cônico, totalmente roscado ou parcialmente roscado. A cabeça pode apresentar vários formatos; porém, há parafusos sem cabeça. Existe uma grande variedade de parafusos que podem ser diferenciados pelo formato da cabeça, do corpo e da ponta. Essas diferenças, determinadas pela função dos parafusos, podem ser classificadas em quatro grandes grupos (DUBBEL, 1994). São eles:

1. Parafusos passantes: os parafusos passantes atravessam de lado a lado os componentes que serão unidos, passando entre os furos;
2. Parafusos não passantes: os parafusos não passantes não utilizam porcas. A função da porca é feita com um furo roscado em uma das peças a ser unida;
3. Parafusos de pressão: os parafusos são fixados pelo uso da pressão. A pressão é exercida pelas pontas dos parafusos contra o componente a ser fixado;
4. Parafusos prisioneiros: os parafusos prisioneiros possuem um corpo roscado em ambas as extremidades e não possuem cabeça.

Uma forma ilustrada relacionada aos grupos de parafusos apresentados aqui pode ser vista no Apêndice B. Devido à grande variedade de tipos de parafusos e suas características, maiores detalhes podem ser verificados nos Apêndices C e D. Em decorrência da variedade dos parafusos e roscas, fez-se necessário a padronização das roscas e das características dos parafusos. Na literatura encontra-

se a história da padronização (normas) para os elementos de fixação desde sua origem até a atualidade.

No entanto, a intenção dessa dissertação é apenas situar o leitor sobre a existência das principais normas, *ISO (International Organization for Standardization)* e a norma alemã, *DIN (Deutsches Institut für Normung)*. Não serão apresentados, nessa revisão, grandes detalhes a respeito da padronização de componentes, apenas uma correlação entre as normas *ISO versus DIN* sobre parafusos (principais elementos), no Apêndice E.

Para a remoção, instalação e procedimento de aperto de parafusos, existe a necessidade da utilização de ferramentas adequadas para realizar tal atividade. Contudo, a literatura e catálogos técnicos trazem uma enorme gama de ferramentas universais que podem ser utilizadas.

Na próxima seção serão apresentados conceitos sobre as principais ferramentas universais para a realização das atividades citadas aqui.

2.10 FERRAMENTAS PARA OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO

Ferramentas são as interfaces primárias para técnicos de manutenção no trabalho apesar de todos os esforços de automação feitos na indústria moderna (CHRISTENSEN e BISHU, 2000). Para realizar a manutenção de qualquer produto, o ideal é sempre manter o número de ferramentas para realizar a desmontagem, a montagem, ajustes, alinhamento, no menor nível possível. Pode-se compilar as ferramentas em dois grupos principais:

- a/ Ferramentas mecânicas universais: são ferramentas comumente encontradas no mercado, tais como chave combinada, chave de boca, chave com hexagonal externo (*allen*), chaves catraca, sacadores universais, entre outros (MOSCHETO, 2009).
- b/ Ferramentas especiais: são ferramentas especialmente desenvolvidas pelo fabricante para atender ao *design* do seu produto. Estas ferramentas visam realizar o trabalho de manutenção de forma segura, rápida, com qualidade, funcional, e que atendam requisitos de ergonomia (e.g.: copos para montagem de retentores, cavaletes específicos para segurar motores, caixa de câmbio ou diferenciais para

procedimentos de recondicionamento em bancada, entre outros) (MOSCHETO, 2009).

2.10.1 Ferramentas mecânicas universais

Define-se ferramentas mecânicas universais (manuais) como sendo instrumentos ou utensílios usados em atividades que ampliam e diversificam a eficácia das mãos; proporcionando maior força e precisão (SAÚDE, 2014).

Existe uma grande variedade de ferramentas mecânicas universais (manuais) usadas na manutenção do produto, como pode ser visto nos catálogos de alguns dos principais fabricantes de ferramentas do país, dos quais pode-se citar Belzer (2014), Gedore (2014), Tool mix (2014) e Tramontina (2014).

Como citado na seção anterior, serão apresentadas as principais ferramentas para remoção/instalação e procedimento de aperto em parafusos. Baseado nesse contexto, dois grupos de ferramentas universais (manuais) serão abordados, chaves de aperto e torquímetros. Chaves de aperto são ferramentas que utilizam o princípio da alavanca para apertar ou desapertar parafusos e porcas (SENAI, 1996). As chaves de aperto são classificadas em sete categorias principais:

1. Chave de boca fixa simples: Pode apresentar uma ou duas bocas;
2. Chave combinada (de boca e de estrias): Combina a chave de boca simples com a chave de estrias;
3. Chave de boca regulável: permite abrir ou fechar a mandíbula móvel da chave, por meio de um parafuso regulador ou porca;
4. Chave com hexagonal externo (*allen*): utilizada em parafusos cuja cabeça tem um sextavado interno.;
5. Chave radial ou de pinos: utilizadas nos rasgos de peças geralmente cilíndricas;
6. Chave soquete (“cachimbo” ou “pito”): são da mesma família das chaves de estria. São adaptadas em chaves catraca e extensores;
7. Chave de fenda/*philips*: são ferramentas utilizadas para remover/instalar parafusos cujas cabeças tenham fendas ou ranhuras.

Torquímetro é uma ferramenta manual utilizada na medição do torque (ou aperto) dos parafusos conforme uma dada especificação. Com isso, evita-se a

formação de tensões e conseqüentemente deformação das peças quando em serviço. A leitura é direta na escala graduada, permitindo a conferência do aperto, de acordo com o valor estabelecido (SENAI, 1996).

Existem vários tipos de torquímetros, os principais são:

- a/ Torquímetro indicador e escala;
- b/ Torquímetro de relógio;
- c/ Torquímetro automático (mecânico e eletrônico).

Todos os torquímetros possuem a mesma função, medir o torque de aperto, sendo que a suas variações ocorrem em forma, materiais empregados e precisão. Ressalta-se a existência de uma grande variedade de ferramentas de aperto, seja em forma, materiais, soluções específicas de cada fabricante entre outras variações. Sendo assim, foram mostradas as principais ferramentas para o atingimento do objetivo da presente dissertação. Algumas ilustrações das ferramentas mostradas nessa seção são encontradas no Apêndice F. Salienta-se, que as ferramentas universais (manuais) também seguem normas internacionais em relação as suas dimensões principais. Sendo assim, é possível relacionar tamanho de elementos de fixação com ferramentas.

2.11 ERGONOMIA

De acordo com Brasil (2015), ergonomia pode ser conceituada como sendo “parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente”.

Moscheto (2009) informa que a ergonomia deve ser considerada durante o PDP, fazendo com que a interface de utilização entre o ser humano e o produto seja adequada durante a vida útil e que a equipe de desenvolvimento também deve considerar a ergonomia no momento em que o produto deverá ser reparado.

Não é a intenção da presente dissertação abordar de uma forma muito contundente este tema, porém alguns exemplos sobre as posições de trabalho, bem como espaços necessários para uso de ferramentas universais estão mostradas nas Figuras 11a, 11b, 11c e 11d.

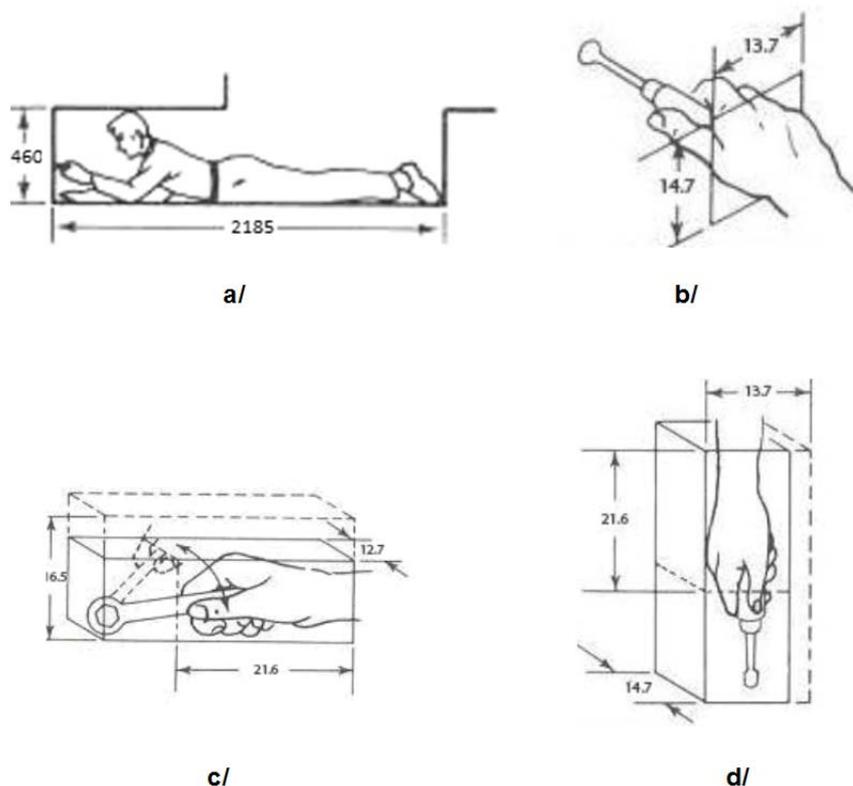


Figura 11 – Espaços requeridos para operações com ferramentas mecânicas
Fonte: Adaptado de Blanchard, Verma e Peterson (1995).

Blanchard, Verma e Peterson (1995) informam que esses espaços, mostrados nas Figuras 11a, 11b, 11c e 11d devem servir como base para os projetistas considerarem a manutenibilidade como fator importante durante o PDP. Incorporando certos fatores (como mínimos espaços para utilizar ferramentas), os projetistas poderão desenvolver um produto fácil de ser mantido durante o ciclo de vida.

Na Figura 11a, tem-se o espaço requerido para uma operação de manutenção. Nas Figuras 11b, 11c e 11d, tem-se o espaço requerido para o uso de ferramentas universais em janelas de acesso. Os valores apresentados nas figuras estão expressos em centímetros (cm).

Porém, apenas as janelas de inspeção não são suficientes para atender a manutenção de certos produtos, uma vez que não se sabe qual será o técnico de manutenção que irá realizar a manutenção no produto. Ou seja, caso seja um técnico de manutenção com uma mão maior que média, a janela de inspeção não será suficientemente grande para atender a essa necessidade. Sendo assim,

considerar o tamanho das mãos dos técnicos de manutenção, é necessário para o endereçamento da acessibilidade.

2.11.1 Tamanho das mãos

A equipe de desenvolvimento deve considerar o tamanho da mão do técnico de manutenção que irá realizar a manutenção já no desenvolvimento do produto, sendo que o tamanho médio da mão é obtido por meio de dados estatísticos ou padrões determinados (ZHOU *et al.*, 2014).

Blanchard, Verma e Peterson (1995) trazem, como citado anteriormente, informações de espaços mínimos para operações de manutenção considerando a ergonomia como fator importante. Porém, não mencionam que o tamanho das mãos influencia na acessibilidade, podendo então variar o tamanho mínimo dos espaços propostos.

Na Tabela 3, têm-se as principais dimensões para pessoas do sexo masculino e feminino. Os valores apresentados na Tabela 3 são oriundos de dados estatísticos.

Tabela 3 – Tamanho das mãos de pessoas em diferentes percentis (em mm)

Sexo	Masculino			Feminino		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
Itens						
Comprimento da mão (a)	173	184	197	165	175	186
Comprimento da palma da mão (b)	99	105	112	93	99	105
Largura da mão (c)	76	83	89	71	77	83
Perímetro da palma da mão (d)	190	205	217	180	185	189
Espessura da palma da mão (e)	27	28	30	24	24	26

Fonte: Adaptado de Zhou *et al.* (2014).

A Tabela 3 indica, como exemplo, que para o sexo feminino, 95% (noventa e cinco percentil) das mulheres terão o comprimento da mão em até 186 mm. Ou que, para o sexo masculino, 50% (cinquenta percentil) terão a largura da mão em até 83 mm. Portanto, cabe dizer que, 50% das pessoas terão a largura da mão maior do que 83 mm.

A Figura 12 traduz os pontos mostrados na Tabela 3 de forma ilustrada e esquemática.

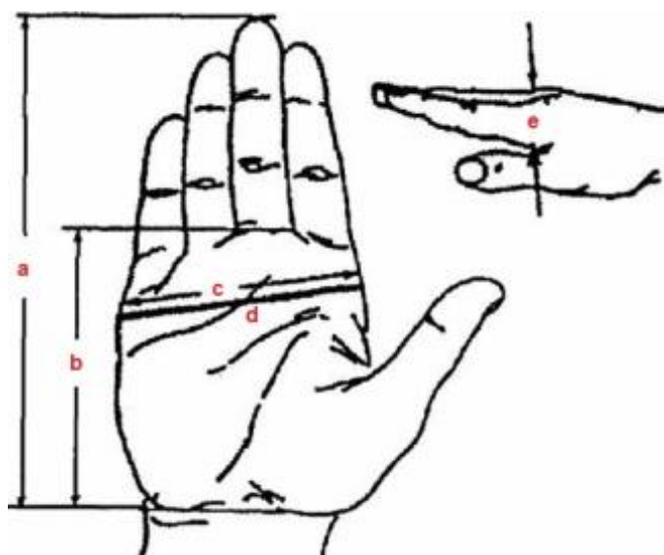


Figura 12 – Diagrama esquemático do tamanho das mãos
Fonte: Adaptado de Zhou *et al.* (2014).

Portanto, como visto anteriormente, considerar aspectos ergonômicos durante as atividades de desenvolvimento do produto deve fazer parte do cotidiano da equipe de desenvolvimento. Aliado aos diversos critérios e demandas recebidas pela equipe de desenvolvimento, é necessário o trabalho em conjunto com as demais áreas da companhia, como a área comercial, pós-venda, fabricação, entre outros. Sendo assim, parte importante dessa atividade é a abordagem, de todas essas demandas e solicitações para a equipe de desenvolvimento, por meio da engenharia simultânea.

2.12 ENGENHARIA SIMULTÂNEA

Sprague, Singh e Wood (1991) definem a engenharia simultânea como sendo uma abordagem sistemática para o projeto simultâneo e integrado de produtos e de processos relacionados, incluindo atividades de manufatura e suporte, pela qual procura considerar todos os elementos do ciclo de vida do produto desde a concepção até a disposição, incluindo qualidade, custo, programação e requisitos dos usuários.

Segundo Smith (1997), os quatro fundamentos que servem de base para a engenharia simultânea são: i/ a importância crescente da manufatura nas decisões tomadas ao longo do desenvolvimento do produto; ii/ a criação de equipes

multifuncionais durante o PDP; e iii/ o foco nas demandas dos clientes; e iv/ o uso do prazo de entrega (*lead-time*) como uma fonte de vantagem competitiva.

Decisões da manufatura sempre estiveram um passo à frente durante o desenvolvimento do produto, como citado anteriormente. Ao se criar equipes multifuncionais, a comunicação entre a equipe de desenvolvimento de produto e a equipe responsável pela manutenção do produto deve ser constante e com alto grau de qualidade. Porém, a comunicação entre equipe de desenvolvimento do produto e equipe responsável pela manutenção do produto (suporte) nem sempre ocorre de forma clara e objetiva. Algumas razões podem ser listadas: i/ estrutura organizacional, mantendo as duas funções separadas; ii/ falta de tempo e compartilhamento de informações; e iii/ falta de interesse entre as funções (conhecimento mútuo entre as funções).

Blanchard, Verma e Peterson (1995) descrevem sobre a criação de uma organização orientada à manutenibilidade e salienta que a comunicação entre a equipe de desenvolvimento e manutenção do produto (suporte) deve ser baseada no conhecimento técnico, sendo necessário o conhecimento mútuo das funções (equipe de desenvolvimento com conhecimento nos procedimentos de manutenção e a equipe de suporte do produto com conhecimento sobre a linguagem da equipe de desenvolvimento).

Blanchard, Verma e Peterson (1995) listam um conjunto de conhecimentos para a equipe de manutenção: i/ formação preferencialmente em engenharia (área de atuação); ii/ entendimento do PDP; iii/ compreensão de sistemas de desenvolvimento de produto (sistemas *CAD*, elementos finitos entre outros); e iv/ entendimento das relações existentes nas diferentes funções da empresa.

Gaoliang *et al.* (2010) deixa explícito que o projeto para a manutenibilidade não é integrado e sintetizado com o projeto do produto e supostamente deveriam ter uma relação próxima. Informa ainda que a análise da manutenibilidade é atrasada, o processo é invisível, não vivo, muito dependente de protótipos físicos e baseado na experiência das pessoas chaves em manutenção.

Sendo assim, é muito importante que os engenheiros de desenvolvimento de produto enderecem a manutenibilidade durante o seu trabalho usual, por exemplo, conhecendo o ambiente onde o produto está inserido, como é realizada a

manutenção do produto durante seu ciclo de vida, entre outros importantes tópicos (CHEN e CAI, 2003). Porém, muitas vezes faltam subsídios para os engenheiros de desenvolvimento aportarem recursos para endereçar o parâmetro manutenibilidade durante o ciclo de desenvolvimento.

Apenas o conhecimento mútuo entre as funções, compartilhamento de informações e boas relações entre as equipes não asseguram que a manutenibilidade será endereçada e muito menos verificada durante o PDP. Portanto, uma ferramenta importante que é utilizada para a integração e comunicação é o *CAD*. Na próxima seção serão abordados detalhes sobre a ferramenta *CAD* e estudos relacionados à integração entre *CAD* e manutenibilidade.

2.13 UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS CAD

Sistemas *CAD* são ferramentas computacionais que visam auxiliar e facilitar o projeto e o desenho de produtos. A utilização de sistemas *CAD* é, atualmente, a principal forma de auxílio aos projetistas e desenvolvedores de produtos. Ao decorrer dos anos, ocorreram muitas atualizações e melhorias nesses sistemas, tornando-os fundamentais para o desenvolvimento, agilidade e suporte à engenharia simultânea.

Para Pahl *et al.* (2005), “um modelo digital do produto também é pré-condição para o trabalho em paralelo no processo de um produto (engenharia simultânea)”. Ding (2009) afirma que o modelo digital do produto não inclui a informação da característica da manutenção do produto. Sendo assim, não é possível prover suporte para a manutenção de forma isolada. Portanto, é necessário construir um modelo de integração do produto combinando modelos digitais e informação de manutenção. Uma forma de integração de modelos e informação de manutenção pode ser encontrada com a utilização da realidade virtual.

A chamada “realidade virtual”, trazida junto ao desenvolvimento do produto pelos sistemas *CAD*, possibilita que o parâmetro de manutenibilidade seja avaliado antes mesmo que um modelo ou um protótipo real sejam construídos (HAO; YU; XUE, 2002). MIL-HDBK-470A (1997), indica que a equipe de manutenção do produto irá usar sistemas *CAD*/realidade virtual para verificar os seguintes pontos:

a/ Acessibilidade;

- b/ Visão de campo (*field of view*);
- c/ Ergonomia (e.g. seção 2.11);
- d/ Verificação de diretrizes sobre a manutenibilidade;
- e/ Verificação de tempo padrão.

Salienta-se que a verificação de tempo padrão de reparo, bem como as outras verificações da manutenibilidade, não são simples de serem realizadas e geralmente ocorrem pela experiência da equipe de manutenção do produto ou por situações práticas, baseadas no conhecimento do produto atual e na capacidade de entender as alterações propostas no novo produto.

Mesmo com as diversas técnicas de projeto que auxiliam o projetista e métricas relacionadas à manutenibilidade, nenhuma delas será capaz de substituir por completo a equipe de manutenção do produto (suporte), sendo esta equipe capaz de: i/ verificar sequências de reparo; ii/ conferir a padronização e simplificação do produto e; iii/ uso de ferramentas universais e/ou especiais.

Muitos autores têm pesquisado a utilização dos sistemas CAD/realidade virtual durante o desenvolvimento de produto no que tange à avaliação da manutenibilidade. Alguns pesquisadores focam em prover verificações de manutenibilidade incorporada a um sistema CAD visando auxiliar o projetista a considerar fatores de manutenção durante o seu trabalho (PENG *et al.*, 2012).

Zhou *et al.* (2014) usam volumes das mãos de técnicos de manutenção para avaliar a acessibilidade em componentes. Utiliza uma série de fatores, como tamanho da mão, ângulo máximo e mínimo de movimentação da mão entre outros, para analisar o acesso a sistemas críticos (detalhes na Figura 13).



Figura 13 – Verificação da acessibilidade utilizando realidade virtual
Fonte: Adaptado de Zhou *et al.* (2014).

Wu *et al.* (2011) mostram como a manutenibilidade pode ser endereçada e verificada com a utilização de sistemas virtuais imersos (com o uso de luvas, óculos e sensores) e não imersos (sistema CAD convencional e uso de *dummies*⁸).

Ma *et al.* (2011) simularam um “humano” digital em um ambiente virtual para avaliar a dificuldade de operações manuais de manutenção e processos de montagem. Christiand, Yoon e Kumar (2009) propuseram uma nova estrutura de otimização de montagem baseado em um algoritmo genético. Esta otimização permitiu a determinação do planejamento ótimo do processo de manutenção seguindo uma sequencia de montagem otimizada e considerando fatores de planejamento de rota.

Abate *et al.* (2009) apresentaram uma solução que é a combinação de técnicas de realidade virtual e interação para simular o processo de manutenção de uma máquina de montagem para a indústria aeroespacial.

Murray e Fernando (2004) configuraram um protótipo de ambiente virtual imersivo para suportar a montagem do produto e manutenção. Li, Khoo e Tor (2003), propuseram um sistema protótipo chamado V-REALISM para treinamento da manutenção.

O estudo proposto por Fernando, Marcelino e Wimalaratne (2001) suporta as operações de montagem e desmontagem em ambientes virtuais imersos. O estudo realizado por De Sá e Zachmann (1999) aplica manutenção virtual⁹ na simulação do processo de manutenção e montagem de protótipos virtuais.

As verificações da manutenibilidade utilizando sistemas CAD (realidade virtual) são cada vez mais frequentes e importantes. Ressalta-se ainda, que além dessas verificações utilizando a realidade virtual, Slavilla, Decreuse e Ferney (2005) apresentam outras três formas de realizar verificações e avaliações da manutenibilidade durante as fases do desenvolvimento do produto. São elas:

⁸ *Dummies* são componentes e/ou manequins que não possuem atribuições do ponto de vista funcional ou de manufatura. É criado simplesmente para reservar um volume 3D utilizado para futuras verificações.

⁹ A aplicação da realidade virtual no processo de manutenção é chamada de manutenção virtual. Na literatura, encontra-se essa nomenclatura, manutenção virtual, sendo definida como uma aplicação da realidade virtual que simula o processo de manutenção e inclui protótipos e “humanos” virtuais (DONG; CHUAN; LE, 2013).

1. Lista de verificação de projeto para a manutenibilidade: é utilizada para prover uma síntese das avaliações realizadas podendo ser dividida em vários itens. Com a utilização de ferramentas *CAD*, por exemplo, é possível verificar se a acessibilidade física estará sendo atendida e de acordo com as necessidades do projeto (como mostrado na Figura 14);
2. Avaliação da manutenibilidade utilizando protótipos físicos: são utilizados modelos físicos para a avaliação por parte de técnicos da manutenção, de ferramentas, acessibilidade, entre outras atividades. Essa avaliação mostra onde a manutenibilidade pode ser melhorada. Um revés dessa avaliação é o alto custo da confecção dos protótipos e verificações tardias ao longo do PDP;
3. Avaliação da manutenibilidade utilizando enfoque quantitativo: são utilizados critérios e/ou equações para avaliar a manutenibilidade do sistema, por exemplo, o uso do *MTTR* e do *MTBF*.

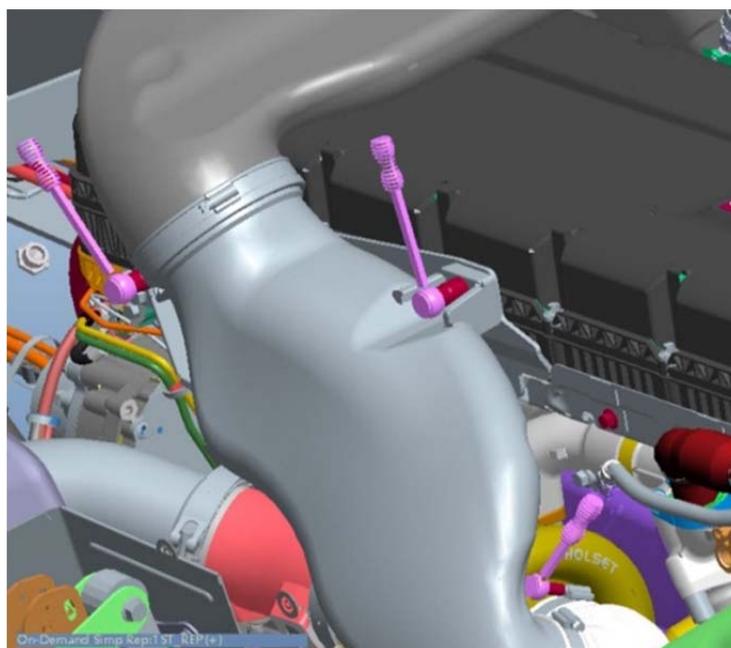


Figura 14 – Verificação de acessibilidade em ambiente virtual

Entretanto, as pesquisas a respeito da aplicação da realidade virtual e as formas de verificação/avaliação focam no desenvolvimento das soluções computacionais de forma isolada e/ou na verificação da manutenibilidade (abordagens para melhoria do produto) em fases tardias do desenvolvimento do produto, na qual as alterações em conceito são custosas demandam longos

períodos de adaptação. Sendo assim, não focam no endereçamento da manutenibilidade em etapas iniciais do PDP onde os custos são baixos e a flexibilidade de alteração é grande. Moschetto (2009) propôs um modelo, utilizando sistema *CAD* como base para considerar reservas de espaço para tratar manutenibilidade em componentes-chave durante as etapas iniciais do desenvolvimento do produto, aprimorando a comunicação entre equipe de desenvolvimento de produto *versus* manutenção.

Nota: Elementos de fixação dificilmente serão considerados como sendo componentes-chave, por não atenderem aos critérios mencionados. Porém, componentes-chave são fixados e conectados, em sua grande maioria, por elementos de fixação. Portanto, é factível utilizar o conceito de reserva de espaço para endereçar a acessibilidade em elementos de fixação.

Contudo, não existe uma forma clara de integrar os sistemas *CAD*, avaliações de manutenibilidade, projetistas, suporte ao campo e pessoas responsáveis pela manutenção do produto. Uma forma de integrar todos os pontos citados aqui é por meio da reserva de espaço, que será detalhada a seguir.

2.13.1 Reserva de espaço

Reserva de espaço é um volume, criado em programa de *CAD*, limitando o acesso ao componente-chave. Ou seja, envolve restrições geométricas atribuídas ao produto, pelo engenheiro de reparo ou de produto, que limitam ou colocam uma informação que certo componente poderá sofrer uma intervenção futura (remoção, instalação, ajustes entre outros). A reserva de espaço é considerada como sendo a conversão do conhecimento dos aspectos da manutenibilidade do engenheiro de serviço em uma linguagem comum e de fácil entendimento para o engenheiro de desenvolvimento de produto.

Desta forma, é transformada a linguagem do campo para a linguagem da equipe de desenvolvimento de produto. Ou seja, interferência/barreiras que devem ser transpostas pelo engenheiro de desenvolvimento de produto para permitir a acessibilidade de componentes-chave.

Moschetto *et al.* (2011) citam que para os componentes-chave ou priorizados faz-se mandatória uma análise de espaços disponíveis salvaguardando

rotas/reservas de espaço necessárias para que a manutenção destes componentes possam ser devidamente realizadas. Moschetto (2009) indica que o procedimento de confecção e análise da reserva de espaços para componentes-chave pode ser executada utilizando os seguintes passos:

1. Priorizar o componente a ser estudado. Obrigatoriamente todos os componentes-chave devem ser examinados;
2. Baseado na modelagem do produto completo são criadas análises virtuais em um sistema *CAD* (acesso de montadores, pessoal de manutenção e ferramentas) que comprovem a desmontagem/reparo/ajuste do componente no local;
3. Um volume pode ser confeccionado em ambiente *CAD* para provar que nenhum componente está impedindo o componente-chave de ser removido ou mesmo servir de referência para trazer à tona as possíveis interferências que o engenheiro do produto deverá eliminar.

A Figura 15 apresenta uma reserva de espaço confeccionada de acordo com o modelo criado por Moschetto (2009), na qual as chaves são posicionadas e suas localizações servem como base para a criação de um modelo em sistema *CAD*.

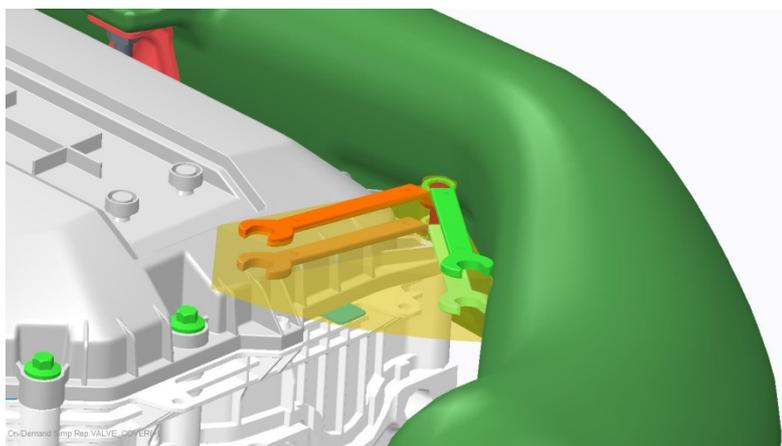


Figura 15 – Exemplo de reserva de espaço

Sendo assim o modelo criado por Moschetto (2009) e apresentado acima, permite endereçar a manutenibilidade para componentes considerados chaves durante o PDP. Porém, realiza o desenvolvimento da reserva de espaço de uma forma manual, o que leva tempo para ser realizado além de ser dependente do conhecimento prévio do engenheiro de reparo/produto.

Além disso, realizando a reserva de espaço de forma “manual”, sem o auxílio de programas auxiliares, como é o IPS (2014) para a sua confecção, o volume reservado pode ser maior do que o necessário para a realização da manutenção e pode não considerar itens importantes, como tamanho das mãos dos técnicos de manutenção, movimentações de ferramentas entre outros.

Portanto, não considerar itens importantes para a reserva de espaço, como citado anteriormente, faz com que a reserva de espaço torne-se uma “punição” para a equipe de desenvolvimento de produto, restringindo a solução técnica que está sendo desenvolvida e limitando a equipe de desenvolvimento a contornar o volume reservado (maior do que o necessário).

Logo, faz-se necessário utilizar recursos para reduzir a “punição” que a equipe de desenvolvimento do produto recebe quando é realizada a reserva de espaço de forma manual com o auxílio de sistemas *CAD*. Considerar realmente o espaço necessário para realizar a manutenção do produto, utilizando a acessibilidade de componentes como base, com a utilização de ferramentas mecânicas e espaço para as mãos, considerado no volume gerado, servirá como auxílio á equipe de desenvolvimento para o correto endereçamento da manutenibilidade durante o PDP.

Essas reservas de espaço permitirão a equipe de desenvolvimento, desenvolver soluções mais maduras dos pontos de vista da manutenção, uma vez que será possível gerar esses volumes e aprimorá-los durante o desenvolvimento do produto. A alocação da reserva de espaço deve ser feita de forma integrada com o restante da equipe de desenvolvimento e o amadurecimento e detalhamento dos volumes se faz necessário assim como é o desenvolvimento das soluções.

A literatura trata, fortemente sobre o uso de métricas e as verificações da manutenibilidade com a utilização de sistemas *CAD*, como mostrado nas seções 2.6 e 2.13. Porém, existe uma lacuna na literatura no que tange à reserva de espaço para endereçar a manutenibilidade durante o PDP. O foco da reserva de espaço proposta por Moschetto (2009) e tratada nessa dissertação com mais detalhes é garantir que as demandas do pós-venda, utilizando uma linguagem comum de comunicação entre desenvolvimento e manutenção, possam ser endereçadas com a utilização de volumes geométricos gerados em sistemas *CAD*.

2.14 CARACTERIZAÇÃO DA OPORTUNIDADE E MOTIVAÇÃO PARA A INVESTIGAÇÃO

Os custos atrelados à manutenção do produto, muitas vezes não são considerados durante o PDP, cujo foco inicial é o custo para a aquisição do produto. A manutenção do produto é parte fundamental na etapa de operação do sistema, na qual o conhecimento de alguns conceitos são necessários, como: i/ tipos de manutenção; ii/ níveis de manutenção; iii/ operações de reparo; iv/ quais ferramentas são usadas para remover/instalar uma fixação; v/ conhecimento de conexões mecânicas; vi/ direção de remoção de componentes; e vii/ consideração do volume da mão do técnico de manutenção para a realização da operação de manutenção.

Os itens apresentados aqui são apenas uma parte do que deveria ser o cotidiano da equipe de desenvolvimento quando o objetivo é desenvolver um produto com foco em manutenibilidade. Sendo assim, o estudo da manutenibilidade e a sua aplicação durante o desenvolvimento do produto faz-se necessário para endereçar itens que são negligenciados pela equipe de desenvolvimento.

A manutenibilidade é um parâmetro da engenharia que objetiva facilidade de reparar sistemas/produtos, economizar tempo e recursos para que um produto/sistema esteja em um estado funcional (MIL-HDBK-470A, 1997). A manutenibilidade pode ser gerida com a utilização de métricas quantitativas, qualitativas e alguns parâmetros. Porém, as métricas quantitativas, por exemplo, são bem exploradas quando o conceito do produto já está definido, sendo utilizadas apenas como simples verificações da atualidade daquele produto. Já as métricas qualitativas e parâmetros servem como balizadores da manutenção agindo como suporte durante o desenvolvimento do produto, sem grandes impactos no conceito que está nascendo quando utilizadas de forma isolada.

Entretanto, no PDP, considerando as metodologias frequentemente referenciadas, a manutenibilidade não é considerada um item fundamental durante o desenvolvimento do produto, apesar de ser lembrada por todos os autores citados, principalmente por Pahl *et al.* (2005). Contudo, a manutenibilidade não está integrada e sintetizada durante o desenvolvimento do produto, havendo uma lacuna entre manutenção e desempenho. Além disso, o processo de verificação é invisível e muito dependente de protótipos físicos e experiência acumulada das pessoas responsáveis pela manutenção do produto.

Ao longo do PDP, a equipe de desenvolvimento de produto recebe uma grande demanda e influência de várias áreas da organização. Sendo assim, a disputa por soluções fornecidas pela equipe de desenvolvimento, aliada a prazos curtos e custos controlados, fazem com que a manutenibilidade seja deixada em segundo plano. O uso de ferramentas como o *CAD*, técnicas *DFX*, confiabilidade, acessibilidade, reserva de espaço, entre outros, são de fundamental importância durante a investigação e tratamento da manutenibilidade durante o PDP.

O objetivo do conjunto de procedimentos e do aplicativo computacional é de tornar o desenvolvimento de produto, com foco na manutenibilidade, menos dependente de pessoas experientes, com verificações e alocações virtuais e de forma integrada ao desenvolvimento do produto, com o uso, por exemplo, da engenharia simultânea e realidade virtual (sistemas *CAD*). Além disso, servem como auxílio para a correta abordagem da manutenibilidade em fases iniciais do desenvolvimento do produto e devem ser utilizadas ao longo do PDP.

Como citado no capítulo 2, existe uma disputa por espaços durante as etapas do desenvolvimento do produto. Sendo assim, a reserva de espaço é um dos itens que devem ser examinados nas etapas iniciais do PDP, aonde os custos para as alterações são baixos e com grande possibilidade de influenciar no conceito dos novos produtos. Atualmente a reserva de espaço é conduzida de forma manual, onerando o projeto com gastos de engenharia e dependente do engenheiro de produto/reparo para a correta criação, como pode ser analisado em Moscheto (2009).

Desta forma, percebe-se que a integração da reserva de espaço atrelada à abordagem da manutenibilidade em etapas iniciais do PDP visando: i/ reduzir horas de projeto; ii/ aprimorar o PDP e iii/ reduzir tempo de reparo, levam a oportunidade de desenvolver um conjunto de procedimentos/aplicativo computacional para o tratamento da manutenibilidade e auxílio da equipe de desenvolvimento para assegurar o endereçamento da manutenção do produto durante as etapas iniciais do PDP.

3 CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS E APLICATIVO

COMPUTACIONAL PARA ALOCAÇÃO DA MANTENABILIDADE

Como pode ser verificado durante os estudos conduzidos no capítulo 2, a manutenibilidade não é explorada na sua totalidade durante o processo de desenvolvimento de produto. Isso se deve a alguns fatores:

- a/ Pouco conhecimento, por parte dos projetistas, sobre os tipos de manutenção e como é realizada a intervenção no produto durante o seu uso, levando ao acréscimo do tempo de reparo pelo aumento de componentes, muitas vezes desnecessários, e elementos de fixação;
- b/ Falta de integração entre a equipe de desenvolvimento e as pessoas responsáveis pela manutenção do produto;
- c/ Falta de informação sobre a manutenção do produto atual repassada à equipe de desenvolvimento;
- d/ Falta de ferramentas de auxílio à equipe de desenvolvimento de produto para endereçar a manutenibilidade, onde destaca-se a acessibilidade como fator-chave;
- e/ A não consideração de alguns parâmetros importantes durante o desenvolvimento do produto como: aspectos ergonômicos (interface entre ferramentas e membro do operador), o uso de ferramentas mecânicas, dimensões de ferramentas e movimentos;
- f/ Pouca utilização dos sistemas CAD para a correta abordagem da manutenibilidade, com foco na acessibilidade, durante o desenvolvimento do produto, sendo o seu uso fortemente aplicado apenas na verificação das soluções;
- g/ Métricas importantes são detalhadas e comumente utilizadas. Porém, são aplicadas após a etapa conceitual de desenvolvimento de produto. Isso faz com que essas métricas sejam utilizadas para avaliar, tardiamente, algumas características do produto sem impactar ou alimentar possíveis alterações positivas no produto.

Pelas razões descritas acima, faz-se necessário propor melhorias para a aplicação do parâmetro da manutenibilidade durante o PDP, com foco em elementos

importantes, como: i/ acessibilidade; ii/ utilização de sistemas CAD; iii/ comunicação entre equipe de desenvolvimento e manutenção; iv/ reserva de espaço; v/ aspectos ergonômicos; e vi/ métricas.

Moschetto (2009) apresentou o conceito de reserva de espaço para endereçar a manutenibilidade em etapas iniciais do PDP, a fase na qual a abordagem dos parâmetros da manutenibilidade deve ser considerada (fase conceitual) e as formas de compartilhamento entre engenheiro de reparo e de produto.

Contudo, não menciona detalhadamente as etapas percorridas para a criação da reserva de espaço. Portanto, existe a necessidade de transcrever em detalhes, por meio de um conjunto de procedimentos representativo, a forma como a reserva de espaço deve ser conduzida durante o desenvolvimento do produto.

O conjunto de procedimentos proposto é baseado no conceito apresentado por Moschetto (2009) sendo então, para essa dissertação, detalhado e aprimorado com o objetivo de replicar as etapas necessárias para a criação de uma reserva de espaço. Utilizou-se um fluxograma, com tomadas de decisão, para detalhar os passos e considerou-se alguns critérios para a correta aplicação dos procedimentos.

Sendo assim, a seguir será descrita a proposta de um conjunto de procedimentos para alocação a manutenibilidade, por meio da reserva de espaço.

3.1 CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS PARA A ALOCAÇÃO DA MANTENABILIDADE UTILIZANDO RESERVA DE ESPAÇO

Como mencionado na seção anterior, Moschetto (2009) introduziu o conceito da reserva de espaço, sua aplicação e estudos de caso. Entretanto, não apresenta as etapas que devem ser percorridas durante a alocação da manutenibilidade, via reserva de espaço, pelo engenheiro de produto/reparo. Como citado no capítulo 2, o processo completo de geração da reserva de espaço demanda horas de engenharia, é realizado de forma manual, é dependente de pessoas experientes e não considera fatores importantes (e.g. métricas, aspectos ergonômicos).

Sendo assim, propõe-se um conjunto de procedimentos para a abordagem da manutenibilidade por meio da reserva de espaço, composto por nove etapas que devem ser seguidas até a finalização do processo de criação e análise do volume

previsto perante o produto em desenvolvimento. Essas etapas incluem desde a definição do componente-chave (componente que irá receber a análise de manutenibilidade) até a verificação de possíveis interferências (por parte do projetista) entre a reserva de espaço e algum componente do produto em desenvolvimento.

A Figura 16 mostra o conjunto de procedimentos de como a manutenibilidade deve ser abordada a partir do conceito da reserva de espaço.

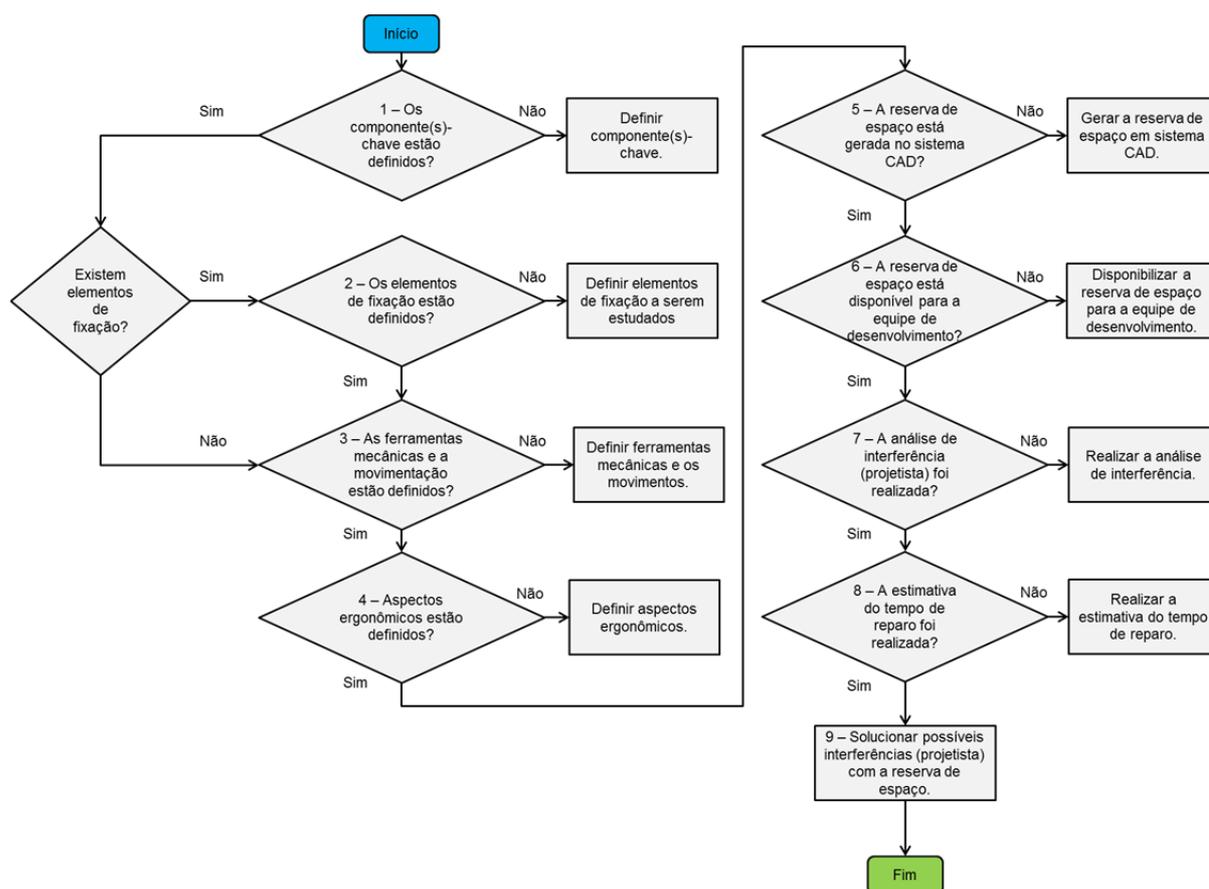


Figura 16 – Procedimentos para a alocação da manutenibilidade por meio da reserva de espaço

Como forma de clarificar os procedimentos propostos, a seguir será descrita cada etapa. São elas:

1. Etapa 1: a definição dos componentes-chave (ver detalhamento no Quadro 2) é importante para delimitar ao escopo da criação das reservas de espaço. Admite-se que todos os componentes-chave devem possuir uma reserva de espaço atrelada a eles. Essa regra está associada com o escopo do projeto e os requisitos impostos à equipe de desenvolvimento do produto;

2. Etapa 2: definir qual elemento de fixação passível de estudo é necessário para a realização da reserva de espaço. Quando o objeto de estudo é o elemento de fixação, faz-se necessária a incorporação de reservas de espaço nas ferramentas que serão utilizadas para a remoção/instalação desse elemento;
3. Etapa 3: essa é uma etapa importante para definir a ferramenta mecânica a ser utilizada e a respectiva movimentação. Em caso da não existência de elementos de fixação, a confecção da reserva de espaço poderá ser realizada considerando a rota de saída do componente. Porém, o objetivo desse conjunto de procedimentos está relacionado à utilização de ferramentas mecânicas para operações em elementos de fixação. Ressalta-se que, muitas vezes, é necessária à utilização de ferramentas especiais (ferramentas não padronizadas), o que gera diversidade, aumento no tempo de reparo, entre outros efeitos indesejados;
4. Etapa 4: a seleção de aspectos ergonômicos é fundamental para a obtenção de um processo de reparo com qualidade e sem gerar riscos para os técnicos de manutenção;
5. Etapa 5: essa etapa compreende o planejamento e abordagem da reserva de espaço. Devido à complexidade da execução, é a etapa em que mais se gasta recursos (i.e. tempo, utilização de sistemas *CAD*, conhecimento das pessoas) para ser executada;
6. Etapa 6: a reserva de espaço gerada na etapa anterior deve ser disponibilizada à equipe de desenvolvimento do produto para que possam ser realizadas as análises na próxima etapa. Sem a reserva de espaço disponível para a análise do projetista, o processo é interrompido e pode causar atrasos no desenvolvimento de soluções;
7. Etapa 7: a análise de interferência é realizada pelo projetista que recebe a reserva de espaço disponibilizada pelo engenheiro de reparo, no sistema *CAD* e, então avalia se a solução proposta colide com algum dos componentes em desenvolvimento. Assim, estabelece-se um canal de comunicação entre o projetista e o responsável pelo reparo para tentar solucionar possíveis conflitos;

8. Etapa 8: a estimativa do tempo de reparo deve ser baseada em normas e experiências anteriores. Porém, é de responsabilidade do engenheiro de reparo, a investigação final sobre o tempo de reparo do produto, cabendo ao projetista, uma verificação inicial do tempo gasto para reparar o produto;
9. Etapa 9: solucionar possíveis interferências entre a reserva de espaço e os novos componentes é atividade cotidiana do projetista. Nessa etapa, o engenheiro de reparo analisa se a nova concepção está de acordo com a solicitação definida por meio da reserva de espaço.

Um ponto importante a ser mencionado nos procedimentos descritos na Figura 16 é que, caso um componente-chave não possua elementos de fixação contidos em seu conceito, a etapa 2 não é necessária. Desta forma, o processo continua na etapa 3.

Além das etapas descritas e apresentadas na Figura 16, é necessário considerar alguns itens adicionais que servirão como base durante as tarefas a serem desdobradas, pois direcionam o que deve ser considerado para executar a ação proposta no conjunto de procedimentos proposto.

Os itens adicionais apresentados no Quadro 2 (coluna “o que considerar”) são baseados na transferência do conhecimento prático e funcional, oriundo da indústria automotiva, para o ambiente acadêmico. Todos os pontos levantados, atualmente são considerados durante a abordagem da manutenibilidade com a utilização da reserva de espaço durante as etapas do PDP.

A quantificação dos valores dos itens adicionais apresentados é complexa e depende de projeto para projeto. Além disso, pode variar de acordo com o escopo do projeto e a necessidade dos clientes. Sendo assim, a quantificação desses fatores se torna complexa e variável de acordo com os projetos a serem executados pela equipe de desenvolvimento do produto. Portanto, não serão apresentados valores para delimitar a área de atuação, sendo então, apresentados apenas os itens que devem ser considerados durante essa atividade.

O Quadro 2 detalha e estrutura as etapas, decisões, ações e itens a serem considerados durante a alocação da manutenibilidade com a utilização da reserva de espaço.

(continua)

Etapa	Decisão	Ação	O que considerar
1	O(s) componente(s)-chave estão definidos?	Definir componente(s)-chave	<ul style="list-style-type: none"> Componentes com alta taxa de falha¹⁰ Componentes com custo elevado de garantia Componentes com alto custo de reparo Componentes com alta frequência de reparo (não necessariamente atrelado a problemas de qualidade) Componentes que fazem parte da manutenção preventiva Componentes que fazem parte do escopo do projeto Componentes que fazem parte dos requisitos do projeto
2	Os elementos de fixação estão definidos?	Definir elementos de fixação a serem estudados	<ul style="list-style-type: none"> Tipos de elementos fixação Quantidade de elementos de fixação Acessibilidade aos elementos de fixação
3	As ferramentas mecânicas e as respectivas movimentações estão definidas?	Definir ferramentas mecânicas e os movimentos	<ul style="list-style-type: none"> Tipos de ferramentas Quantidade de ferramentas Disponibilidade das ferramentas Utilização de ferramentas especiais Movimentos das ferramentas empregadas no reparo
4	Aspectos ergonômicos estão definidos?	Definir aspectos ergonômicos	<ul style="list-style-type: none"> Posicionamento dos membros superiores Tamanho dos membros superiores Empunhadura da mão do técnico de manutenção na ferramenta de trabalho Janelas de inspeção corretamente dimensionadas Verificação relacionada ao peso dos componentes a serem manipulados
5	A reserva de espaço está gerada no sistema CAD?	Gerar a reserva de espaço em sistema CAD	<ul style="list-style-type: none"> Sistema CAD disponível Disponibilidade dos arquivos digitais dos componentes-chave, elementos de fixação e ferramentas no ambiente CAD Conhecimento de uso no sistema CAD Confecção da reserva de espaço, com o uso dos sistemas CAD
6	A reserva de espaço está disponível para a equipe de desenvolvimento?	Disponibilizar a reserva de espaço para a equipe de desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> Disponibilidade do sistema de gerenciamento de arquivos digitais Acesso ao sistema de gerenciamento de arquivos digitais Conhecimento de como operar o sistema de gerenciamento de arquivos digitais Rede de compartilhamento de informações conhecida
7	A análise de interferência (projetista) foi realizada?	Realizar a análise de interferência	<ul style="list-style-type: none"> Utilização de sistemas CAD para verificar interferência entre a reserva de espaço e componentes periféricos do produto em desenvolvimento Endereçamento de possíveis problemas encontrados para o responsável pelo desenvolvimento dos componentes periféricos

¹⁰ É definida pela probabilidade de um componente falhar em um intervalo de tempo definido (MIL-HDBK-470A, 1997).

(conclusão)

8	A estimativa do tempo de reparo foi realizada?	Realizar a estimativa do tempo de reparo	<ul style="list-style-type: none"> Utilização de valores padrões para as operações de reparo Estimativa baseada na experiência do projetista/engenheiro de reparo
9	--	Solucionar possíveis interferências (projetista) com a reserva de espaço	<ul style="list-style-type: none"> Relação custo x benefício da alteração no produto em desenvolvimento Criticidade da alteração no produto em desenvolvimento por meio de uma análise de viabilidade comercial

Quadro 2 – Detalhamento do conjunto de procedimento para a alocação da manutenibilidade

Um fator importante e que deve ser considerado é a responsabilidade pela realização das etapas e ações descritas em cada procedimento. Com exceção das etapas 7 e 9, na qual o projetista do sistema é responsável pelas ações e decisões seguindo os critérios apresentados, nas demais etapas propõem-se que exista um compartilhamento de responsabilidades entre o engenheiro/analista de reparo e o engenheiro/analista de desenvolvimento de produto.

Essa divisão de responsabilidades visa atender os seguintes pontos: i/ compartilhamento de informações; ii/ troca de informações relevantes relacionadas à reparabilidade do produto no campo; iii/ conhecimento mútuo das rotinas das funções. Ou seja, conhecer a forma de desenvolvimento de produto bem como o modo de reparar o produto; iv/ integração entre os diversos setores da empresa; e v/ abordar, durante o desenvolvimento do produto, itens relacionados à manutenibilidade.

Desta forma, mesmo que o conjunto de procedimentos norteie a maneira de considerar a manutenibilidade utilizando a reserva de espaço, essa tarefa ainda é:

- a/ Dependente de pessoas com experiência (engenheiro/analista de reparo e/ou produto) para a abordagem de fatores importantes, i.e ergonomia, conhecimento em manutenção do produto;
- b/ Complexa devido à quantidade de ações realizadas e utilização de sistemas CAD;
- c/ Desenvolvida de forma manual (ainda que com o auxílio de sistemas CAD);
- d/ Consumidora de horas de projeto para a sua criação;
- e/ Carente de uma forma estruturada de abordar a acessibilidade, uma vez que ataca esse parâmetro de forma primária – Para assegurar a

acessibilidade são necessárias verificações, sejam elas físicas e/ou virtuais.

Além disso, o conjunto de procedimentos apresenta algumas limitações, como:

- a/ Necessita de informações referentes à taxa de falha, custos em garantia, conteúdo técnico de projetos anteriores, entre outros. Essas informações são relevantes para a correta utilização do conjunto de procedimentos;
- b/ Tem como foco principal na utilização em sistemas mecânicos, da indústria automotiva. Sendo assim, é necessária uma validação adicional para a aplicação em outros sistemas, por exemplo, eletroeletrônicos, eletrodomésticos, entre outros;
- c/ Concebido para aplicação em etapas iniciais do desenvolvimento do produto (etapa conceitual). Porém, algumas informações (modelos digitais) podem não estar em um nível de maturidade aceitáveis para a utilização do conjunto de procedimentos.

Cabe salientar que as limitações apresentadas nessa sessão não impedem a utilização do conjunto de procedimentos. Apenas são pontos marginais desse estudo. Para a aplicação dos procedimentos apresentados na Figura 16, é necessário o conhecimento de alguns sistemas, sejam eles de coleta de informação de projetos anteriores, de informações outros setores da companhia (garantia, qualidade, *marketing*, entre outros) e principalmente, dos sistemas *CAD*.

A utilização de sistemas *CAD*, atualmente, é fundamental durante o processo de desenvolvimento de produto. Logo, existe uma necessidade pela utilização de ferramentas computacionais, uma demanda por recursos que aumentem a produtividade e dispositivos que auxiliem nas tarefas cotidianas da equipe de desenvolvimento. Sendo assim, uma forma de atrelar ferramentas computacionais já disponíveis, melhoria na produtividade e auxílio às tarefas diárias, pode ser por meio da criação de aplicativos que permitam e facilitem as atividades cotidianas da engenharia do produto.

Portanto, a seção 3.2, contém a descrição da proposta de um aplicativo computacional que visa automatizar o conjunto de procedimentos apresentado

anteriormente, auxiliando os projetistas a considerar a manutenibilidade durante as fases iniciais do PDP.

3.2 APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA A ALOCAÇÃO DA MANTENABILIDADE

Para contemplar os conceitos da manutenibilidade examinados no capítulo 2 e no conjunto de procedimentos proposto no capítulo 3, nessa seção será apresentada a implementação de um aplicativo computacional que tem por objetivo auxiliar a equipe de desenvolvimento na alocação do parâmetro da manutenibilidade durante as etapas iniciais do desenvolvimento do produto. Além disso, visa automatizar as tarefas de cada etapa dos procedimentos propostos, com o objetivo de tornar o processo de criação e análise da reserva de espaço mais rigoroso, ágil e menos dependente do conhecimento prévio da manutenção do produto.

Entretanto, a proposta do aplicativo computacional não é automatizar todas as etapas do conjunto de procedimentos mas, sim as etapas que demandam: i/ o conhecimento prévio de como é realizada a manutenção do produto no campo; ii/ tempo; e iii/ complexidade. Sendo assim, as etapas que serão automatizadas são: 3; 4; 5; 6; 7 e 8 conforme Figura 16. A estruturação para o desenvolvimento do aplicativo computacional, esta apresentada, na Figura 17.

APLICATIVO COMPUTACIONAL (ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO)

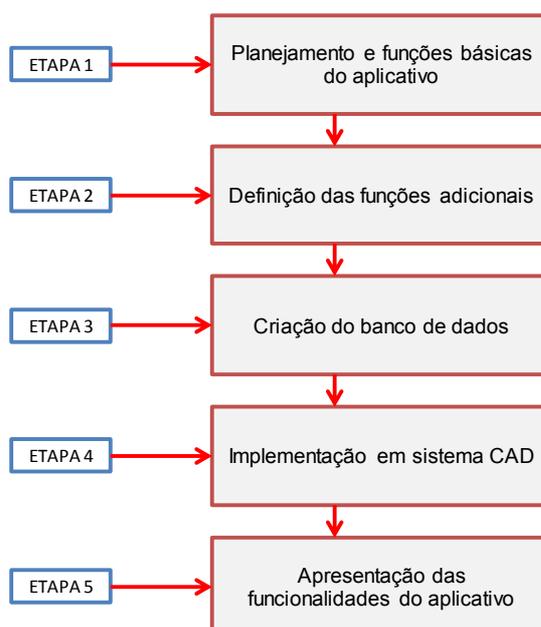


Figura 17 – Estrutura para o desenvolvimento do aplicativo computacional

As etapas de desenvolvimento do aplicativo serão descritas a seguir:

1. Planejamento e funções básicas do aplicativo computacional: apresenta-se a estrutura do aplicativo e as principais funções que o sistema deverá desempenhar;
2. Definição das funções adicionais: descreve-se as funções adicionais que devem estar presentes no aplicativo computacional e que auxiliarão os usuários¹¹ a considerar a manutenibilidade, com foco na acessibilidade;
3. Criação do banco de dados: detalha-se a geração do banco de dados a ser utilizado pelo aplicativo computacional;
4. Implementação em sistema *CAD*: discutem-se os fatores relacionados à programação e implementação do aplicativo computacional em um sistema *CAD* comercial;
5. Apresentação das funcionalidades do aplicativo computacional: destacam-se todas as funcionalidades do aplicativo desenvolvido, empregando imagens, descrições das etapas do processo e informações adicionais importantes para o entendimento das soluções consideradas.

Nas próximas seções serão apresentadas e detalhadas as etapas do desenvolvimento do aplicativo computacional.

3.2.1 Planejamento e funções básicas do aplicativo computacional

Essa etapa visa apresentar o planejamento e as funções básicas que o aplicativo computacional deverá desempenhar durante a utilização, detalhando as ações e as interações do sistema proposto com o usuário final.

Alguns conceitos relacionados à reserva de espaço, elementos da manutenibilidade (i.e. ergonomia, métricas, entre outros) e da integração em um sistema *CAD* comercial são considerados no planejamento do aplicativo computacional.

¹¹ Os termos **usuário e/ou usuários**, apresentados durante o capítulo 3, referem-se a projetistas.

A Figura 18 ilustra o planejamento, funções básicas do aplicativo computacional e as principais etapas a serem percorridas pelo usuário.

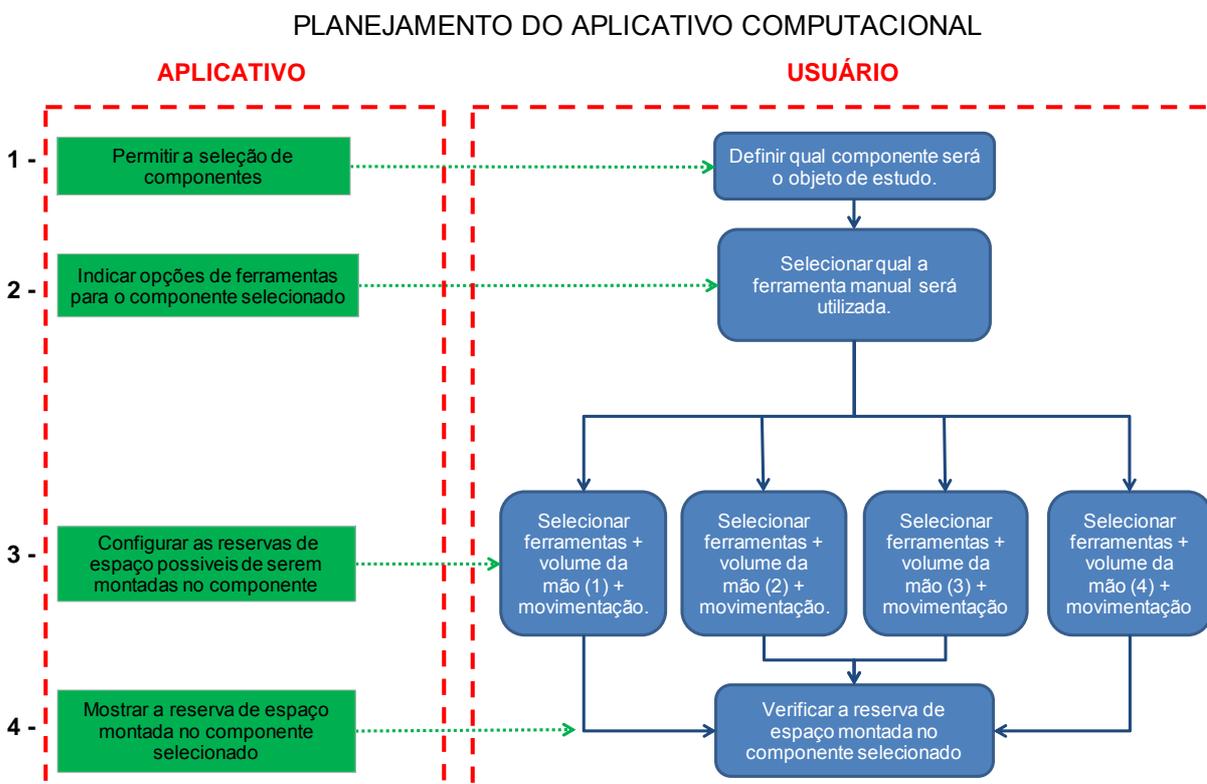


Figura 18 – Planejamento do aplicativo computacional

Detalhando a Figura 18, os quadros mostrados à esquerda, apresentam as funções básicas que devem ser executadas pelo aplicativo computacional. Já os quadros mostrados à direita são as ações do usuário no aplicativo. Os números apresentados à esquerda orientam as etapas a serem percorridas para a inserção de uma reserva de espaço no componente escolhido. Assim, as etapas são acopladas à descrição das funções:

1. Permitir a seleção de componentes: a ferramenta deve permitir que o usuário selecione o componente que será objeto de estudo;
2. Indicar as opções de ferramentas mecânicas: o aplicativo, com base no componente previamente selecionado, deve permitir a escolha da ferramenta mecânica a ser utilizada na operação de manutenção;
3. Configurar as reservas de espaço: o aplicativo deve permitir a configuração da reserva de espaço que será inserida no componente, baseado em critérios previamente definidos pelo usuário do aplicativo;

4. Mostrar a reserva de espaço: o aplicativo deve mostrar, após a definição do usuário, a reserva de espaço instalada no componente. Assim, é facilitada a análise de possíveis interferências em outros elementos do produto.

O aplicativo computacional proposto nessa dissertação pretende atender a manutenção corretiva e preventiva por meio da atividade de substituição (remoção e instalação) de elementos de fixação (parafuso), uma vez que a acessibilidade a esses elementos é fator crítico durante o procedimento de reparo. Além disso, a união por parafuso é uma das operações que consomem tempo de reparo (ver seção 2.9.3) além de ser suscetível a quantidade e tipos de elementos de fixação contidos no produto.

Como parte importante do planejamento do aplicativo computacional, faz-se necessário apresentar e caracterizar as principais operações de reparo que o aplicativo visa atender. Convertendo as operações de reparo em ações, tem-se: i/ substituição de componentes: basicamente tem-se uma ação de remover o componente danificado e outra ação para instalar um novo componente; e ii/ aperto de componentes: tem-se uma ação para aplicar/medir o torque em um componente. Sendo assim, o aplicativo computacional abordará as três ações básicas. São elas:

1. Remover o componente: ação básica e primordial para as operações de reparo. Fortemente impactada pela acessibilidade dos componentes que irão sofrer a manutenção. Ou seja, quanto mais difícil o acesso, mais demorada é a remoção do componente foco, afetando diretamente o tempo de reparo. Muitas vezes, é necessário remover componentes adjacentes para acessar o componente que receberá a ação de manutenção;
2. Instalar o componente: ação posterior à remoção. Não é fortemente impactada pela acessibilidade, uma vez que o ganho de acesso já foi realizado pela operação de remoção. Contudo, salienta-se a importância da instalação, pois essa ação pode depender de demandas de alinhamento, folgas, ajustes, entre outras atividades, podendo acarretar em acréscimo de tempo de reparo;
3. Aplicar/medir torque em componente: a aplicação/medição de torque se assemelha a ação de instalar o componente. Porém, o

procedimento é mais demorado do que simplesmente instalar o componente, uma vez que requer cuidado adicional, com valores definidos para a aplicação de torque e, muitas vezes, um procedimento complexo a ser realizado (várias etapas a serem percorridas).

Este escopo deve ser complementado com as funções adicionais, que serão mostradas na seção 3.2.2.

3.2.2 Definição das funções adicionais

Após o planejamento inicial da ferramenta, foi realizado um *brainstorming*, visando identificar as funções adicionais que a ferramenta poderia implementar fornecendo para o usuário, um conjunto de elementos que o auxiliarão para a correta alocação da manutenibilidade no PDP.

Como resultado do *brainstorming*, observou-se que as seguintes funcionalidades adicionais, poderiam contribuir com o objetivo da presente pesquisa:

- a/ Realizar a visualização inicial da ferramenta mecânica que está sendo inserida no conjunto;
- b/ Permitir a montagem de mais de uma reserva de espaço no mesmo objeto de estudo;
- c/ Permitir a mudança entre ferramentas mecânicas e/ou reserva de espaço previamente definidas;
- d/ Permitir o posicionamento da reserva de espaço em outros ângulos (90°, 180° e 270°). Pode ser necessário, durante as análises de acessibilidade, que em um determinado ângulo, não seja possível acessar tal componente. Porém, caso seja alterada de posição inicial de análise, a mesma reserva de espaço pode ser utilizada e a acessibilidade seja aceitável;
- e/ Realizar a verificação das reservas de espaço propostas e gerar um resultado indicando se a acessibilidade, para as reservas de espaço inseridas no modelo digital a ser estudado, está inadequada, aceitável, boa ou ótima;

- f/ Apresentar ao usuário, o tempo gasto para a remoção/instalação do componente, baseado na reserva de espaço escolhida;
- g/ Permitir ao usuário, manter a reserva de espaço proposta no componente selecionado.

As funções adicionais, juntamente com as funções básicas apresentadas na seção 3.2.1, servem como base para o desenvolvimento do aplicativo computacional proposto nesta dissertação. Partindo para a próxima etapa, a seção 3.2.3 descreve a criação do banco de dados que será utilizado no aplicativo.

3.2.3 Criação do banco de dados

A criação do banco de dados engloba os fatores necessários (i.e. ferramentas mecânicas; volumes; ângulos de rotação e aspectos ergonômicos) para o correto funcionamento do aplicativo. Esses fatores são primordiais para o decorrer das atividades de desenvolvimento, uma vez que a ferramenta é baseada nas informações contidas no banco de dados.

Antes de definir a estrutura do banco de dados, faz-se necessária a explanação sobre os programas computacionais e extensões de arquivos que serão utilizados para a criação das informações contidas no banco de dados.

Na seção 3.2.3.1 serão apresentados os programas computacionais bem como as principais extensões de arquivos utilizados ao longo do desenvolvimento do banco de dados.

3.2.3.1 Programas computacionais e extensões de arquivos

Nessa seção, serão apresentados, os programas computacionais utilizados durante a criação e desenvolvimento do banco de dados, bem como as extensões de arquivos. Os programas listados nessa seção foram definidos com base na disponibilidade e acesso a eles, uma vez que todas as ferramentas encontram-se disponíveis, sendo de fácil acesso do autor dessa dissertação.

Além disso, todas as ferramentas são de conhecimento do autor o que facilita qualquer interação com os sistemas utilizados. Os programas utilizados no decorrer de todo o desenvolvimento do trabalho foram quatro. São eles:

1. *DELMIA*: módulo para análise ergonômica fornecido pela empresa *Dassault Systemes*. Utilizado na indústria automotiva, durante a concepção do produto, considerando o ponto de vista ergonômico, seja para um usuário ou até mesmo para verificações de montagens (DELMIA, 2015);
2. *3DVia*: programa computacional de visualização fornecido pela empresa *Dassault Systemes*. Utilizado para a visualização das soluções geradas em um sistema *CAD* de modelagem (3DVIA, 2015);
3. *IPS*: programa computacional específico para a geração de rotas de saída de componentes. Muito utilizado para verificações de manutenibilidade durante as etapas de desenvolvimento de produto (IPS, 2014);
4. *SOLIDWORKS 2014*: programa computacional de modelagem paramétrica, também fornecido pela empresa *Dassault Systemes*. Muito utilizado na indústria metal-mecânica, sendo considerado como um dos principais e mais potentes do mercado (SOLIDWORKS, 2015).

Para os programas computacionais apresentados, extensões de arquivos se fazem necessárias para a correta utilização. A seguir, serão apresentadas as extensões básicas utilizadas durante o desenvolvimento do aplicativo computacional. São elas:

1. Extensão *3DXML*: arquivo de visualização, de propriedade da empresa *Dassault Systemes*. É um arquivo universal para compartilhar dados tridimensionais com uma linguagem específica e padrão;
2. Extensão *WRL*: arquivo neutro de transferência de dados entre sistemas *CAD*. É uma extensão associada à *VRML (Virtual Reality Modelling Language)*, muito utilizada em programas de visualização (na qual não existe a possibilidade de edição de características de construção);
3. Extensão *SLDPRT*: extensão de arquivo utilizado no programa *SOLIDWORKS*. Corresponde a extensão de arquivo único do componente (peça isolada);

4. Extensão *SLDASM*: extensão de arquivo utilizado no programa *SOLIDWORKS*. Corresponde a extensão de arquivo de montagens;
5. Extensão *STEP*: arquivo neutro de transferência de dados entre sistemas *CAD*, sendo muito utilizado atualmente para a troca de informações.

Não é foco da presente dissertação apresentar em detalhes os programas computacionais utilizados durante o desenvolvimento do trabalho. As informações apresentadas aqui são básicas.

Porém, são importantes e relevantes para o desenvolvimento do aplicativo computacional, uma vez que os programas e as extensões utilizados serão citados nas próximas seções.

Para iniciar a criação do banco de dados utilizado durante o desenvolvimento do aplicativo computacional, ressalta-se a importância da definição um objeto de estudo, na qual as informações do banco de dados serão baseadas. Na seção 3.2.3.2 será apresentado o conjunto de estudo concebido para o desenvolvimento das atividades.

3.2.3.2 Definição do conjunto base

Nessa dissertação, definiu-se um conjunto base juntamente com um elemento de fixação (parafuso). Esse conjunto com como função auxiliar no estudo das movimentações do elemento de fixação.

O conjunto base é composto por três elementos, são eles:

1. Placa superior: possui a dimensão de 80 mm de comprimento x 80 mm de profundidade e 10 mm de altura. Em uma de suas faces foi criado um furo passante, 9 mm;
2. Placa inferior: possui a dimensão de 80 mm de comprimento x 80 mm de profundidade e 70 mm de altura. Em uma de suas faces foi criado um furo roscado padrão M8 x 15mm de profundidade;
3. Elemento de fixação: parafuso flangeado com cabeça sextavada, com rosca M8, 20 mm de comprimento e passo 1,5mm, baseado na norma *DIN 6921*.

A Figura 19 apresenta as principais dimensões, em mm, dos componentes.

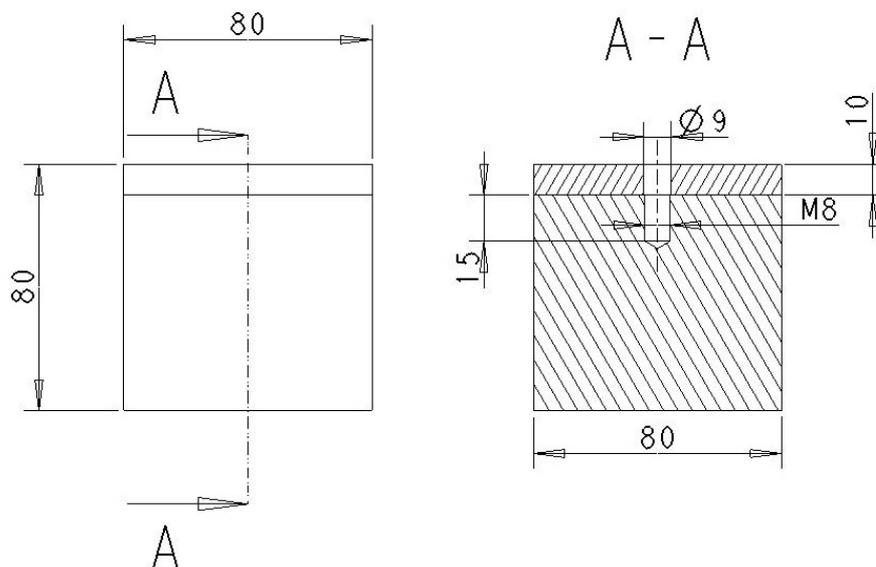


Figura 19 – Principais dimensões dos componentes

A Figura 20 apresenta o conjunto base na qual é composto dos componentes e parafuso flangeado.

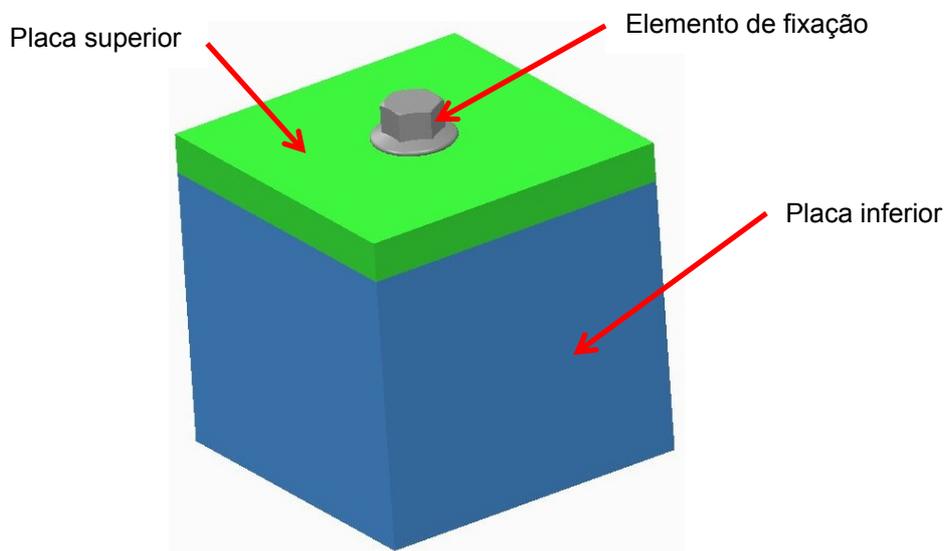


Figura 20 – Conjunto base (placa superior + placa inferior + elemento de fixação)

A simplificação do conjunto base se deve as seguintes razões:

- a/ Atendimento as direções de remoção, apresentadas na seção 2.9.2;
- b/ Movimento helicoidal e de translação conhecidos;
- c/ Utilização de elemento de fixação normalizado.

A seção 3.2.3.3 apresentará as ferramentas mecânicas utilizadas durante a realização dos estudos.

3.2.3.3 Definição das ferramentas mecânicas universais utilizadas

As ferramentas mecânicas, como citado no capítulo 2, são interfaces primárias para os técnicos de manutenção durante o seu trabalho e são consideradas extensões do corpo humano, podendo fornecer mais precisão e força.

A utilização de ferramentas mecânicas é fundamental para assegurar qualidade, reduzir tempo, melhorar a segurança e ergonomia durante a operação de manutenção. As ferramentas mecânicas utilizadas durante o desenvolvimento da dissertação são aquelas comumente empregadas na remoção, instalação e procedimento de torque em elementos de fixação, sendo consideradas básicas, com custo relativamente baixo e de uso frequente em ambientes de manutenção mecânica. Portanto, as ferramentas mecânicas consideradas nesse estudo, de acordo com os critérios acima, foram:

1. Chave combinada (de boca e estrias);
2. Chave soquete, adaptada a uma chave catraca;
3. Torquímetro automático.

Todas as ferramentas mecânicas descritas aqui foram modeladas no programa *SOLIDWORKS* e tem as suas dimensões baseadas nas ferramentas físicas encontradas no mercado. Todas as ferramentas mecânicas utilizadas na composição do aplicativo computacional possuem uma característica em comum: foram escolhidas para atender a dimensão padrão da cabeça do parafuso M8, que é igual a 13mm.

Como explicado no capítulo 2, as dimensões dos parafusos são padronizadas. Sendo assim, para um componente M8, a cabeça do parafuso tem a dimensão 13mm (distância entre as faces do hexágono – parafuso flangeado de cabeça com sextavado externo). A chave combinada caracteriza-se por possuir duas variações: i/ extremidade com o formato similar a letra C; e ii/ extremidade com estrias. São ferramentas mecânicas amplamente utilizadas na manutenção mecânica. Possuem diversos tamanhos e materiais.

A Figura 21 traz as dimensões principais, em mm, da chave combinada utilizada como referência.

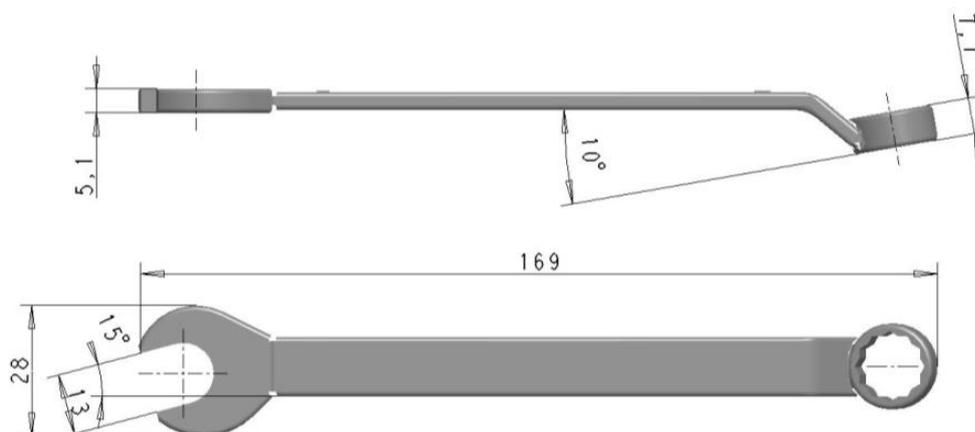


Figura 21 – Dimensões principais da chave combinada

Na Figura 21, destaca-se a dimensão 13 mm. Essa dimensão, 13mm, é a mesma para ambas as extremidades da ferramenta, boca e estrias.

A chave soquete, também conhecida como “pito” ou “cachimbo”, possui hexagonal interno ou estrias. É muito utilizada na manutenção mecânica devido a sua versatilidade, podendo ser adaptada a chaves catraca ou juntas universais, entre outros. Utilizou-se uma chave soquete padrão, com hexágono interno de 13 mm, cuja dimensões externas principais, em mm, são apresentadas na Figura 22.

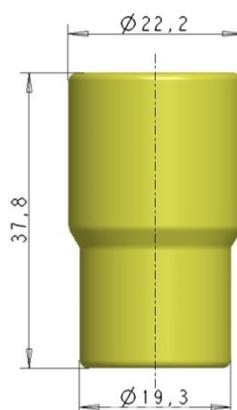


Figura 22 – Dimensões principais da chave soquete

Adicionalmente à chave soquete, utilizou-se uma chave catraca para formar o conjunto catraca - soquete. A chave catraca caracteriza-se pela facilidade de uso e agilidade. Um mecanismo interno permite o retorno ao ponto inicial, sem a necessidade de remover a ferramenta do componente que está sofrendo a manutenção.

A Figura 23 apresenta as dimensões principais da chave catraca, em mm.

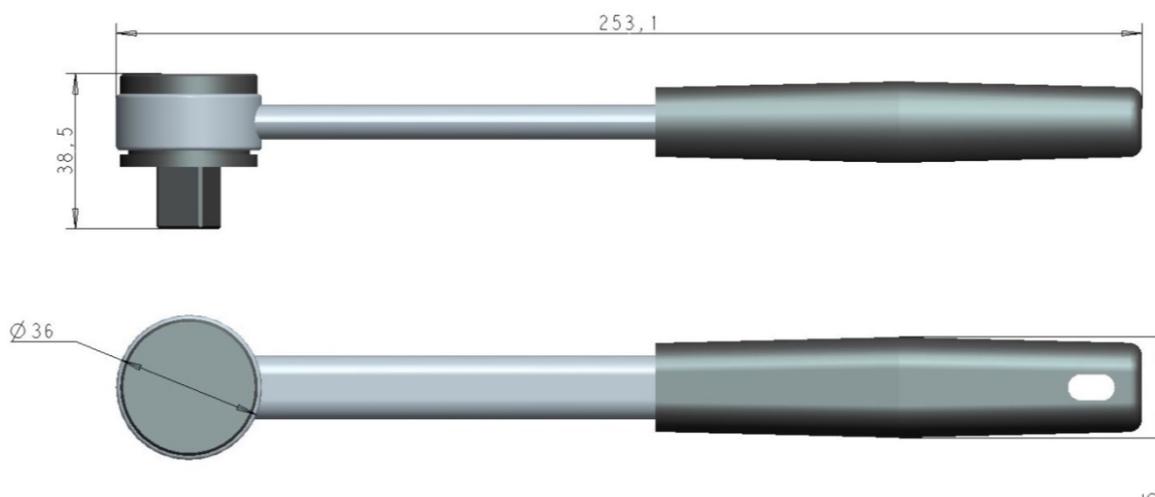


Figura 23 – Dimensões principais da chave catraca

Isoladamente, a chave catraca ou a chave soquete não exercem as suas funções. Desta forma, se faz necessário utilizar a chave catraca juntamente com a chave soquete para a sua completa funcionalidade. A Figura 24 apresenta a dimensão na extremidade da catraca-soquete, após a conexão com a chave soquete.

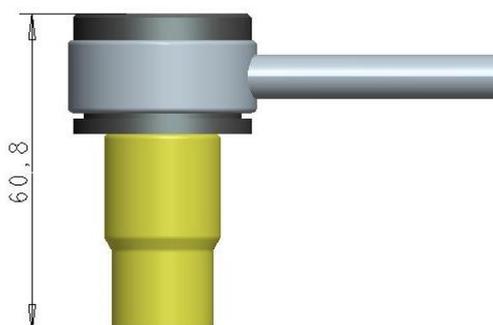


Figura 24 – Dimensão na extremidade do conjunto catraca-soquete

O torquímetro se caracteriza por possibilitar a aplicação e medição da força necessária para instalar um componente para que o mesmo realize a sua função evitando assim, deformações e quebras. A aplicação de torque (força) em um elemento de fixação é prática comum em ambientes fabris e na manutenção mecânica.

Diferentemente da chave combinada e da catraca-soquete, o torquímetro é recomendado para a utilização apenas em procedimento de verificação de torque, não sendo recomendado para a remoção de elementos de fixação, devido as suas características construtivas. Utilizou-se um modelo digital de um torquímetro

automático como base para o desenvolvimento do aplicativo computacional. A Figura 25 apresenta as dimensões principais, em mm, do torquímetro.

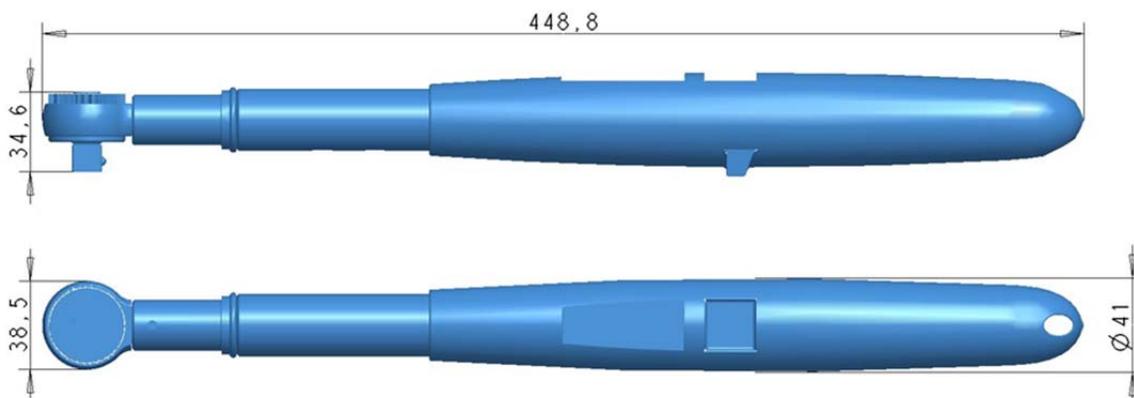


Figura 25 – Dimensões principais do torquímetro

Assim como a chave catraca, considerar apenas o torquímetro não satisfaz a funcionalidade de medir/aplicar torque. Portanto, se faz necessário a utilização da chave soquete como complemento. Utilizou-se a mesma chave soquete apresentada na Figura 22. Com isso, na Figura 26 apresenta a dimensão da extremidade do torquímetro, após a conexão com a chave soquete.

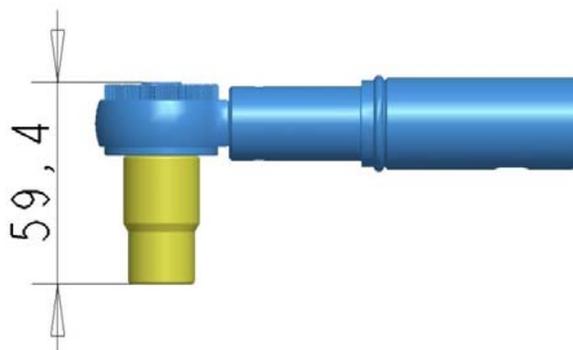


Figura 26 – Dimensão na extremidade do torquímetro

Com isto, finaliza-se a etapa de definição e detalhamento das ferramentas mecânicas utilizadas no desenvolvimento do aplicativo computacional. Na próxima seção serão abordados os elementos vinculados à ergonomia e como este parâmetro foi considerado no desenvolvimento do aplicativo.

3.2.3.4 Características ergonômicas: considerações

A ergonomia, como salientado no capítulo 2, é um fator que a equipe de desenvolvimento de produto deve considerar durante o PDP. Em caso de

negligência ou omissão desse fator, poderão ocorrer acidentes e aumento do tempo de reparo devido a uma má postura, adaptações durante o reparo, entre outros.

Um dos elementos ergonômicos mais importantes em atividades de manutenção é o manuseio de ferramentas e componentes. Existem várias formas de conectar a mão (empunhar) as ferramentas mecânicas, durante a sua utilização em procedimentos de manutenção. A empunhadura pode variar de acordo com o tipo de reparo, acessibilidade, ferramenta utilizada, entre outros fatores. Sendo assim, é praticamente impossível assegurar que todos os técnicos de manutenção irão empunhar as ferramentas mecânicas da mesma forma.

Fez-se um levantamento de campo, não estatístico para a seguinte questão: qual é seria a forma mais confortável de segurar a chave combinada? A Figura 27 apresenta a forma típica de empunhar uma chave combinada utilizada para o aperto de um parafuso padrão.

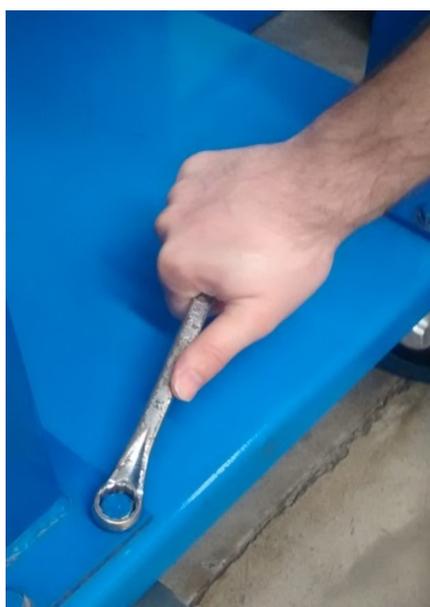


Figura 27 – Forma de empunhar uma ferramenta – chave combinada

Utilizou-se como premissa, a forma de empunhar as ferramentas mecânicas conforme apresentado na Figura 27. O resultado foi expandido para as demais ferramentas utilizadas neste estudo. Porém, é sabido que pode existir diferenças nas formas de empunhar uma catraca-soquete e/ou um torquímetro.

Entretanto, como informado anteriormente, a extrapolação para as demais ferramentas é necessária, devido ao volume de trabalho que poderia acarretar ao longo do desenvolvimento do aplicativo computacional. As informações coletadas,

principalmente relacionadas à forma como o técnico de manutenção empunha a ferramenta mecânica, será usada como base para o prosseguimento das atividades de desenvolvimento do aplicativo computacional. Na próxima seção, será apresentado o manequim digital (que incorpora as principais características de um ser humano) utilizado no estudo.

3.2.3.5 Definição do manequim virtual

Utilizou-se um manequim virtual para simular a empunhadura da mão do técnico de manutenção na ferramenta mecânica objeto de estudo. O manequim virtual foi gerado no programa *DELMIA* e, posteriormente, exportado para o programa *3DVia*. A Figura 28 apresenta a tela do programa *DELMIA*.

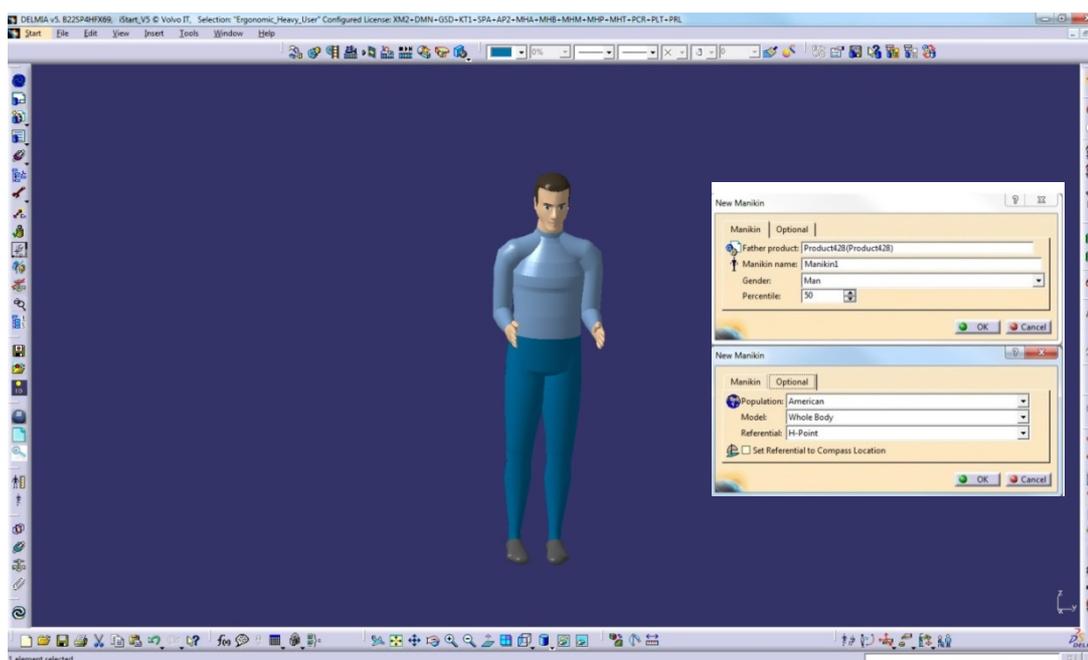


Figura 28 – Tela do programa *DELMIA* apresentando a criação do manequim

Os parâmetros do manequim digital criado no programa *DELMIA*, não foram alterados. Logo, não foi realizada nenhuma adaptação nas dimensões básicas do manequim. Definiu-se um manequim virtual do sexo masculino, com o biótipo americano e com um fator de dimensão de 50%. A seleção pelo biótipo americano se deu devido a não disponibilidade de outros biótipos similares ao “brasileiro” na versão do programa *DELMIA* utilizado. Entretanto, a seleção não irá afetar as atividades de desenvolvimento do aplicativo.

O fator de dimensão indica que as dimensões propostas pelo programa serão baseadas na média das dimensões do biótipo escolhido. Caso seja escolhido um fator de dimensão maior ou menor, ocorrerá uma diferença nas dimensões propostas pelo programa *DELMIA* no que se refere às dimensões do manequim virtual. Ressalta-se que é inviável alterar apenas a dimensão de um membro do manequim. Ou seja, uma vez escolhido o biótipo e o fator de dimensão, o programa irá calcular as dimensões para aquele biótipo selecionado. Portanto, as dimensões encontradas na literatura, para o tamanho das mãos, por exemplo, não poderá ser aplicada diretamente no programa *DELMIA*. Porém, as dimensões produzidas pelo programa, de certa forma, já levam em consideração fatores estatísticos.

Após a exportação do manequim digital do *DELMIA* para o *3DVia*, as operações de movimentação foram geradas utilizando um módulo do *3DVia* chamado *KINEMATIC*. Essa ferramenta permite a inserção de graus de liberdade em cada membro do manequim. Sendo assim, é possível simular as movimentações do corpo humano. A Figura 29 apresenta o manequim virtual utilizado no estudo.

A inserção dos graus de liberdade foi realizada manualmente e baseada na movimentação física (real) dos membros, colocando uma restrição de movimentação nas conexões esféricas em todo o manequim. Ou seja, os movimentos do manequim se assemelham aos movimentos reais, simulando as mesmas restrições de movimentação de um ser humano. Com base nas restrições de movimentação inseridas anteriormente foi possível definir o posicionamento da mão de acordo com a necessidade do presente estudo.



Figura 29 – Tela do programa *3DVia* apresentando o manequim utilizado no estudo

Na próxima seção será definido o tamanho da mão, baseado no manequim digital criado anteriormente.

3.2.3.6 Definição do tamanho da mão virtual

Como salientado no capítulo 2, raramente o tamanho das mãos de técnicos de manutenção são ponderados pelos projetistas durante o desenvolvimento do produto. Portanto, considerar o tamanho das mãos é fator-chave para assegurar a correta acessibilidade aos componentes que serão reparados. Baseada nas dimensões padrão, oriunda da criação do manequim digital na seção anterior, a Figura 30 apresenta as dimensões para a mão virtual.

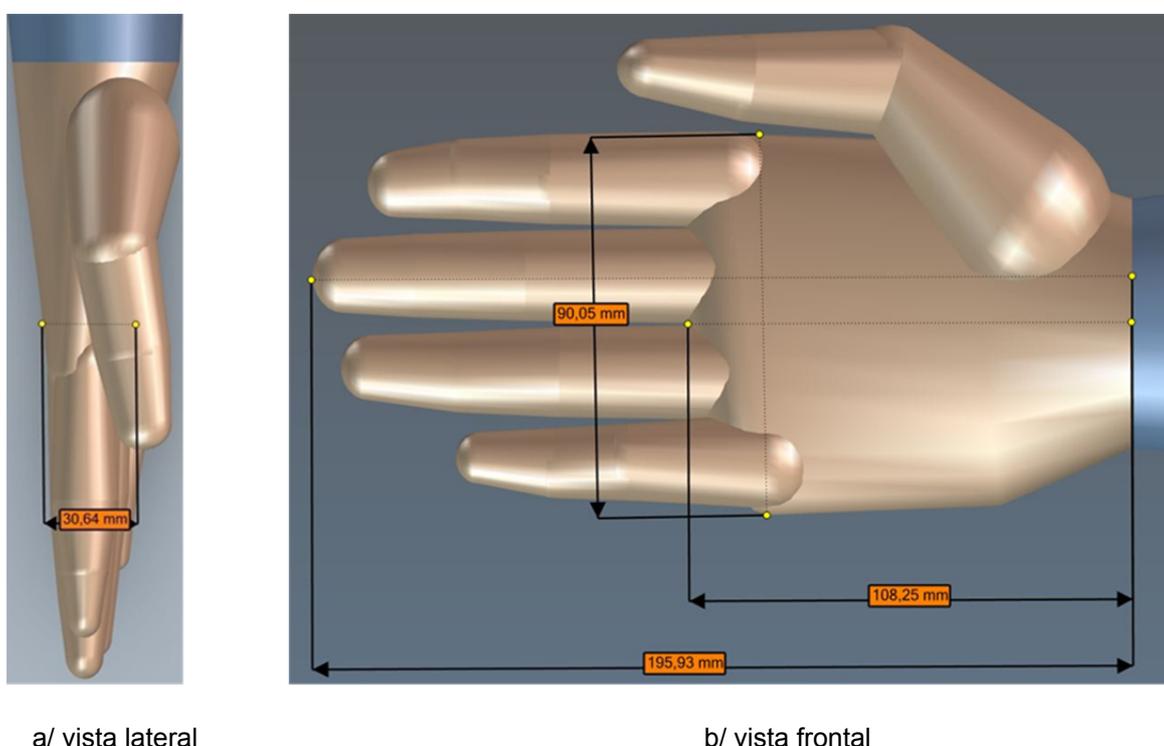


Figura 30 – Dimensões da mão virtual oriundas do programa *DELMIA*

Na Tabela 4 apresenta-se uma comparação entre as dimensões, em mm, citadas na Figura 30 e as dimensões fornecidas pela Tabela 3 (pág.60).

Tabela 4 – Relação entre dimensões da mão virtual e valores de referência

Itens	Dimensões da mão virtual	P95 (Masculino)
Comprimento da mão	195,9	197
Comprimento da palma da mão	108,25	112
Largura da mão	90,05	89
Perímetro da palma da mão	217	-
Espessura da palma da mão	30,64	30

Nota: devido à falta de informação relacionada à dimensão do perímetro da mão, em percentil, foi utilizado o valor existente, destacado na Tabela 4. Essa informação é importante e pode impactar na correta empunhadura em uma ferramenta mecânica bem como o volume externo da mão.

Após a apresentação dos valores da mão virtual mostrados na Figura 30 e, alinhados com os dados da Tabela 3 (pág.60), gerou-se algumas informações referentes a relação da mão virtual *versus* valores encontrados na literatura com o objetivo de clarificar que as dimensões propostas na Figura 30 são equivalentes, em percentil, a um valor médio a ser calculado. Portanto, para gerar essa relação, foi necessário o cálculo de algumas dimensões, de acordo com as seguintes etapas:

1. Etapa 1: cálculo de 100 percentis: cálculo das dimensões que atendem a 100% da população masculina. A literatura estudada contempla dados até 95 percentil, sendo então, necessário uma extrapolação para a obtenção das informações;
2. Etapa 2: cálculo dos percentis da mão virtual: visa indicar que as dimensões equivalem a um valor específico do percentil da população masculina;
3. Etapa 3: média dos percentis da mão virtual: cálculo referente à média dos percentis das dimensões da mão virtual.

Para os cálculos da etapa 1 e 2, foram utilizadas regras de três simples. Na etapa 1, calculou-se as dimensões relativas a 100 percentis. Ou seja, é necessário saber quais são as dimensões da mão real que atendem a 100% da população masculina. Relacionaram-se as dimensões do P95 (masculino) contidas na Tabela 4, para a obtenção das informações do P100.

Já na etapa 2, partiu-se para o cálculo da definição do percentil equivalente para a mão virtual. Ou seja, é necessário saber qual o percentil que as dimensões da mão virtual correspondem à população masculina. Relacionaram-se as dimensões do P100 (calculado anteriormente) com as dimensões da mão virtual apresentadas na Tabela 4.

Por fim, na etapa 3, uma simples média aritmética foi realizada para indicar qual é o percentil médio da mão virtual. Ou seja, a mão virtual corresponde a um valor específico de percentil. Sendo assim, foi possível calcular, para todas as

dimensões da mão virtual, quais são os percentis referentes a cada dimensão apresentada na Figura 30. A Tabela 5 mostra os resultados após a realização dos cálculos para todas as dimensões contidas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 5 – Resultados dos cálculos de percentis

Itens	Dimensões da mão virtual	P95 (Masculino)	P100 (Masculino)	Percentil da mão virtual
Comprimento da mão	195,9	197	207	94,6
Comprimento da palma da mão	108,25	112	117	92,5
Largura da mão	90,05	89	93	96,8
Perímetro da palma da mão	217	217	228	95
Espessura da palma da mão	30,64	30	31	98,8
Média dos percentis da mão virtual		-		95,5

Portanto, os valores apresentados na Figura 30 correspondem, em média, a 95,5 percentis. Ou seja, os valores apresentados para a mão virtual atendem a 95,5% da população masculina com biótipo selecionado.

Após a definição do tamanho da mão que será utilizada nas próximas etapas, será apresentada a integração do resultado obtido pela avaliação de ergonomia, mostrada na seção 3.2.3.4 com as ferramentas mecânicas definidas na seção 3.2.3.3. Essa integração é parte fundamental para a definição das reservas de espaço.

3.2.3.7 Integração das ferramentas mecânicas e mão virtual

A integração entre as ferramentas definidas anteriormente e a mão virtual é parte importante para a correta criação da reserva de espaço, considerando os volumes (mão do técnico de manutenção e ferramentas mecânicas) durante a sua geração.

Previamente ao posicionamento da mão do manequim nas ferramentas mecânicas, uma etapa secundária foi realizada. Exportou-se do programa *SOLIDWORKS*, o conjunto base e as ferramentas mecânicas previamente definidas para utilização posterior no programa *3DVia*. Essa exportação de arquivos *CAD* ocorreu com a utilização de arquivos neutros¹². Após essa exportação, os arquivos neutros foram abertos no programa *3DVia*.

¹² De forma simplificada, arquivos neutros são necessários para a troca de informação entre sistemas *CAD*. Considerou-se, nesse caso, arquivo na extensão *STEP*.

A Figura 31 apresenta o conjunto base e as ferramentas mecânicas consideradas no presente estudo.

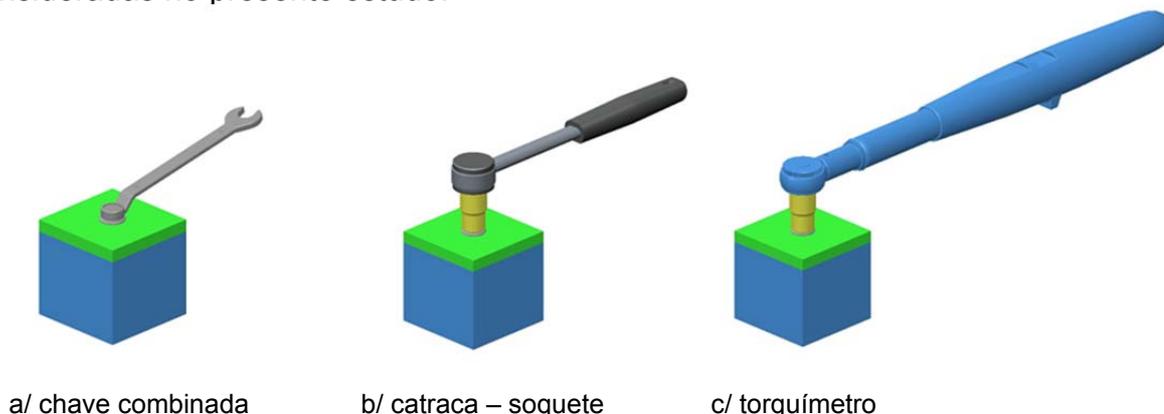


Figura 31 – Conjunto base e as ferramentas utilizadas no estudo

Finalizada a etapa de transferência de arquivos para o programa *3DVia*, foi possível posicionar a mão do manequim nas ferramentas com a utilização de comandos de montagem, simulando a empunhadura obtida na avaliação da ergonomia apresentada na seção 3.2.3.4.

Cabe salientar que o posicionamento da mão virtual na ferramenta é realizado manualmente utilizando o módulo *KINEMATIC*, do programa *3DVia*. Além disso, interferências entre a ferramenta e a mão virtual foram percebidas, conforme pode ser visto na Figura 32.

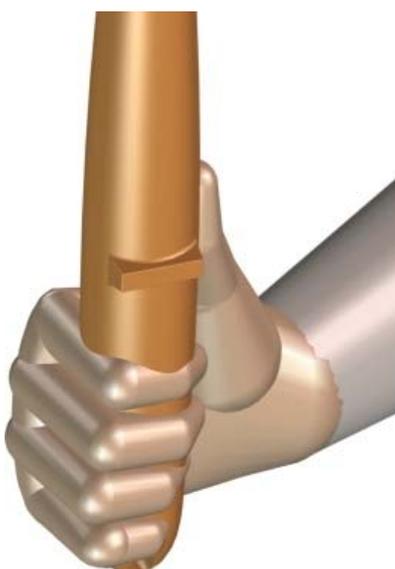


Figura 32 – Interferência entre a mão virtual e a região de empunhadura da ferramenta

Porém, essas colisões não impactam o resultado final das análises uma vez que as interferências encontradas estão contidas na união entre os dedos da mão virtual e a região de empunhadura das ferramentas mecânicas.

Contudo, o volume externo da mão posicionada na ferramenta, ainda é satisfatório e atende as necessidades do estudo. A montagem do manequim virtual, com as três condições de ferramentas, pode ser visto na Figura 33.

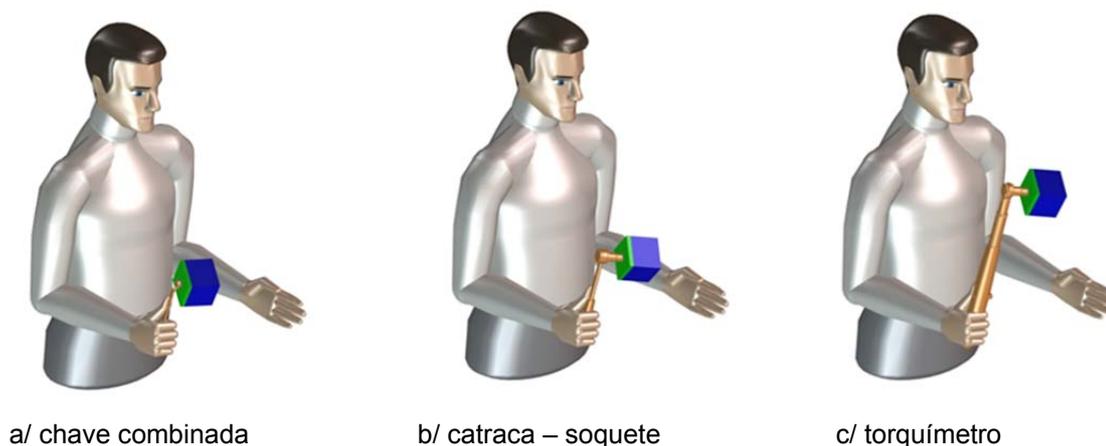


Figura 33 – Manequim virtual com as ferramentas e o conjunto base

Uma vez realizada a integração entre os modelos digitais do manequim virtual e o conjunto base, faz-se necessário definir a movimentação que os modelos digitais gerados deverão percorrer objetivando a geração da reserva de espaço.

Na próxima seção, será definida a movimentação das ferramentas mecânicas e suas variações tendo como ponto inicial, o conceito de pino-furo contido no conjunto base.

3.2.3.8 Definição dos movimentos

O ponto inicial para a definição dos movimentos é o conceito pino-furo apresentado no capítulo 2, seção 2.9.2. O conceito remete a ideia de direção de movimentação de um parafuso instalado em um componente, onde têm-se o movimento de translação em apenas um sentido juntamente com o movimento de rotação, inerente aos filetes da rosca do parafuso. Sendo assim, o conjunto base foi concebido para atender a esse conceito.

Devido à conexão entre a ferramenta e o elemento de fixação (parafuso), a movimentação (rotação e translação) entre eles será no mesmo sentido. Portanto, é

correto afirmar que as ferramentas mecânicas são solidárias ao elemento de fixação contido no conjunto base.

A Figura 34 ilustra o sentido de movimentação do elemento de fixação.

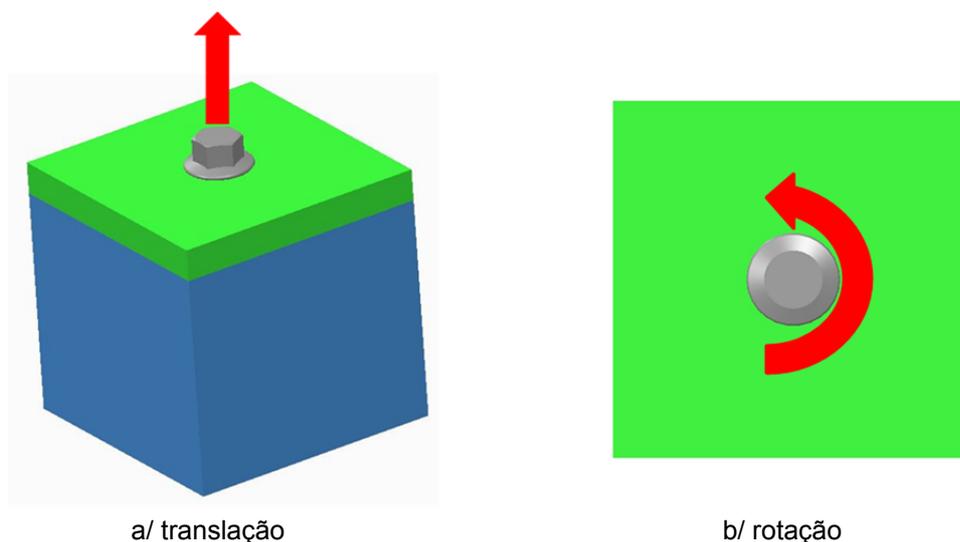


Figura 34 – Movimentos do elemento de fixação

A movimentação dos componentes é outro fator importante para a geração das reservas de espaço. Sendo assim, na próxima seção será abordada a forma como foram geradas as reservas de espaço, considerando as ferramentas mecânicas, mão virtual e movimentos definidos.

3.2.3.9 Criação das reservas de espaço

Após a definição das ferramentas, escolha do manequim virtual, modelagem do tamanho da mão, integração da mão virtual com a ferramenta mecânica e a descrição da movimentação, a criação das reservas de espaço (volumes ocupados pelo conjunto de elementos) pode ser conduzida.

Como forma de orientar a criação das reservas de espaço, adotaram-se as seguintes premissas: i/ definição de quatro ângulos de rotação: 15°; 30°; 45° e 60°. Acredita-se que com essa gama de ângulos propostos, a alocação da manutenibilidade seja satisfatória, reduzindo as demandas para a equipe de desenvolvimento do produto, uma vez que, quanto maior o ângulo de rotação, maior o volume ocupado e, conseqüentemente maior será a restrição para a proposição de

soluções técnicas viáveis; e ii/ utilização de parâmetros específicos do programa *IPS* para a geração das reservas de espaço, refinando o resultado final dos volumes gerados.

O processo de criação da reserva de espaço, utilizando o programa *IPS*, ocorre de acordo com as seguintes etapas:

1. Importação dos arquivos digitais em formato *WRL* oriundos da exportação de modelos digitais a partir do programa *3DVia*;
2. Abertura dos arquivos digitais no programa *IPS*;
3. Remoção de elementos desnecessários (maiores detalhes na Figura 35);
4. Configuração do conjunto de componentes que irá realizar a movimentação;
5. Definição da posição inicial e posição final de movimentação;
6. Geração do volume com a utilização de comandos específicos do programa *IPS*.

Não é intenção do presente trabalho detalhar os procedimentos da utilização do programa *IPS*, devido a sua complexidade e particularidades. Porém, as etapas utilizadas com o objetivo de simplificar a geração do modelo de estudo devem ser citadas para a orientação geral e possíveis reproduções.

A Figura 35 apresenta a remoção dos elementos não prioritários para a geração da reserva de espaço.

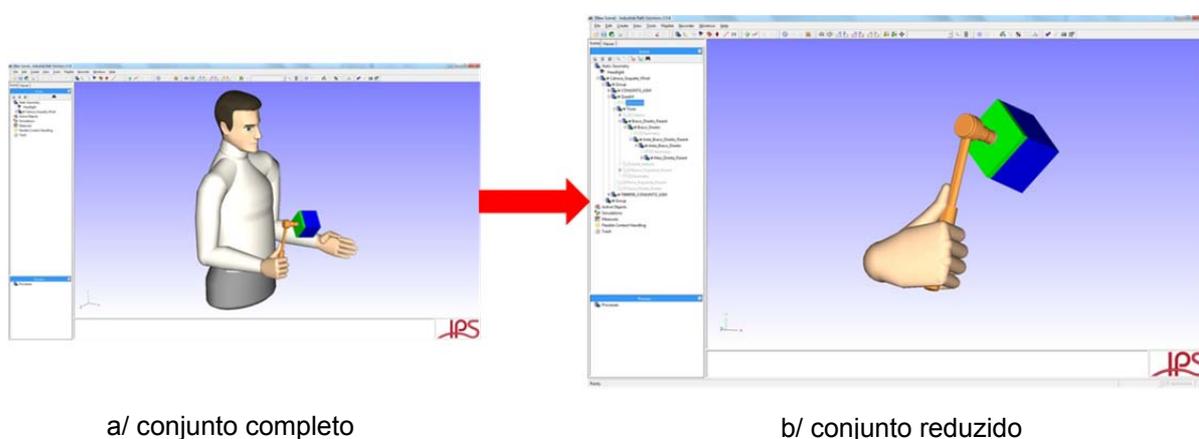


Figura 35 – Remoção de elementos desnecessários para a geração da reserva de espaço

Na Figura 35, observa-se a exclusão de elementos como braço esquerdo, antebraço direito e tronco, reduzindo tempo de geração e simplificando o processo de criação da reserva de espaço. Essa simplificação não afetará o volume gerado, uma vez que a região mais importante está sendo considerada, no caso, a mão.

A partir dos quatro ângulos propostos para a criação das reservas de espaço, e considerando que o programa *IPS* utiliza como referência a posição inicial e final, pode-se gerar uma rota. Com a utilização dessa rota, os componentes são “varridos” e assim é gerado o volume.

A Figura 36 apresenta, como exemplo, a posição inicial e a posição final para a movimentação de 45 graus.

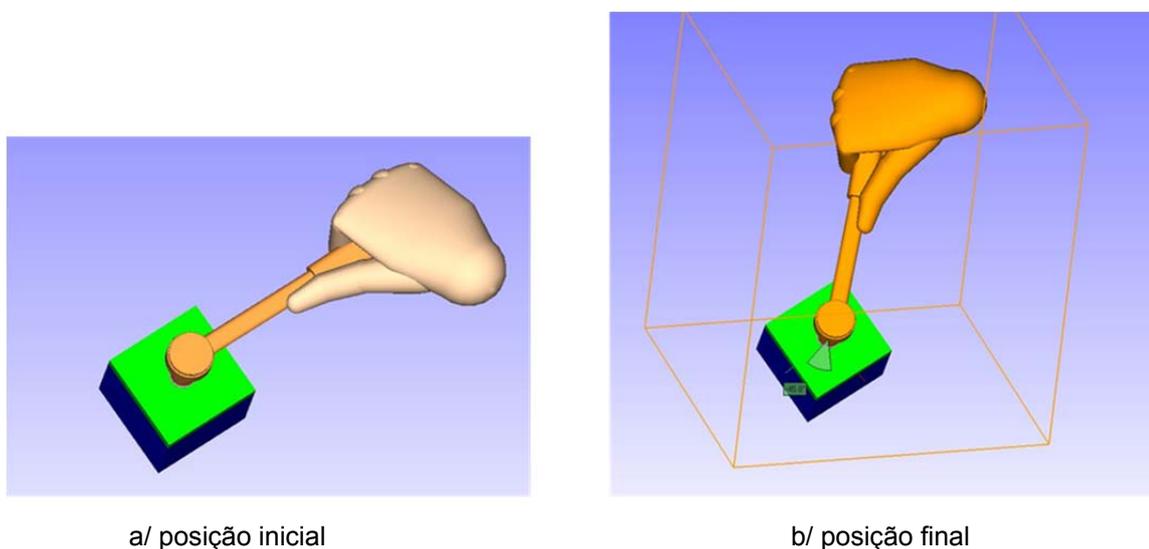


Figura 36 – Posição inicial e final da mão virtual e ferramenta, ângulo de 45°

A quantidade de ângulos selecionados irá delimitar o número de volumes que serão criados com o objetivo de cobrir o espectro de ferramentas mecânicas definidas.

Nesse estudo, são utilizadas três ferramentas mecânicas (chave combinada, catraca-soquete e torquímetro). Multiplica-se essa quantidade de ferramentas aos quatro ângulos diferentes propostos têm-se 12 volumes criados no programa *IPS*.

A Figura 37 apresenta um volume gerado por meio do *IPS*, no qual se tem, na região central, a ferramenta e a mão de forma integrada. O volume efetivamente gerado é apresentado na coloração opaca.

Sendo assim, a etapa de criação da reserva de espaço, utilizando o programa *IPS* fica concluída.

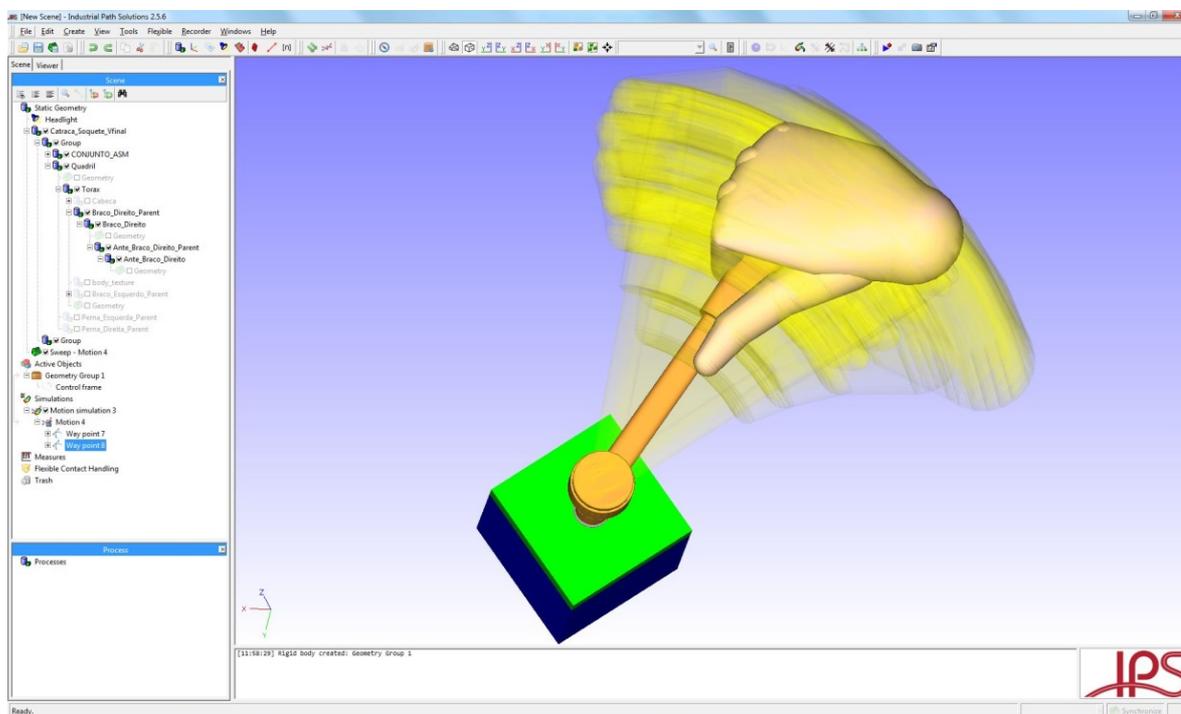


Figura 37 – Volume gerado considerando um ângulo de 45°

Cabe ressaltar que, durante a criação do volume é necessário ajustar alguns parâmetros relacionados ao sistema de coordenadas do conjunto. Essa atividade foi realizada para todos os volumes gerados, mudando parâmetros de localização para que seja possível a montagem do volume na posição correta após a abertura do arquivo no programa *SOLIDWORKS*. Ressalta-se um fator importante relacionado ao tamanho dos arquivos gerados. Durante a confecção dos volumes, percebeu-se que quanto maior fosse a ferramenta e maior o ângulo de rotação, maior será o tamanho do arquivo gerado. Isso certamente afetará o desempenho do aplicativo computacional, uma vez será necessário maior processamento de dados.

Na próxima seção, será detalhado o processo de transferência do arquivo para o programa *SOLIDWORKS*.

3.2.3.10 Abertura do volume gerado no programa *SOLIDWORKS*

Após a criação do volume de referência no programa *IPS* é possível fazer a exportação, em formato *WRL*, para posterior abertura em programas *CAD*. A

abertura do arquivo foi realizada no programa *SOLIDWORKS*, a partir da criação de um novo componente. Esse novo componente tem como limitação, a dificuldade de edição. Ou seja, uma vez aberto o arquivo *WRL* gerando um novo componente, a edição do volume se torna dificultada, sendo necessária a utilização de outras ferramentas para a sua modificação.

A Figura 38 apresenta o arquivo do volume aberto no programa *SOLIDWORKS*.

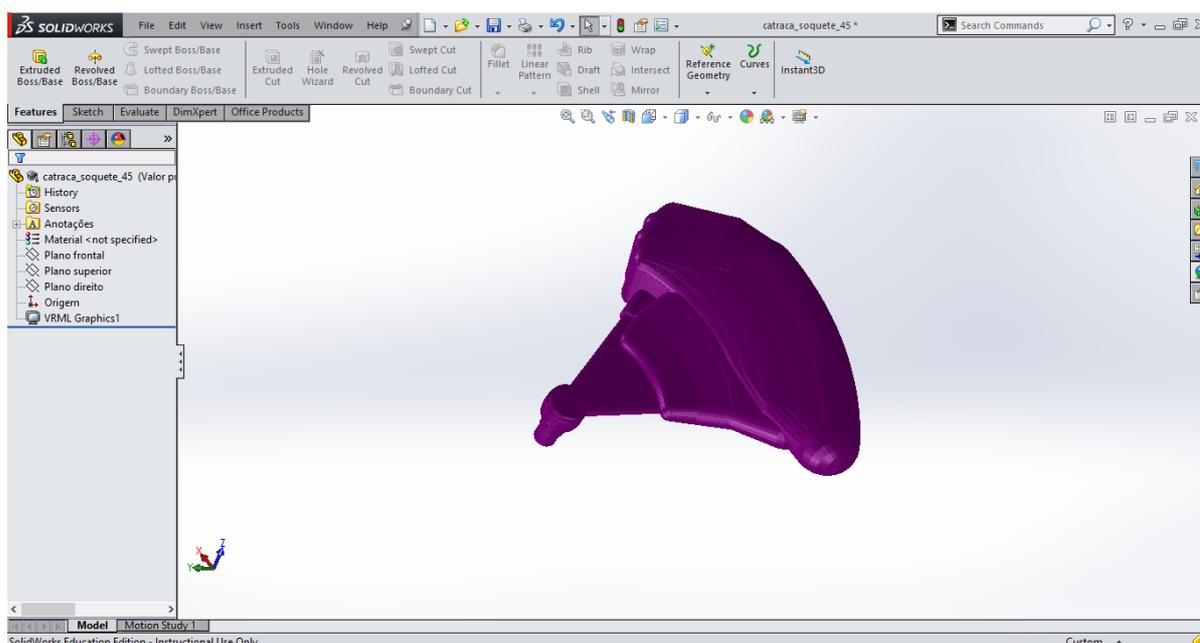


Figura 38 – Volume aberto no programa *SOLIDWORKS*

Como citado na seção anterior, com a combinação de ferramentas mecânicas e ângulos, foi possível a criação de 12 volumes. Esses volumes foram gerados seguindo as etapas descritas anteriormente e abertos, como um novo componente, no programa *SOLIDWORKS*.

Existe uma particularidade no volume gerado para a chave combinada. Para representar o que realmente ocorre durante o processo de remoção/instalação de um elemento de fixação, é necessário considerar o deslocamento do componente do seu ponto inicial até o ponto na qual o elemento de fixação estará totalmente livre dos filetes de rosca.

Uma forma de exemplificar essa situação é por meio da remoção de um parafuso de fixação de um compressor de ar, utilizado em motores diesel para a alimentação do sistema de frenagem. Esse componente (compressor de ar) é fixo

por três parafusos a uma placa na qual encontram-se as engrenagens motoras do sistema de transmissão. A Figura 39 exemplifica o deslocamento do elemento de fixação, tendo a esquerda, a posição inicial do parafuso e a direita, a posição final.

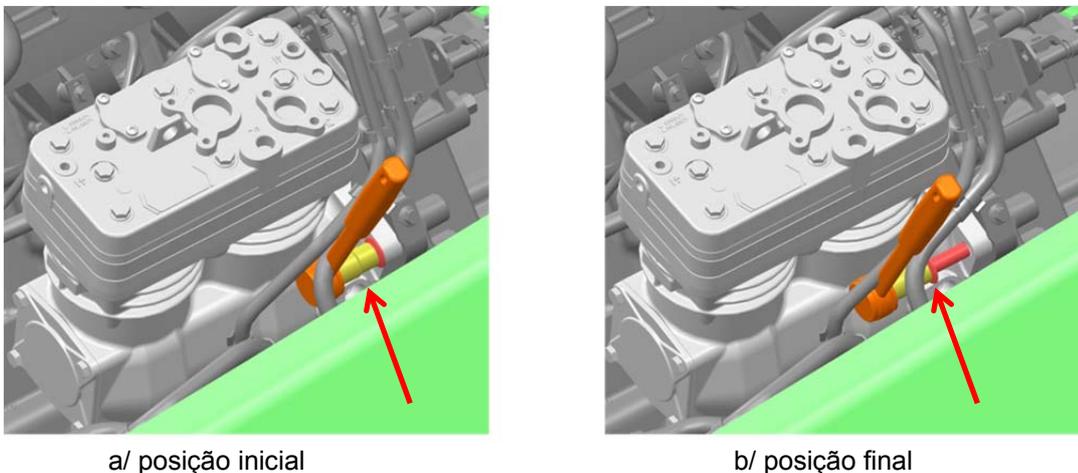


Figura 39 – Deslocamento de elemento de fixação

Como forma de simular esse deslocamento nas reservas de espaço, foi necessária a criação de um volume adicional, considerando a movimentação do elemento de fixação. Para tanto, utilizou-se um parafuso com 20 mm de comprimento como parte do estudo e o volume gerado é baseado nesse componente. Adicionalmente o volume gerado do elemento de fixação foi inserido no volume relativo a chave combinada. A Figura 40 apresenta o volume gerado para a chave combinada considerando o deslocamento do componente.

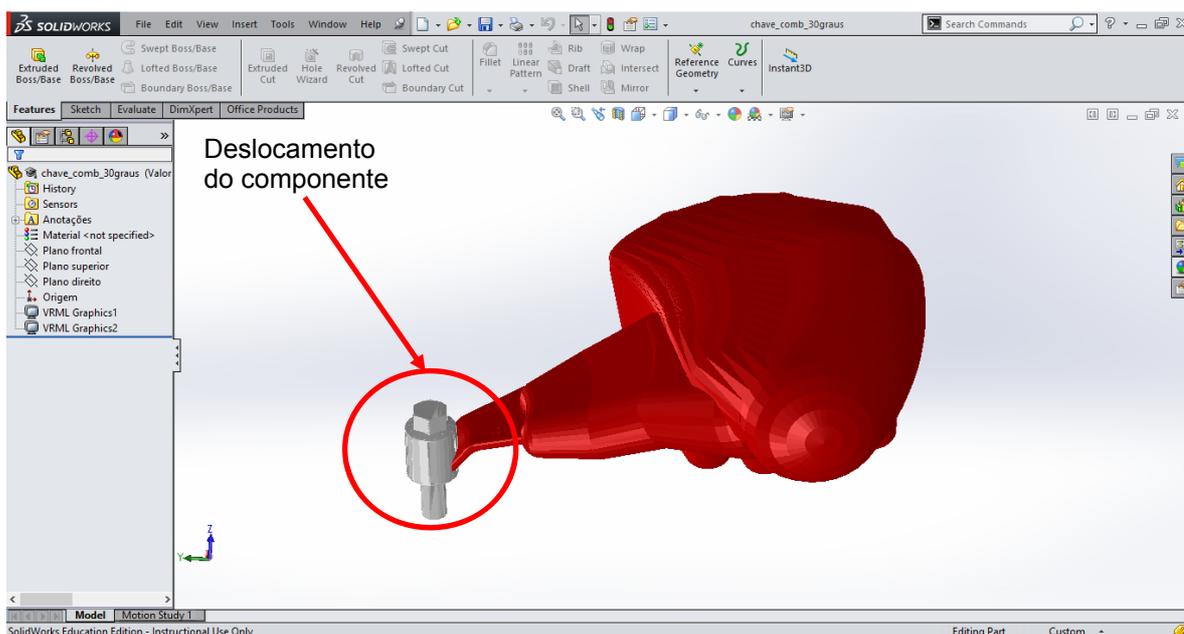


Figura 40 – Volume chave combinada e componente

Se comparado com os demais volumes (catraca-soquete e torquímetro), essa particularidade não existe, uma vez que a dimensão da catraca - soquete e/ou torquímetro + soquete ultrapassa os 20 mm do parafuso, enquanto que a espessura da chave combinada considerada nesse estudo é de 7,7mm (na região das estrias).

Sendo assim, quando se trata de catraca-soquete e torquímetro, o volume do componente já está automaticamente reservado pela dimensão das ferramentas mecânicas utilizadas nesse estudo. Cada volume foi aberto no programa *SOLIDWORKS* e armazenado em pasta específica juntamente com os demais arquivos digitais, para posterior uso durante a programação do aplicativo computacional.

Como forma de organizar e facilitar a identificação para posterior programação do aplicativo computacional, os volumes, bem como os arquivos digitais foram nomeados de acordo com as suas características.

Na próxima seção, será explicitada a nomenclatura utilizada durante a geração dos arquivos.

3.2.3.11 Nomenclatura dos arquivos

Com o objetivo de padronizar, organizar e facilitar a programação do aplicativo computacional e geração dos arquivos, a definição da nomenclatura dos componentes criados foi necessária e importante para o avanço do desenvolvimento da ferramenta. Como base, foram utilizadas as características dos componentes. Para os volumes, tem-se a seguinte nomenclatura: nome da chave abreviado + informação do ângulo de rotação de cada componente.

No Quadro 3 são apresentados os componentes e os nomes dos arquivos digitais utilizados.

(continua)

Componente	Nome dados ao arquivo digital
Conjunto base	COMPONENTE BASE
Parafuso flangeado	PARAFUSO_FLANG
Ferramenta chave combinada	CHAVE_COMBINADA
Ferramenta catraca-soquete	CATRACA SOQUETE
Ferramenta Torquímetro	TORQUÍMETRO
Volume chave combinada 15 graus	CHAVE_COMB_15GRAUS

(conclusão)

Volume chave combinada 30 graus	CHAVE_COMB_30GRAUS
Volume chave combinada 45 graus	CHAVE_COMB_45GRAUS
Volume chave combinada 60 graus	CHAVE_COMB_60GRAUS
Volume chave soquete catraca 15 graus	CATRACA_SOQUETE_15GRAUS
Volume chave soquete catraca 30 graus	CATRACA_SOQUETE_30GRAUS
Volume chave soquete catraca 45 graus	CATRACA_SOQUETE_45GRAUS
Volume chave soquete catraca 60 graus	CATRACA_SOQUETE_60GRAUS
Volume ferramenta torquímetro 15 graus	TORQUE_15GRAUS
Volume ferramenta torquímetro 30 graus	TORQUE_30GRAUS
Volume ferramenta torquímetro 45 graus	TORQUE_45GRAUS
Volume ferramenta torquímetro 60 graus	TORQUE_60GRAUS

Quadro 3 – Nomenclatura dos arquivos digitais

A simplificação dos nomes é necessária, uma vez que quanto maior a quantidade de caracteres, mais extensa poderá ser a programação.

Na próxima seção serão apresentadas as considerações para o cálculo do tempo de remoção e instalação dos elementos de fixação para cada volume gerado. Essas considerações deverão ser contempladas pelo aplicativo computacional e apresentadas ao usuário final com o objetivo de informar o usuário sobre o tempo estimado para a situação de estudo.

3.2.3.12 Considerações para o cálculo do tempo de remoção/instalação

A literatura apresenta de forma direta o tempo para a remoção e instalação de elementos de fixação, baseando-se na forma do componente e na concepção da união por parafusos, porcas, prisioneiros, entre outros. Porém, não considera alguns fatores (e.g. acessibilidade).

De modo a assegurar a exibição da correta informação para o usuário do aplicativo computacional, propõem-se alguns parâmetros baseados na literatura corrente e nos ângulos de rotação de cada volume. Sendo assim, sugere-se a inclusão de fatores multiplicadores baseados na acessibilidade. Ou seja, para cada volume gerado (i.e. 15°, 30°, 45° ou 60°) será proposto um fator multiplicador penalizando contextos com limitada acessibilidade.

O fator multiplicador foi estimado de acordo com a amplitude da movimentação das ferramentas mecânicas, considerando o volume de 60° como

referência. Ou seja, caso seja possível aplicar um ângulo de 60° no momento em que se está realizando a remoção e/ou instalação de um elemento de fixação, admite-se que o tempo que será empregado nessa ação está de acordo com a literatura. Sendo assim, considerou-se um fator multiplicador de 1 para o volume de 60°, pois entende-se que a amplitude de movimentação é adequada e em linha com os tempos apresentados oriundos da literatura investigada nessa dissertação.

Para os demais ângulos, 15°, 30° e 45°, estimou-se uma penalização crescente relacionada à redução da movimentação das ferramentas. Ou seja, quando se tem uma restrição de movimentação, o tempo para a realização da remoção e/ou instalação do elemento de fixação será impactado devido à limitação de acesso (e.g. colisão com componentes adjacentes, entre outras situações). Portanto, quanto menor o ângulo de movimentação, maior é a restrição de acesso. Logo, a quantidade de movimentos que devem ser realizados no processo de reparo do elemento de fixação tende a ser maior (com maior frequência).

A definição dos demais fatores multiplicadores ocorreu de forma não-estatística e baseada no conhecimento, uma vez que as atividades profissionais do autor estão diretamente ligadas a reparabilidade de motores e atividades em desenvolvimento de produtos em uma empresa do ramo automotivo na região de Curitiba-Pr.

A Tabela 6 apresenta os volumes considerados, tempo encontrados na literatura, fatores multiplicadores de acessibilidade e o tempo final para a remoção e a instalação do elemento de fixação.

Tabela 6 – Volumes, tempos encontrados na literatura, fatores de multiplicação e tempo final

Volumes (α)	Tempo de remoção (literatura) (min)	Tempo de instalação (literatura) (min)	Fator multiplicador de acessibilidade	Remoção final (min)	Instalação final (min)
Volumes com 15°	0,16	0,26	1,5	0,240	0,390
Volumes com 30°			1,3	0,208	0,338
Volumes com 45°			1,1	0,176	0,286
Volumes com 60°			1	0,160	0,260

Na Tabela 2 (pág.54), tem-se o tempo de remoção e troca de alguns elementos de fixação. Entende-se que a instalação é a subtração do tempo entre troca e a remoção do elemento de fixação. Sendo assim, considerou-se um parafuso padrão para aplicar o conceito dos fatores multiplicadores de acessibilidade.

Portanto, o tempo padrão de remoção considerado para ser inserido no aplicativo foi de 0,16 minutos e o de instalação 0,26 minutos.

Os tempos mostrados na Tabela 6 serão apresentados no aplicativo computacional (maiores detalhes na próxima seção). Não existe distinção entre os tempos relacionados às ferramentas mecânicas chave combinada e catraca-soquete. Porém, para a ferramenta mecânica torquímetro, não será considerado o tempo de remoção dos elementos quando este for selecionado. Isso se deve ao fato de que torquímetros são utilizados para aplicação de torque e não para a remoção de componentes. Além disso, é sabido que o tempo de instalação de um elemento de fixação com a utilização de torquímetro pode variar de acordo com a estratégia de torque empregada, especificações de projeto, entre outros.

A literatura apresenta os tempos de referência para operações em componentes-padrão, como pode ser visto na Tabela 2 (pág.54). Entretanto, a literatura não cita que a acessibilidade ao componente poderá impactar no tempo de operação. Desta forma, o fator multiplicador, mostrado na Tabela 6, tem como objetivo considerar a acessibilidade durante a estimativa de tempo. Na próxima seção, será apresentado como estes conceitos foram incorporados na forma de um aplicativo em sistema *CAD* e as suas principais funcionalidades.

3.2.4 Implementação em sistema *CAD*

Após a criação do banco de dados, partiu-se para a implementação do aplicativo computacional em sistema *CAD*. O programa escolhido para a implementação foi o *SOLIDWORKS*. Não é a intenção do presente estudo descrever todas as linhas de comando utilizadas na programação do aplicativo computacional, bem como detalhar todas as funções utilizadas. Porém, faz-se necessário indicar quais os programas e linguagem de programação foram empregados para a construção da solução proposta.

O aplicativo computacional foi programado em linguagem *Visual Basic*, mais especificadamente, *Visual Basic Net*. Além disso, utilizou-se o compilador Microsoft *Visual Studio 2010*. Para adaptar o compilador à programação no *software SOLIDWORKS*, utilizou-se uma ferramenta *API*, contida na instalação do programa, chamada *SOLIDWORKS API SDK*. Na próxima seção, serão apresentadas as funcionalidades implementadas no aplicativo computacional proposto.

3.2.5 Apresentação das funcionalidades do aplicativo computacional

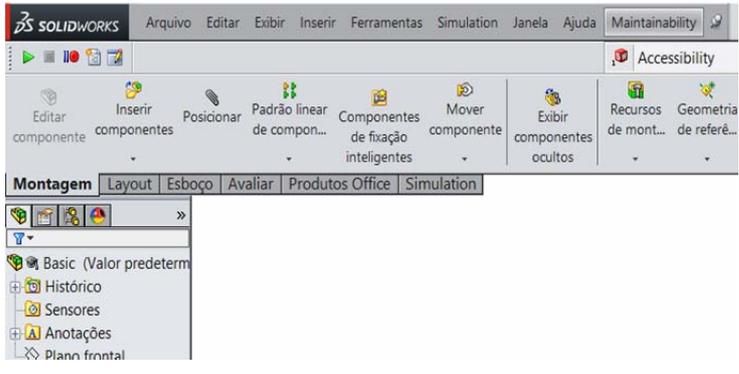
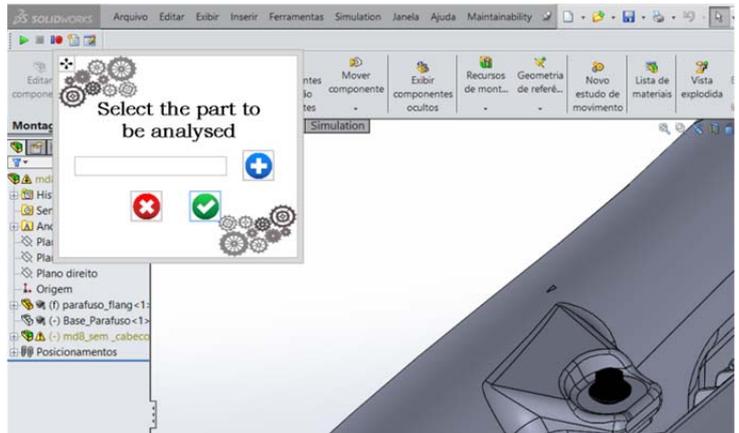
Esta seção tem como objetivo apresentar as funcionalidades desenvolvidas e que foram baseadas na Figura 18 (pág. 82). Desenvolveu-se uma interface para o aplicativo dentro do programa *SOLIDWORKS*, sendo composta de quatro formulários que correspondem à ordem lógica de: i/ seleção de componentes; ii/ seleção e inserção de ferramentas; iii/ apresentação das reservas de espaço; e iv/ análise dos resultados (em tempos de reparo e acessibilidade).

A interface, dentro do programa *SOLIDWORKS*, é visualizada por meio de uma aba adicional chamada de “*Maintainability*”. Inserida nessa aba existe uma segunda opção chamada “*Accessibility*” que abre o primeiro formulário relacionado à seleção dos componentes.

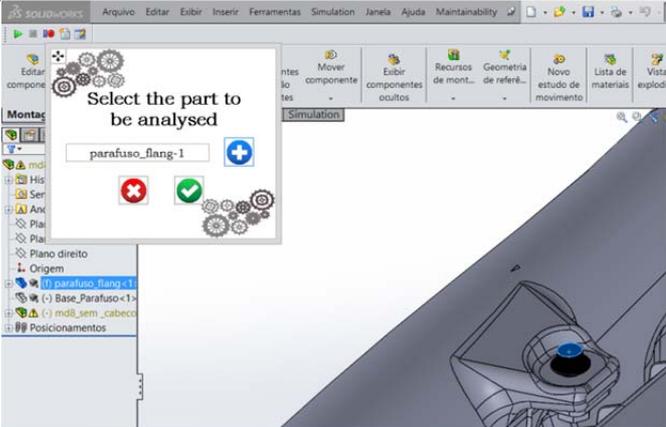
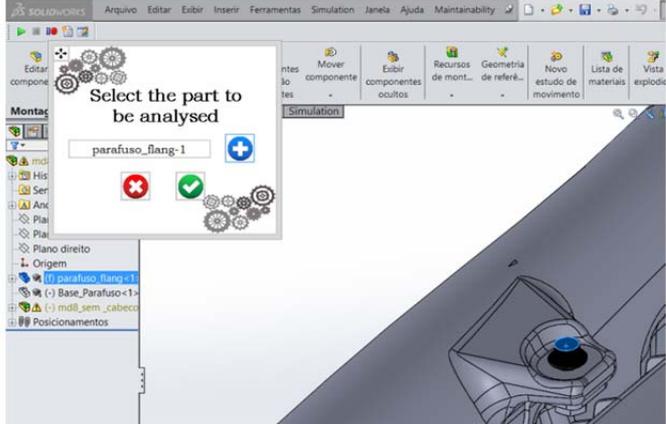
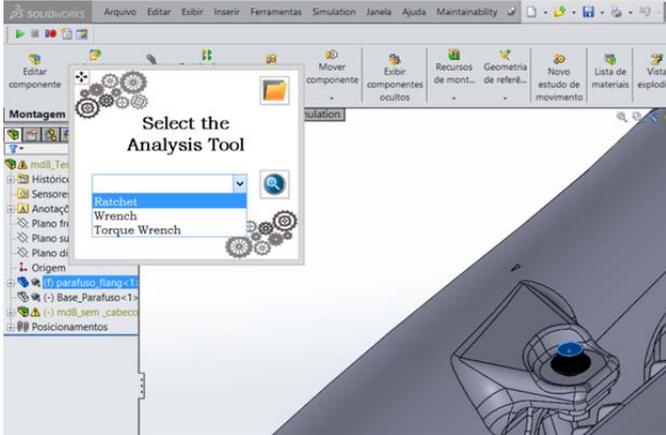
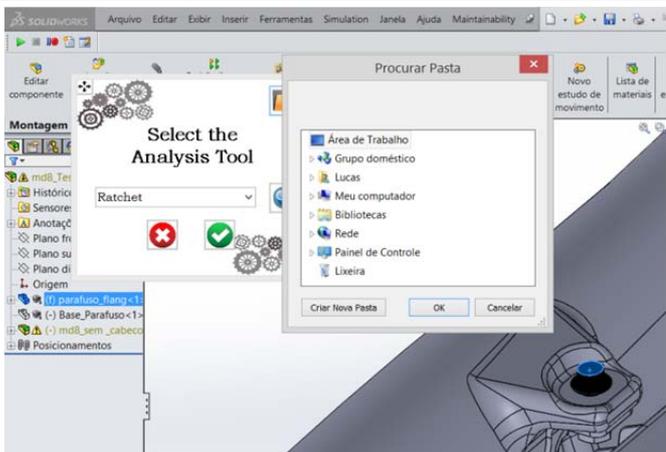
A Tabela 7 apresenta, passo-a-passo as etapas de utilização do aplicativo computacional, suas telas principais e os botões utilizados, tendo como referência o um modelo digital da instalação de um motor diesel em um veículo comercial.

Tabela 7 – Funções e etapas do processo utilizando o aplicativo computacional

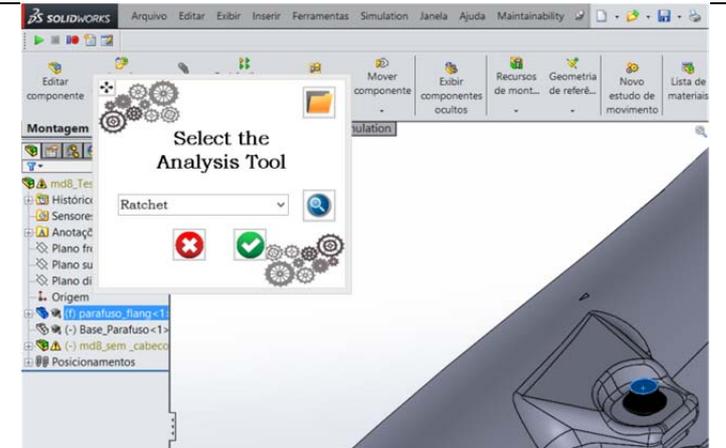
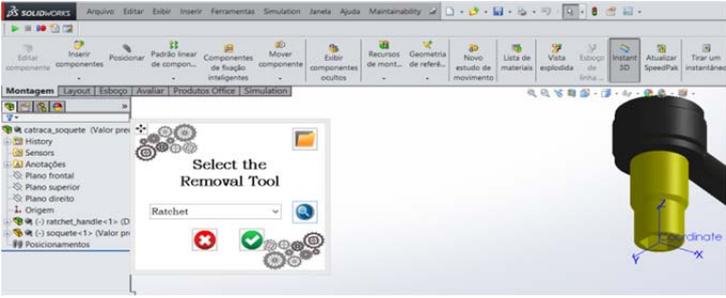
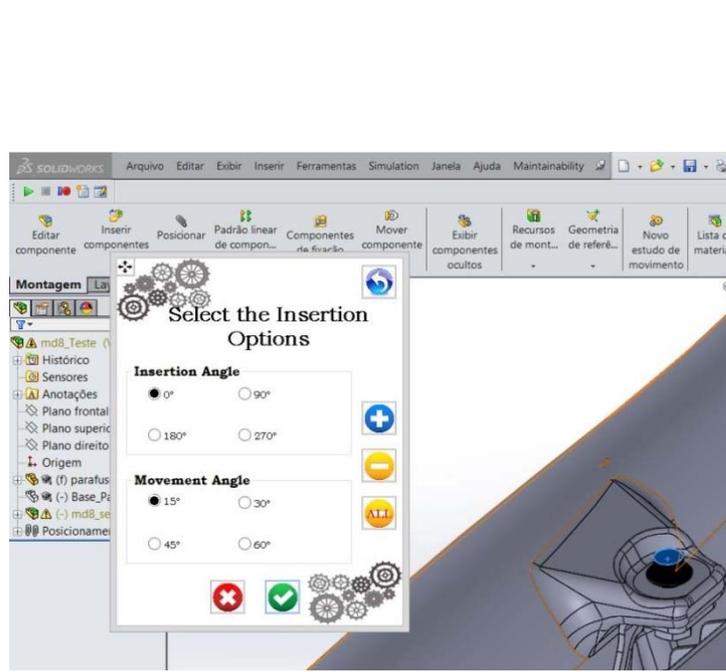
(continua)

Etapas	Telas do aplicativo computacional	Botão utilizado
<p>Etapa 1 – Acessar o aplicativo computacional – Aba adicional “<i>Maintainability</i>”.</p>		
<p>Etapa 2 – Abrirá uma janela apresentando a opção de selecionar o componente de estudo (componente que receberá a reserva de espaço, sendo possível a seleção de mais de um elemento).</p>		

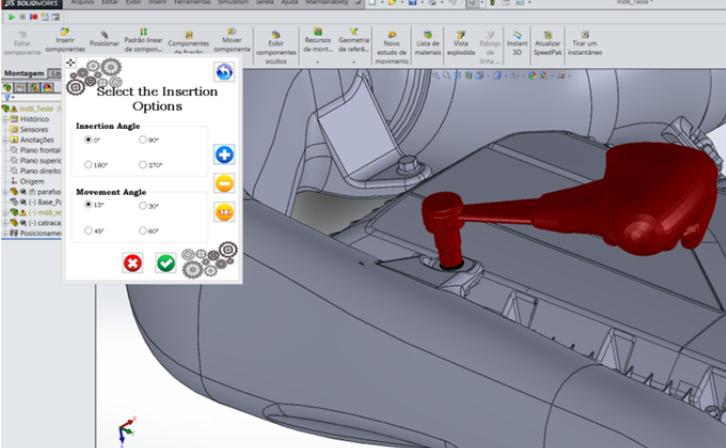
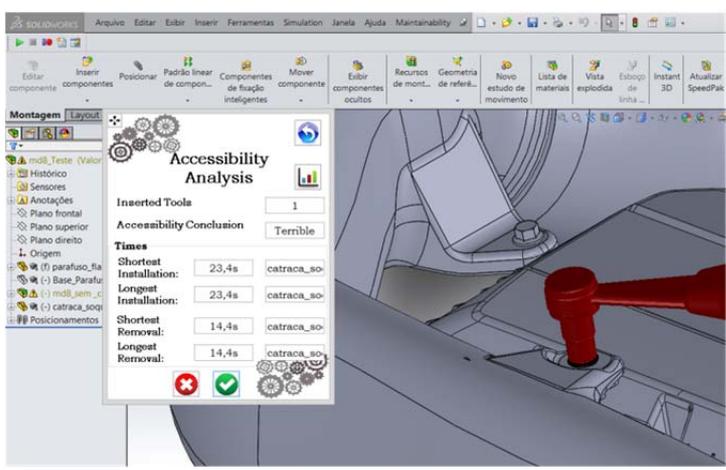
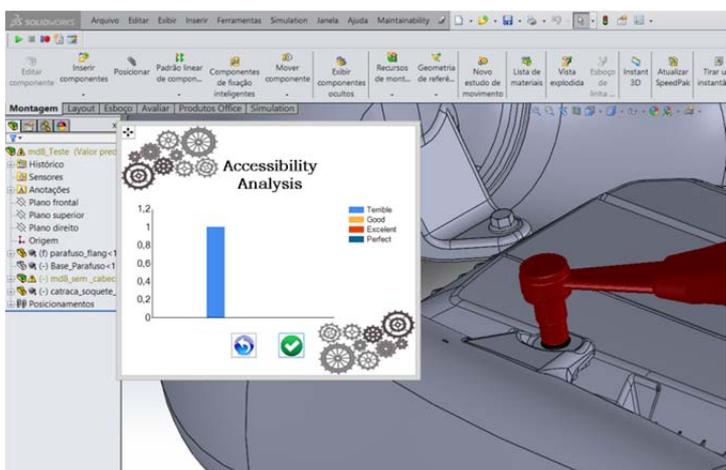
(continua)

<p>Etapa 3 – Selecionar o(s) componente(s) de estudo. Essa etapa indica a seleção dos componentes que devem ser estudados ao longo do processo.</p>		
<p>Etapa 4 – Validar o elemento de estudo selecionado, sendo então, incluído para as análises futuras.</p>		
<p>Etapa 5 – Selecionar a ferramenta mecânica, a ser utilizada, do banco de dados do aplicativo.</p>		
<p>Etapa 5.1 – Selecionar as ferramentas mecânicas da biblioteca pessoal. Caso a ferramenta a ser selecionada não esteja inserida no aplicativo, é possível selecionar ferramentas da biblioteca pessoal.</p>		

(continua)

<p>Etapa 6 – Confirmar a ferramenta mecânica desejada para a operação.</p>		
<p>Etapa 7 – Verificar visualmente a ferramenta selecionada. Abrirá uma janela separada para a visualização da ferramenta.</p>		 
<p>Etapa 8 – Inserir os parâmetros de movimentação das reservas de espaço a serem geradas (“Insertion angle” é referente ao ângulo que a reserva de espaço irá ser montada no conjunto escolhido; “Movement angle” é o ângulo de rotação da ferramenta. Com a definição desse ângulo, será buscada a reserva de espaço no banco de dados e informada ao usuário).</p>		

(conclusão)

<p>Etapa 9 – Validar os parâmetros de movimentação Essa etapa servirá para a validação dos critérios selecionados na etapa anterior (após a confirmação, o volume será mostrado, já inserido no conjunto).</p>		
<p>Etapa 10 – Analisar os tempos de remoção e instalação referente ao elemento de estudo. Nessa janela, apresenta-se a quantidade de ferramentas inseridas, conclusão da acessibilidade e os tempos relacionados.</p>		
<p>Etapa 11 – Analisar a acessibilidade do elemento de estudo. Nessa janela tem-se o resultado da acessibilidade, divididos em quatro possibilidades de acordo com os volumes inseridos anteriormente.</p>		

Na Tabela 7, na coluna à direita, são apresentados os botões utilizados durante as etapas de utilização do aplicativo computacional. Esses botões servem para validar ou cancelar um comando prévio. Além disso, esses botões possuem funções específicas e são importantes para o correto funcionamento do aplicativo

computacional. No Quadro 4 tem-se o descritivo de cada botão do aplicativo e as suas funções.

Função do botão	Ícone
Adiciona componente(s) de estudo	
Aborta a seleção de componente(s)	
Valida seleção de componente(s)	
Visualiza a(s) ferramenta(s) mecânica(s) selecionada(s)	
Seleciona uma pasta de trabalho externa ao banco de dados	
Visualiza os resultados de acessibilidade de forma gráfica	
Remove todos os elementos inseridos	
Remove o último elemento inserido	
Retorna a tela anterior	

Quadro 4 – Funções de cada botão do aplicativo computacional

No exemplo apresentado na Tabela 7, consta apenas um elemento de fixação, uma ferramenta mecânica e uma reserva de espaço. Porém, salienta-se que o aplicativo foi desenvolvido para permitir a seleção de mais de um elemento de fixação, mais de uma ferramenta mecânica e, conseqüentemente, mais de uma reserva de espaço será gerada. Portanto, a verificação do tempo de reparo e a análise de acessibilidade, contidas nas etapas 10 e 11, respectivamente, são atreladas a quantidade de componentes selecionados. Sendo assim, é possível realizar a análise em mais de um componente ao mesmo tempo, com os respectivos resultados de tempo e de acessibilidade apresentados.

Na etapa 11, o aplicativo computacional verifica quais foram as ferramentas inseridas e apresenta o resultado de acessibilidade sendo este, baseado nos ângulos das reservas de espaço. Como exemplo, cita-se que, se aplicado um ângulo de movimentação de 15° e essa reserva de espaço não colida com os componentes adjacentes (verificação feita pelo projetista), o resultado da acessibilidade será apresentado como “*terrible*”. Caso fosse selecionado um ângulo de movimentação

de 60° e, não fosse encontrada interferência entre os componentes, o resultado da acessibilidade seria “*perfect*”. No caso de mais de uma reserva de espaço no mesmo conjunto (elementos de fixação diferentes), o aplicativo apresentará o resultado baseado na média das reservas de espaço inseridas.

Na próxima seção será apresentada uma aplicação demonstrativa do conjunto de procedimentos proposto e do aplicativo computacional desenvolvido durante a dissertação. Essa etapa tem como objetivo comparar as soluções geradas.

3.3 APLICAÇÃO DEMONSTRATIVA – CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS *versus* APLICATIVO COMPUTACIONAL

Essa etapa visa aplicar os procedimentos e utilizar o aplicativo computacional desenvolvido em um caso real, realizando a comparação entre as soluções propostas nessa a dissertação. Essa comparação tem por objetivo coletar informações relevantes sobre a aplicação das soluções. Utilizou-se um modelo digital de um componente de motor diesel para realizar a aplicação demonstrativa. O modelo de estudo é composto por uma tampa (proteção para o sistema de válvulas do motor), elementos de fixação que unem essa tampa ao cabeçote e componentes adjacentes pertencentes a instalação do motor no veículo, conforme apresentado na Figura 41

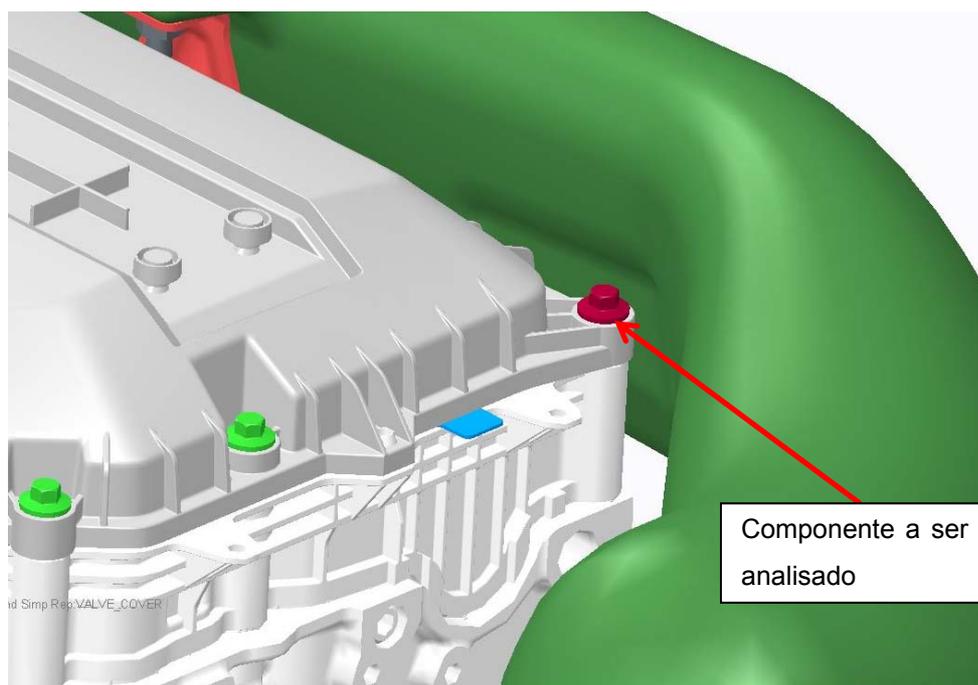


Figura 41 – Modelo digital para a aplicação demonstrativa

O modelo digital corresponde a uma aplicação real, na qual deve-se remover a tampa para fazer o procedimento de ajuste das válvulas em um motor diesel. O modelo digital apresentado na Figura 41 servirá como base para a demonstração do conjunto de procedimentos e do aplicativo computacional.

Na próxima seção serão detalhadas todas as etapas percorridas durante a demonstração do conjunto de procedimentos proposto.

3.3.1 Demonstração do conjunto de procedimentos proposto

Essa seção corresponde a aplicação do conjunto de procedimentos proposto em um estudo de caso real. Cada etapa percorrida durante a aplicação dos procedimentos propostos foi anotada, com o objetivo de mensurar o tempo gasto na sua realização.

A Tabela 8 apresenta as etapas do conjunto de procedimentos proposto, os comentários relevantes, duração da etapa (tempo gasto para realizar a tarefa) e a referência das Figuras (contidas no Apêndice G).

Tabela 8 – Demonstração do conjunto de procedimentos

(continua)

Etapas do conjunto de procedimentos	Comentários relevantes	Duração da etapa	Figura
1° - Os componentes-chave estão definidos?	A análise de documentos de projeto, como descrição do projeto, descrição técnica, lista de operações frequentes, entre outros, é parte integrante dessa etapa. Nesse caso, a análise de operações frequentes foi realizada, sendo então, considerada a operação de ajuste de válvulas em um motor diesel como referência. Portanto, é relevante considerar que a tampa de válvulas é um componente-chave e que os parafusos de fixação devem ter uma boa acessibilidade.	~8 minutos	-
2° - Os elementos de fixação estão definidos?	Os elementos de fixação foram definidos de acordo com a necessidade exposta na etapa 1, Definiu-se apenas um elemento de fixação para realizar o estudo. Esse elemento é considerado o mais crítico em termos de acessibilidade, devido ao conceito do produto.	~2 minutos	Figura 51

(continua)

3° - As ferramentas mecânicas e as respectivas movimentações estão definidas?	Estavam disponíveis três tipos de ferramentas, chave combinada, catraca-soquete e torquímetro. Durante a visualização das ferramentas mecânicas, percebeu-se uma interferência entre a catraca-soquete e o torquímetro, com a tubulação. Logo, a única ferramenta disponível para a utilização é a chave combinada (básica em atividades mecânicas). Além disso, definiu-se um ângulo de 45° para a movimentação (utilizado na aplicação dos procedimentos) e um deslocamento de 20 mm no parafuso.	~7 minutos	Figuras 52, 53 e 54
4° - Aspectos ergonômicos estão definidos?	Após a definição das ferramentas e suas movimentações realizou-se o endereçamento da ergonomia. O componente a ser removido é de baixo peso. Sendo assim, não é necessária a utilização de dispositivos de elevação. Gerou-se um volume genérico com o objetivo de simular a mão de um técnico de manutenção. Entretanto, esse volume não detalha o tamanho da mão, a posição ideal de empunhadura da ferramenta, entre outros.	~8 minutos	Figura 55
5° - A reserva de espaço está gerada no sistema CAD?	Uma vez definida a ferramenta a ser utilizada, a movimentação e os aspectos ergonômicos, faz-se necessária a criação da reserva de espaço em ambiente CAD. Confeccionou-se uma reserva de espaço, contendo a movimentação da ferramenta e do parafuso. Esse volume foi gerado manualmente, com características simples e incorporado à análise dos aspectos ergonômicos da etapa anterior.	~15 minutos	Figura 56
6° - A reserva de espaço está disponível para a equipe de desenvolvimento?	Essa é uma etapa simples de ser realizada. Uma vez tendo o acesso aos sistemas CAD e o conhecimento necessário, a disponibilização dos arquivos é rápida de ser efetivada. Nesse estudo, foi disponibilizada a reserva de espaço para a equipe de desenvolvimento contendo o mesmo sistema de coordenadas utilizado nos modelos digitais correntes da engenharia do produto.	~3 minutos	-

(conclusão)			
7°- A análise de interferência (projetista) foi realizada?	Uma vez disponibilizada a reserva de espaço, uma análise por parte do projetista deve ser realizada. Nesse estudo, a análise foi realizada e percebeu-se dois pontos de interferência entre o volume proposto e o componente em desenvolvimento. A partir desse momento, iniciam-se as discussões a acerca da solução proposta <i>versus</i> a reserva de espaço disponibilizada à equipe de desenvolvimento.	~7 minutos	Figura 56
8° - A estimativa do tempo de reparo foi realizada?	A estimativa de tempo muitas vezes é realizada com base na experiência, sem a utilização de referenciais teóricos, entre outros. No estudo proposto, estimou-se o tempo de remoção baseado na literatura. Ou seja, existindo uma boa acessibilidade, o tempo de troca do parafuso, por exemplo, ficaria em torno de 0,42 minutos. Porém, essa atividade ainda é dependente do conhecimento prévio de pessoas-chave.	~5 minutos	-
9° - Solucionar possíveis interferências (projetista) com a reserva de espaço	No estudo, foram encontradas algumas interferências entre a reserva de espaço e o conceito proposto pela equipe de desenvolvimento. A mensuração do tempo necessário para solucionar essas interferências pode variar de acordo com a complexidade das alterações. Sendo assim, mensurar o tempo que será despendido para essas alterações se torna um processo a parte. Portanto, nesse caso, não será considerado um tempo para essa etapa.	-	-

Como resultado final da aplicação do conjunto de procedimentos, pode-se considerar que:

- a/ Os procedimentos propostos são dependentes do conhecimento prévio. Ou seja, ainda é necessário ter o conhecimento em manutenção do produto, sistemas CAD (e todas as suas ramificações), ergonomia, métricas, engenharia simultânea, entre outros;

- b/ O conjunto de procedimentos é longo e complexo. Além disso, existe a necessidade da confecção manual das reservas de espaço, mesmo com o auxílio dos sistemas CAD, o que demandam um tempo extra durante as etapas do desenvolvimento do produto;
- c/ A retroalimentação das etapas do conjunto de procedimentos poderá gerar um gasto adicional de tempo durante o processo. Nessa aplicação demonstrativa, essas etapas não foram mensuradas. Por outro lado, entende-se que essa atividade é necessária para assegurar o correto atendimento as etapas do conjunto de procedimentos;
- d/ A abordagem da ergonomia, de acordo com o conjunto de procedimentos, é realizada de forma superficial. Porém, considerar todos os itens relacionados aos aspectos ergonômicos contidos no conjunto de procedimentos, tornará a atividade difícil de ser realizada o que irá gerar perda de tempo. No caso da aplicação apresentada, mesmo tendo critérios relevantes a serem considerados, utilizou-se uma forma simplificada de abordar a ergonomia, colocando apenas um volume para representar a mão do técnico de manutenção. Ainda assim, o tempo despendido nessa etapa é considerado elevado.

Na próxima seção serão detalhadas todas as etapas percorridas durante a demonstração do aplicativo computacional proposto.

3.3.2 Demonstração do aplicativo computacional

Complementando a demonstração das propostas, aplicou-se no mesmo modelo digital mostrado anteriormente, as funcionalidades do aplicativo computacional apresentadas na Tabela 7 na qual são baseadas em etapas que devem ser percorridas pelo usuário durante a utilização do aplicativo computacional.

Ressalta-se que, como citado na seção 3.2, o aplicativo computacional não pretende automatizar todas as etapas contidas no conjunto de procedimentos proposto e sim apenas as etapas: 3; 4; 5; 6; 7 e 8. Portanto, as etapas 1, 2, e 9, contidas no conjunto de procedimentos, permanecerão com as mesmas informações contidas na Tabela 8. A Tabela 9 relaciona essas etapas com comentários relevantes, duração da etapa e a referência das Figuras (contidas no Apêndice H).

Tabela 9 – Demonstração do aplicativo computacional

(continua)

Etapas do processo	Comentários relevantes	Duração	Figura
1° - Acessar o aplicativo	Uma vez instalado no computador, o aplicativo funcionará como um adendo ao programa <i>SOLIDWORKS</i> . Essa é uma atividade comum para o usuário. Considerou-se aqui, o tempo para acessar o programa <i>SOLIDWORKS</i> e abrir o aplicativo inserido no programa.	~2 minutos	Figura 57
2° - Abertura da janela de seleção	Uma vez aberto o aplicativo, ocorre a abertura automática da janela de seleção de componentes.	-	-
3° - Selecionar o componente	Depois de selecionado o componente a ser estudado pelas etapas anteriores, selecionar o componente a ser empregado é uma atividade simples.	~5 segundos	Figura 58
4° - Validar o componente selecionado	Uma vez selecionado o componente, basta clicar no botão de validação e o componente é inserido para a realização dos estudos.	~5 segundos	Figura 58
5° - Selecionar as ferramentas mecânicas	Definido o componente, seleciona-se a ferramenta que deverá ser empregada no processo. Nesse caso, utilizou-se a chave combinada. Existia a opção de selecionar ferramentas de outras bibliotecas. Porém, essa opção não foi considerada nessa aplicação devido a uma restrição do banco de dados.	~9 segundos	Figura 59
6° - Confirmar a ferramenta mecânica	Uma vez definida a ferramenta mecânica, foi necessário confirmar a escolha da ferramenta, por meio do ícone de confirmação.	~5 segundos	Figura 59
7° - Verificar visualmente a ferramenta selecionada	Essa etapa é opcional durante a realização do procedimento. Foi visualizada a ferramenta selecionada na etapa anterior. Essa funcionalidade abre uma segunda janela de verificação, acarretando em um tempo adicional.	~14 segundos	-
8° - Inserir os parâmetros de movimentação.	Confirmada a ferramenta mecânica, abriu-se uma janela para inserir os parâmetros de movimentação. Nesse estudo, adotou-se uma movimentação de 0° no ângulo de inserção (ângulo inicial de posicionamento do volume) e 45° no ângulo de movimentação (ângulo de rotação da ferramenta).	~7 segundos	Figura 60

(conclusão)			
9° - Validar os parâmetros de movimentação	Uma vez selecionado, foi necessário validar os parâmetros de movimentação da ferramenta. Quando se validou os parâmetros de movimentação, a reserva de espaço foi inserida automaticamente no elemento de fixação selecionado. O tempo dessa etapa pode variar de acordo com o ângulo de movimentação escolhido e a ferramenta escolhida. Isso ocorre devido ao tamanho dos arquivos oriundos da exportação do programa <i>IPS</i> . Nessa aplicação, o volume considerado foi 45° para a chave combinada. Ou seja, o tempo não foi elevado para buscar o elemento no banco de dados e apresentar para o usuário, pois o arquivo digital não possui um tamanho grande.	~1 minuto	Figuras 60 e 61
10° - Análise do tempo de reparo	Uma vez inserido no modelo digital principal, realizou-se uma análise do tempo de reparo para o elemento selecionado.	~8 segundos	Figura 62
11° - Análise da acessibilidade	A análise da acessibilidade foi realizada. Nesse caso, como se tem apenas um volume, a análise tornou-se simples.	~8 segundos	Figura 63

Como resultado final da demonstração do aplicativo, considera-se que:

- a/ O aplicativo computacional, mesmo contendo uma quantidade maior de etapas, reduz a dependência do conhecimento prévio em manutenção para a consideração da manutenibilidade, pois direciona a aplicação das ferramentas mecânicas, sistemas *CAD*, da reserva de espaço e aspectos ergonômicos de forma direta e prática. Além disso, reduz os critérios a serem adotados ao longo do processo, o que torna a alocação da manutenibilidade por meio da reserva de espaço mais ágil e concisa;
- b/ O aplicativo necessita de ajustes uma vez que é um protótipo. Arquivos digitais com tamanho grande penalizam o desempenho do aplicativo. Isso ocorre devido à exportação dos arquivos do programa *IPS* para o banco de dados;
- c/ O aplicativo contempla apenas uma pequena amostra das ferramentas mecânicas existentes atualmente no mercado. Alguns

problemas de manutenção podem ser resolvidos com a utilização de outras ferramentas mecânicas (i.e. extensores). Porém, essa diversidade não está contida no aplicativo;

- d/ O tempo de aplicação do procedimento completo por meio da utilização do aplicativo é inferior ao do conjunto de procedimentos proposto. Porém, como citado, o tempo pode variar de acordo com o volume escolhido – etapa 9.

De forma a compilar as informações referentes à duração de cada etapa da realização da aplicação demonstrativa considerando o conjunto de procedimentos e o aplicativo computacional, tem-se os dados condensados na Tabela 10.

Tabela 10 – Compilação dos tempos de cada etapa da aplicação demonstrativa

Conjunto de procedimentos proposto		Aplicativo computacional	
Etapas	Duração	Etapas	Duração
1°	8 minutos	1°	2 minutos
2°	2 minutos	2°	-
3°	7 minutos	3°	5 segundos
4°	8 minutos	4°	5 segundos
5°	15 minutos	5°	9 segundos
6°	3 minutos	6°	5 segundos
7°	7 minutos	7°	14 segundos
8°	5 minutos	8°	7 segundos
9°	-	9°	1 minuto
		10°	8 segundos
		11°	8 segundos
Tempo total das etapas	55 minutos	Tempo total das etapas	4 minutos

Como citado anteriormente, as etapas 1,2 e 9 do conjunto de procedimentos proposto, não foram automatizadas. Contudo, é necessário somar o tempo dessas etapas ao tempo total do processo utilizando o aplicativo computacional. Assim, soma-se 10 minutos ao tempo total. Portanto, o tempo total com a utilização do aplicativo é de aproximadamente 14 minutos. A redução de tempo entre a demonstração do conjunto de procedimentos e do aplicativo computacional era prevista. Nesse estudo de caso, a redução foi de cerca de 75%. Sendo assim, após a criação do conjunto de procedimentos, toda a explanação sobre o desenvolvimento do aplicativo computacional, indicando todas as etapas percorridas e a aplicação demonstrativa do conjunto de procedimentos e do aplicativo, faz-se necessária a realização da verificação e validação das soluções apresentadas nesse estudo.

4 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

Neste capítulo será apresentado o procedimento de verificação e validação do aplicativo computacional com o objetivo de caracterizar as implementações funcionais destacadas nas seções 3.2.1 e 3.2.2. Além disso, esse capítulo servirá também para realizar a validação do conjunto de procedimentos proposto no capítulo 3.

A verificação tem como objetivo comprovar as funcionalidades de um sistema/produto na qual é avaliado se os requisitos especificados inicialmente foram atendidos durante o desenvolvimento das soluções. Portanto, a verificação do aplicativo computacional ocorreu por meio da comparação entre as funções apresentadas no capítulo 3 (seções 3.2.1 e 3.2.2) e as etapas apresentadas na Tabela 7 (contida na seção 3.2.5 – pág.111). O principal objetivo dessa etapa é avaliar se todas as funcionalidades propostas para o aplicativo computacional foram implementadas e em qual etapa elas estão contidas.

A validação tem como objetivo confirmar que um sistema/produto atenderá o uso pretendido quando colocado em um ambiente para o qual foi desenvolvido. Portanto a validação do conjunto de procedimentos e do aplicativo computacional ocorreu por meio da apresentação de ambos para um grupo de profissionais da área de desenvolvimento de produto de uma indústria automotiva de veículos comerciais. O principal objetivo dessa etapa é testar o uso do conjunto de procedimentos e do aplicativo proposto, avaliando seus pontos fortes, fracos e coletando informações pertinentes ao desenvolvimento das soluções propostas.

4.1 VERIFICAÇÃO DAS FUNÇÕES DO APLICATIVO COMPUTACIONAL

Essa etapa visa apresentar a correlação entre as funcionalidades propostas no capítulo 3 *versus* as etapas de apresentação do aplicativo mostradas na Tabela 7 (pág.111). Esta correlação tem como objetivo mostrar que todas as funcionalidades propostas inicialmente estão contidas e foram implementadas no aplicativo computacional proposto.

A Tabela 11 apresenta a relação entre as funções básicas e adicionais, bem como as etapas do processo da utilização do aplicativo computacional.

Tabela 11 – Relação entre funções do aplicativo e etapas do processo

	Funções	Etapas (Tabela 7)
BÁSICAS	Permitir a seleção de componentes.	2, 3 e 4
	Indicar as opções de ferramentas mecânicas.	5, 5.1, 6 e 7
	Indicar as reservas de espaço.	8 e 9
	Mostrar a reserva de espaço.	9, 10 e 11
ADICIONAIS	Realizar a visualização inicial da ferramenta mecânica que está sendo inserida.	7
	Permitir a montagem de mais de uma reserva de espaço.	2 a 9
	Permitir a mudança entre ferramentas/reserva de espaço previamente escolhidas.	5, 5.1, 6, 7 e 8
	Permitir o posicionamento da reserva de espaço em outros ângulos.	8 e 9
	Realizar a verificação das reservas de espaço instaladas e gerar um resultado indicando se a acessibilidade, para as reservas de espaço que estão instaladas, está ruim, aceitável, boa ou ótima.	10 e 11
	Apresentar ao usuário o tempo gasto para a remoção/instalação do componente, baseado na reserva de espaço escolhida.	10
	Permitir ao usuário, manter a reserva de espaço instalada no componente selecionado.	9,10 e 11

Como pode ser visto na Tabela 11, para cada função, pode-se ter mais de uma etapa relacionada. Isso se deve ao fato de que as funções não são estanques e podem aparecer em mais de uma etapa. A etapa 1, contida na Tabela 7 (pág.111), não foi indicada em nenhuma funcionalidade apresentada na Tabela 11, uma vez que essa etapa é abertura do aplicativo computacional via *SOLIDWORKS*. Sendo assim, não contempla uma função específica dentro do aplicativo.

Essa verificação foi baseada unicamente na comprovação da implementação das funções iniciais propostas nesse estudo. Sendo assim, não é o foco dessa verificação, a análise da performance computacional do aplicativo. Ou seja, não foram examinados itens relacionados ao sistema como: i/ velocidade de processamento das informações; ii/ linhas de programação; iii/ segurança do aplicativo; iv/ resolução de “bugs”; e v/ entre outros. Como resultado final da verificação, entende-se que todas as funções planejadas inicialmente foram implementadas no aplicativo computacional proposto.

4.2 VALIDAÇÃO DO CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS E DO APLICATIVO COMPUTACIONAL

A validação do conjunto de procedimentos e do aplicativo computacional ocorreu no dia 29 de maio de 2015 em uma indústria do setor automotivo de

veículos comerciais, tendo o evento duração de aproximadamente duas horas. No total, sete pessoas compareceram para participar da validação. Os participantes possuíam um perfil profissional diretamente relacionado ao desenvolvimento do produto ou a áreas de suporte ao produto em campo.

Como forma introdutória ao tema, apresentou-se o estudo da presente dissertação nos dez minutos iniciais da seção. Nos 10 minutos seguintes, o conjunto de procedimentos proposto foi descrito e os itens que deveriam ser considerados ao longo da aplicação dos procedimentos, nos dez minutos seguintes. Posteriormente, solicitou-se a alocação da manutenibilidade, com a utilização dos procedimentos e os itens a serem considerados durante o desenvolvimento da reserva de espaço. Utilizou-se um modelo digital de um motor diesel, contendo a tampa de engrenagens e alguns parafusos, conforme a Figura 42, para ilustrar um problema e ser endereçado. Salieta-se que no modelo digital proposto para o estudo, o parafuso a ser analisado não pode ser removido sem a remoção de uma tubulação do sistema de arrefecimento da caixa de mudanças, sendo esse, um exemplo do não endereçamento da acessibilidade em elementos de fixação.

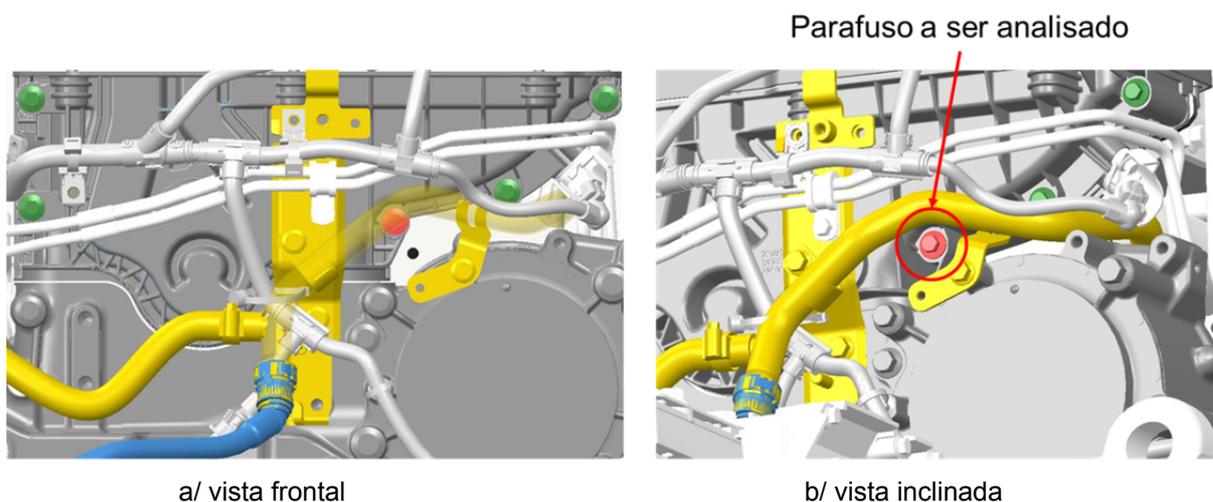


Figura 42 – Modelo digital para a realização da validação

Voltando à validação, permitiu-se ao grupo, aplicar o conjunto de procedimentos proposto durante 30 minutos. Após essa etapa, solicitou-se o preenchimento de um questionário (Apêndice I) nos dez minutos finais, com o objetivo de capturar informações referentes ao conjunto de procedimentos. Após a etapa de validação do conjunto de procedimentos, o aplicativo computacional foi demonstrado em uma apresentação nos cinco minutos iniciais da seção visando o

alinhamento das informações pertinentes. Ao término da apresentação, solicitou-se para os participantes a utilização do aplicativo computacional empregando o mesmo modelo digital utilizado para a validação do conjunto de procedimentos.

Permitiu-se ao grupo, utilizar o aplicativo computacional durante quarenta minutos. Após essa etapa, solicitou-se o preenchimento de um questionário (Apêndice J) nos quinze minutos restantes com o objetivo de capturar informações relevantes do aplicativo computacional. Os resultados da validação do conjunto de procedimentos e do aplicativo computacional podem ser vistos nas próximas seções. Assim como foi proposto nos questionários, os resultados da validação dos procedimentos e do aplicativo computacional serão divididos em três áreas distintas, sendo elas: i/ identificação dos entrevistados (comum para ambos os questionários); ii/ avaliação do conjunto de procedimentos; e iii/ avaliação do aplicativo computacional.

4.2.1 Identificação dos participantes

Assim como já fora mencionado, todos os participantes fazem parte do quadro de funcionários de uma indústria do setor automotivo focada em veículos comerciais. Como pode ser visto na Figura 43, o grupo de participantes era composto em sua maioria, por pessoas entre 20 e 30 anos.

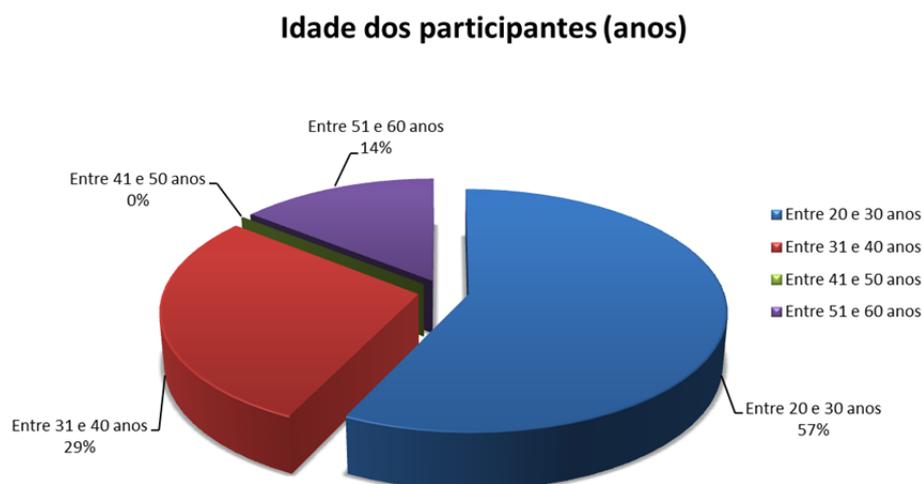


Figura 43 – Idade dos participantes da validação

O questionamento relacionado ao tempo de empresa tinha como objetivo entender se os participantes estavam integrados aos processos da empresa e

tinham conhecimentos relacionados à aplicação da mantabilidade durante o desenvolvimento de produto. Ou seja, quanto maior fosse o tempo de empresa, maiores seriam as chances das pessoas entenderem o processo de desenvolvimento de produto e suas interações com os outros departamentos. Logo, na Figura 44, pode-se afirmar que as pessoas tinham tempo suficiente para entender todo o processo de desenvolvimento do produto, já que 71% possuíam no mínimo quatro anos de atuação nesta empresa, mesmo tendo uma baixa média de idade.

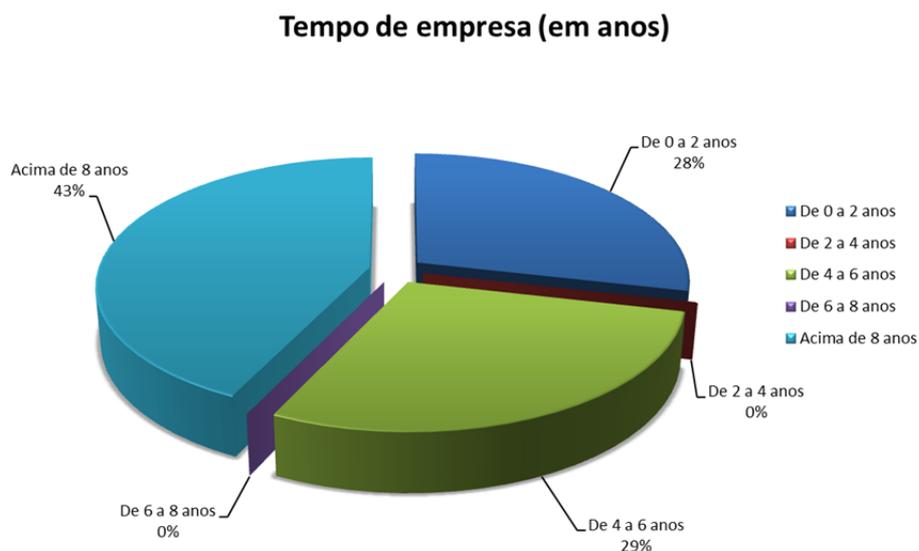


Figura 44 – Tempo de atuação dos participantes na empresa

Em relação ao tempo de atuação no mercado, os participantes também demonstraram possuir experiência além do âmbito da empresa de atuação corrente, já que 71% deles possuíam um tempo de atuação superior a seis anos como pode ser visto na Figura 45.

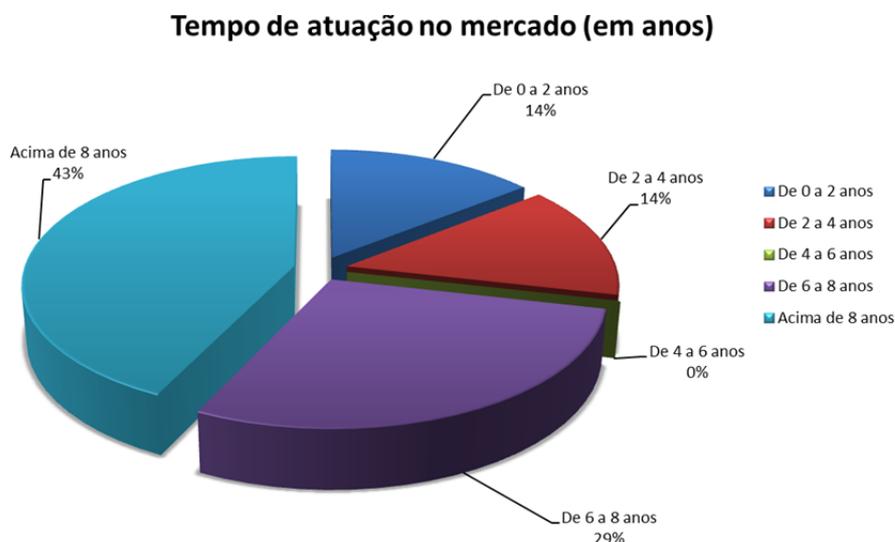


Figura 45 – Tempo de atuação no mercado de trabalho

A formação acadêmica dos participantes ficou polarizada, uma vez que 86% dos participantes tinham como formação inicial, o curso de engenharia mecânica. Apenas um participante tinha como formação o curso técnico em mecânica e curso superior em administração de empresas. Como a dissertação foca em um conjunto de procedimentos e um aplicativo computacional para auxiliar a equipe de desenvolvimento do produto a considerar a manutenibilidade, um público com a formação prioritariamente na área mecânica se torna ideal para validar os conceitos apresentados.

No que tange aos cargos exercidos pelos participantes da validação, 100% deles estão ligados ao desenvolvimento do produto da empresa. Porém, os departamentos representados pelas pessoas variam de acordo com as funções de cada um. Essa variação ocorre entre os departamentos de desenvolvimento das soluções e os responsáveis pela manutenção do produto. Entretanto, esses dois departamentos estão contidos dentro da mesma equipe de desenvolvimento o que traz vantagens como: i/ boa comunicação; ii/ um processo interativo; e iii/ compartilhamento do conhecimento.

Portanto, entende-se que essa diversidade entre as funções envolvidas, aliada à experiência, tanto de empresa quanto de atuação no mercado, formou um grupo de participantes experientes o suficiente para analisar o conjunto de procedimentos e o aplicativo computacional propostos, podendo retroalimentar o estudo com possíveis melhorias ou, até mesmo, eventuais correções.

4.2.2 Resultados da validação do conjunto de procedimentos

Esta seção visa coletar informações relacionadas a utilização do conjunto de procedimentos proposto e verificar a percepção dos participantes durante a sua aplicação. Indiretamente no questionário, algumas questões remetem à engenharia simultânea e como a manutenibilidade é aplicada durante o desenvolvimento do produto.

No primeiro questionamento, que se refere indiretamente, à engenharia simultânea, 58% disseram que atuam em todo o processo de desenvolvimento de produto, 14% disseram que atuam somente nas fases iniciais, 14% disseram que não atuam e 14% apontaram que atuam somente em revisões de conceito. Isso

mostra que a maioria dos participantes tem ligação direta com o desenvolvimento do produto.

Na pergunta: “*Como a manutenibilidade é aplicada na sua empresa?*” houve uma polarização, na qual 86% expuseram que a manutenibilidade é aplicada de forma sistemática, via processo, e inserida no processo de desenvolvimento do produto, e 14% mencionam que ela ocorre por meio da experiência de poucas pessoas, sem um processo robusto. Além disso, no terceiro questionamento, 100% dos participantes destacam que a acessibilidade é avaliada durante PDP da empresa corrente.

Essa polarização, tanto da pergunta dois quanto da três, ocorreu devido ao fato de que, recentemente, a empresa passou por uma reformulação em seu PDP, melhorando o foco em alguns pontos do desenvolvimento das soluções, na qual, inclui-se a manutenibilidade. Portanto, devido a essa nova forma de desenvolver produtos, a manutenibilidade está sendo endereçada de forma direta, organizada e ponderada ao longo do desenvolvimento. Sendo assim, existe a oportunidade de criar soluções que acelerem e auxiliem projetistas na consideração da manutenibilidade durante o desenvolvimento do produto.

Baseado no questionário aplicado, 86% dos participantes apontaram que o conjunto de procedimentos proposto contempla as etapas de criação de uma reserva de espaço, auxilia na sua confecção e suporta a análise da manutenibilidade. Em contrapartida, para 71% dos participantes, o conjunto de procedimentos proposto não é dependente do conhecimento prévio de pessoas experientes. Para aqueles que responderam que o conjunto de procedimentos não depende do conhecimento, alguns de seus argumentos estão transpostos a seguir:

- a/ Procedimentos de simples aplicação e pode ser empregado por uma pessoa com conhecimento básico de engenharia;
- b/ O conjunto de procedimentos obedece a uma sequência lógica e, uma vez disponibilizado, uma pessoa com pouco conhecimento em engenharia pode aplicá-lo;
- c/ O conjunto de procedimentos propõe o trabalho de uma forma sistemática e clara.

De certa forma, o resultado é surpreendente em relação ao conjunto de procedimentos proposto. Porém, o conhecimento prévio de pessoas experientes irá influenciar na agilidade e velocidade da realização das etapas dos procedimentos. Uma vez que, conhecer as características e detalhes de uma atividade, certamente auxilia no desenvolvimento das soluções, sejam elas técnicas e/ou administrativas e isso deve ser considerado durante essa validação.

Contudo, um ponto importante da validação é relacionado ao tempo gasto para a aplicação do conjunto de procedimentos nas atividades diárias. Para 58% dos entrevistados, o conjunto de procedimentos é rápido de ser aplicado. Podem-se levantar algumas considerações hipotéticas sobre esses resultados, como:

- a/ Falta de clareza durante a explicação de como a validação do conjunto de procedimentos proposto seria realizada e quais seriam os resultados esperados;
- b/ Utilização dos procedimentos como sendo apenas um passo-a-passo de atividades e não como um guia complexo e detalhado da alocação da manutenibilidade, baseado em reservas de espaço;
- c/ Não entendimento da complexidade de certos critérios (i.e. ergonomia, métricas, entre outros) e suas particularidades;
- d/ Desconhecimento do processo de utilização de sistemas CAD e suas características. Nem todos os participantes da validação possuíam o conhecimento em sistemas CAD;
- e/ Entendimento superficial dos procedimentos proposto e como deverá ser aplicado durante as fases do desenvolvimento das soluções;
- f/ Constrangimento em fazer perguntas durante a aplicação do conjunto de procedimentos.

Esses pontos não puderam ser comprovados durante a validação, devido à falta de perguntas específicas. Porém, para 86% dos participantes, o conjunto de procedimentos proposto corresponde à realidade encontrada na indústria. Entretanto, mesmo os procedimentos correspondendo a realidade, surgiram alguns comentários adicionais nessa área, como:

- a/ Realização de um balanceamento entre as áreas envolvidas em caso de alteração do produto devido a interferências encontradas entre as reservas de espaço e as soluções propostas;

b/ Nomenclatura na Etapa 9 do conjunto de procedimentos proposto poderia ser mais descritiva.

De certa forma, o balanceamento já ocorre entre as diversas áreas da empresa, uma vez que o projetista deverá indicar qual será o acréscimo de tempo necessário para corrigir a interferência gerada depois que a reserva de espaço for inserida no modelo digital de estudo, cabendo à equipe de desenvolvimento avaliar se economicamente é viável a alteração ou se a manutenção do produto será impactada. O impacto em manutenção pode ocorrer devido ao foco da empresa em desenvolver um produto com uma baixa relação com a manutenibilidade. As empresas realizam atividades de desenvolvimento do produto com o objetivo de atacar um problema e/ou necessidade de mercado. Sendo assim, o foco dessas atividades são definidas em etapas iniciais do desenvolvimento e nem sempre estão atreladas a manutenção do produto. Caso a empresa realize as atividades de desenvolvimento do produto com foco em manutenibilidade, a manutenção será sempre considerada em primeiro plano, então, as alterações que possam ocorrer serão tratadas de forma natural e objetivando atender o foco do desenvolvimento.

Em relação à nomenclatura da Etapa 9 do conjunto de procedimentos, indica-se que essa é uma atividade inerente à equipe de desenvolvimento do produto, uma vez que a resolução de interferências é prática comum durante o desenvolvimento das soluções. A Etapa 9 do conjunto de procedimentos proposto tem a função de salientar a necessidade de solucionar as interferências encontradas entre os componentes em desenvolvimento e as reservas de espaço, onde deve ser realizado um balanceamento das possíveis alterações evitando penalizar os custos atrelados ao projeto em andamento.

No oitavo questionamento, 100% dos participantes disseram que o conjunto de procedimentos proposto auxilia a equipe de desenvolvimento a gerar produtos melhores sob a ótica da manutenibilidade. Já, relacionado à utilidade dos procedimentos propostos, 58% dos participantes consideram que o conjunto de procedimentos é essencial na inclusão da manutenibilidade durante o PDP e outros 43% admitem que é muito útil.

Para 86% dos participantes o conjunto de procedimentos proposto está completo e não é necessário desenvolver mais etapas. Entretanto, 14% informaram

que sim, existe uma etapa relacionada ao estudo de caso, comparativamente entre um projeto com a aplicação da reserva de espaço *versus* o custo final no pós-venda.

4.2.3 Resultados da validação do aplicativo computacional

Este questionário objetivava captar a percepção dos participantes quanto a viabilidade do aplicativo computacional desenvolvido, objetivando a automatização do conjunto de procedimentos proposto.

Para iniciar, 86% dos participantes indicaram que o aplicativo não contempla todas as etapas do conjunto de procedimentos proposto. Realmente, o aplicativo não contempla todas as etapas do conjunto de procedimentos. Como descrito na seção 3.2, o aplicativo computacional visa automatizar as atividades que demandam maior tempo e dependem de conhecimento de pessoas experientes. Por isso, algumas das etapas do conjunto de procedimentos, não estão contidas no aplicativo computacional. Entretanto, para 100% dos participantes, o aplicativo desenvolvido irá auxiliar os projetistas a considerarem a manutenibilidade durante o PDP, assim como o conjunto de procedimentos também indica tal particularidade.

A facilidade de utilização do aplicativo é outro fator importante para o desenvolvimento das soluções. Sendo assim, na pergunta três, 100% dos participantes indicaram que o aplicativo é de fácil utilização. Comparativamente ao conjunto de procedimentos, 100% dos participantes avaliaram e opinaram que o aplicativo irá auxiliar a equipe de desenvolvimento a gerar soluções melhores sob a ótica da manutenibilidade. Além disso, todos os respondentes sinalizaram que a comunicação entre projetista e engenheiros de reparo/suporte ao produto pode ser facilitada com o emprego do aplicativo computacional.

Em relação à utilidade do aplicativo computacional, 58% citam que é essencial para o desenvolvimento de novas soluções e 42% indicam que é muito útil justificando todo o esforço e empenho no desenvolvimento do aplicativo. Ressaltam-se alguns comentários relevantes sobre a utilidade do aplicativo, como:

- a/ Facilidade de documentar o histórico das soluções relacionadas à reserva de espaço, uma vez que o modelo da reserva de espaço estará no modelo digital utilizado para o desenvolvimento das soluções;

- b/ Melhora a comunicação entre as diferentes áreas da empresa. Gera, também, uma única linguagem entre projetistas e engenheiros de reparo/suporte ao produto;
- c/ Evita problemas de acessibilidade nos produtos em desenvolvimento, já que a reserva de espaço tem como principal objetivo assegurar a alocação da manutenibilidade;
- d/ O aplicativo é rápido de ser utilizado.

Em relação às funções adicionais que possam ser implementadas no aplicativo computacional desenvolvido, 42% acreditam que não é necessário adicionar funções, enquanto 58% dos participantes acreditam que algumas funções extras possam auxiliar, ainda mais, durante a alocação da manutenibilidade. São elas:

- a/ Considerar outras ferramentas mecânicas. Conseqüentemente, ampliar a biblioteca de ferramentas e os volumes no banco de dados;
- b/ Custo de mão-de-obra para futura análise do custo de projeto por parte da equipe de desenvolvimento.

Certamente a quantidade de ferramentas mecânicas deve ser aprimorada no aplicativo, permitindo então, uma maior confiabilidade nas análises. Contudo, quanto maior for a quantidade de ferramentas disponíveis, maior será o banco de dados que o aplicativo deverá gerenciar. Isso poderá acarretar em problemas de desempenho computacional. Por outro lado, quanto maior o banco de dados, melhor será a utilização do aplicativo, uma vez que abrirá um leque grande de possibilidades relacionadas ao uso das ferramentas mecânicas.

Em relação ao custo-de-mão de obra, acredita-se que essa funcionalidade poderá ser muito útil e poderá fornecer a equipe de desenvolvimento de produto, não apenas uma ferramenta para auxiliar a alocação da manutenibilidade durante as etapas iniciais do PDP, e sim, uma ferramenta de tomada de decisão durante a fase conceitual do desenvolvimento, uma vez que custo de manutenção poderá ser um fator preponderante para o sucesso do produto no mercado.

Por fim, uma pergunta aberta foi direcionada aos participantes sobre a comparação entre o conjunto de procedimentos e o aplicativo desenvolvido, na qual, os comentários serão transcritos aqui. São eles:

- a/ O aplicativo leva em consideração vários aspectos úteis, como espaço, acesso, e outros fatores que auxiliam o conceito de reparabilidade;
- b/ O aplicativo utiliza as etapas apresentadas no conjunto de procedimentos proposto. Porém, de uma forma mais ágil e concisa;
- c/ Facilidade de inserir ferramentas no modelo digital e analisar o volume necessário para as peças/ componentes envolvidos;
- d/ Aplicativo de fácil entendimento e clareza. Segue uma ordem lógica e sequencial;
- e/ Facilita a análise da reserva de espaço e torna possível a utilização no modelo digital gerado pela equipe de desenvolvimento em estudos de manutenibilidade.

4.2.4 Considerações finais sobre a validação

O processo de validação do conjunto de procedimentos e do aplicativo computacional procurou apresentar os procedimentos bem como o aplicativo a um grupo de participantes que vivenciam o desenvolvimento do produto e/ou o suporte do produto diariamente. Além disso, foi focado no perfil da área mecânica na qual tem-se engenheiros e técnicos como base, justamente por este profissional estar alinhado com o desenvolvimento das soluções propostas nesse estudo.

A avaliação do conjunto de procedimentos na empresa automotiva teve como foco comprovar a utilidade e relevância da proposta a ser seguida para o endereçamento da manutenibilidade durante as etapas iniciais do PDP. Assim, constatou-se que o conjunto de procedimentos tem potencial para auxiliar a equipe de desenvolvimento a criar soluções de fácil manutenção e está de acordo com a realidade da indústria.

Por outro lado, a complexidade, dependência do conhecimento de pessoas experientes e o tempo despendido durante a sua aplicação do conjunto de procedimentos, de acordo com os participantes da validação, não são fatores relevantes ao longo das etapas de aplicação dos procedimentos propostos, diferentemente do que foi apresentado durante a demonstração realizada na seção 3.3.

Esses fatores (i.e. complexidade, dependência do conhecimento de pessoas experientes, entre outros) impactam a aplicação do conjunto de procedimentos e mesmo o autor da dissertação realizando a aplicação dos procedimentos propostos, o tempo despendido para a realização das etapas é elevado e ainda é um dos fatores críticos. As possíveis razões para essa divergência, entre a demonstração (realizada pelo autor da dissertação) e a validação do conjunto de procedimentos (realizada pelos participantes), foram apresentadas na seção 4.2.2.

Por fim, na etapa de validação do aplicativo computacional, ficou demonstrado que a equipe de desenvolvimento do produto poderá fazer uso desse conjunto de soluções durante as alocações da manutenibilidade ao longo do PDP. O conjunto de procedimentos, tendo algumas de suas etapas automatizadas e transformadas em um aplicativo computacional, busca unir as atividades práticas da alocação da manutenibilidade, por meio da reserva de espaço, ao que a literatura aborda de maneira superficial (i.e. ergonomia, utilização de sistemas *CAD* para a alocação da manutenibilidade em fases iniciais do PDP, acessibilidade, entre outros).

Portanto, entende-se que a utilização do aplicativo computacional pode representar uma melhora em termos de tempo e qualidade da alocação da manutenibilidade durante o PDP. No entanto, existem possibilidades/necessidades de melhorias, seja no conjunto de procedimentos proposto e/ou no aplicativo computacional, que poderão ser considerados em estudos futuros.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

O presente estudo possibilitou o entendimento de como a manutenibilidade é aplicada durante o PDP, declarada na literatura clássica e em estudos recentes. Apesar da manutenibilidade ser considerada importante dentro das diversas abordagens de desenvolvimento do produto, nenhuma metodologia mostra claramente o que deve ser feito para atingir níveis aceitáveis do ponto de vista de manutenção do produto. As metodologias apresentadas nesse estudo citam a manutenibilidade em algumas fases e trazem alguns itens que devem ser examinados. Porém não destacam as formas de como esse parâmetro deve ser abordado durante o desenvolvimento do produto.

Alguns estudos expostos nessa dissertação visam apenas verificar a manutenibilidade em etapas posteriores do desenvolvimento do produto com a utilização de sistemas *CAD*, onde não é mais possível influenciar a equipe de desenvolvimento com os conceitos relacionados à manutenção. Já, outros estudos apresentam uma forma de direcionar a alocação da manutenibilidade durante o PDP, não apenas verificando as soluções propostas pela equipe de desenvolvimento e sim, impactando e restringindo os volumes físicos de atuação desses profissionais com informações referentes à manutenção do produto. Entretanto, algumas dessas soluções são dependentes do conhecimento prévio, demandam tempo para serem implementadas e, conseqüentemente, consomem horas de desenvolvimento.

Com a existência dessa oportunidade, buscou-se mapear, a partir da literatura vigente, quais eram os estudos pertinentes e a suas relações com o PDP para que um produto tivesse sucesso no âmbito da manutenção. Além disso, foi utilizado o conhecimento prático de como a manutenibilidade deve ser considerada durante o desenvolvimento de produto, reduzindo a aplicação das métricas (e.g. *MTTR*, *MTBF*, entre outras) e buscando ações ativas com o objetivo de fornecer informações relevantes relacionadas à manutenção do produto para a equipe de desenvolvimento de uma forma ágil e correta.

Como a utilização de sistemas *CAD* possibilita a interação entre diversos setores da empresa e tem um peso importante para a alocação da manutenibilidade, juntamente com a utilização de fatores importantes relacionados à manutenção do produto (i.e. ferramentas mecânicas, aspectos ergonômicos, reservas de espaço, entre outros) aliado a pontos marginais da engenharia simultânea, foi proposto um conjunto de procedimentos e um aplicativo computacional com o objetivo de auxiliar a equipe de desenvolvimento a considerar o parâmetro da manutenibilidade, por meio da utilização de reservas de espaço, de forma ágil e concisa ao logo do PDP.

O conjunto de procedimentos proposto fornece uma forma detalhada de como a reserva de espaço deve ser considerada e gerada ao longo do PDP, apresentado etapa-a-etapa quais são as tarefas e quais são os pontos a serem considerados durante a sua elaboração e disponibilização para a equipe de desenvolvimento de produto. Mesmo com a proposta do conjunto de procedimentos trazendo detalhes e abordando itens que eram atacados de forma superficial, o tempo despendido para a aplicação dos procedimentos é consideravelmente longo, impactando o desenvolvimento das soluções. Além disso, o conhecimento de pessoas experientes se faz necessário e existe uma dependência do engenheiro de suporte/reparo para auxiliar/indicar o que deve ser considerado, em relação à manutenção, durante o desenvolvimento do produto.

A novidade proposta pelo aplicativo computacional é a automatização de algumas etapas contidas no conjunto de procedimentos para criação da reserva de espaço, buscando a redução do tempo gasto na estruturação das reservas de espaço, redução do conhecimento prévio das pessoas experientes e redução da dependência do engenheiro de suporte/reparo. Isto torna o processo de alocação da manutenibilidade mais ágil e preciso. Além disso, a partir da proposta do aplicativo computacional, alocado no programa *SOLIDWORKS*, mesmo um projetista sem conhecimento em manutenção/reparo (apenas com conhecimento básico de ferramentas mecânicas) pode endereçar a manutenibilidade durante a modelagem dos sistemas. Sendo assim, o aplicativo acaba por liberar recursos, já que o projetista passa a ter uma independência maior de modelagem e verificações virtuais (análises de interferência e acessibilidade), permitindo que engenheiros de reparo/serviço atuem nos problemas de clientes dos produtos correntes e/ou outras atividades.

Outro aspecto relevante no estudo foi a integração de itens que eram estudados separadamente na literatura. Ou seja, o agrupamento de soluções isoladas como: i/ utilização de ferramentas mecânicas; ii/ utilização de elementos de fixação; iii/ aspectos ergonômicos; e iv/ reserva de espaço foi extremamente importante para considerar a manutenibilidade de uma forma clara e objetiva. Ao mesclar todos esses pontos em um único local e de fácil acesso, a equipe de desenvolvimento despenderá menos tempo para coletar essas informações e aplicar na alocação da manutenibilidade. Ou seja, o endereçamento da manutenção do produto e a verificação de acessibilidade aos componentes ocorrerão de uma forma pragmática e natural ao longo do desenvolvimento das soluções, tornando-se parte das atividades cotidianas do projetista.

Com isso, tanto o conjunto de procedimentos quanto o aplicativo computacional garantem a maturidade da abordagem da manutenibilidade durante a modelagem das soluções propostas pela equipe de desenvolvimento, permitindo o correto endereçamento da manutenção em etapas iniciais do PDP, uma vez que questões básicas como, utilização de ferramentas mecânicas, elementos de fixação, aspectos ergonômicos, reservas de espaço, entre outros, já estarão sendo considerados. Assim, reduz-se a necessidade de verificações tardias e evita-se problemas futuros em relação à manutenção do produto no campo.

Ao final, uma etapa de verificação das funcionalidades propostas para o aplicativo computacional foi realizada, na qual todas as funções necessárias e descritas foram implementadas. Além disso, esse trabalho foi validado com um grupo de pessoas experientes e com alto envolvimento no desenvolvimento do produto. Os procedimentos e o aplicativo tiveram uma excelente aceitação por parte dos participantes da validação que consideraram os resultados deste estudo úteis ou essenciais para a correta abordagem do parâmetro manutenibilidade durante o PDP.

Portanto, pode-se concluir que o conjunto de procedimentos e o aplicativo computacional propostos, têm condições de serem utilizados durante o PDP para sistemas mecânicos, pois permitem e auxiliam a equipe de desenvolvimento de produto a gerar soluções melhores no âmbito da manutenibilidade, considerando itens que eram, até então, abordados de forma superficial ao longo do desenvolvimento das soluções. Sendo assim, considera-se que os objetivos listados no capítulo 1 foram atingidos e endereçados ao longo de toda a dissertação.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta seção visa apresentar pontos a serem melhorados no conjunto de procedimentos e no aplicativo computacional sugerido para possíveis investigações futuras, bem como sugerir áreas para o avanço da manutenibilidade durante o PDP. Apesar dos avanços propostos por esse estudo para a correta alocação da manutenibilidade ao longo do PDP, ainda existem oportunidades de melhorias que devem ser abordadas em estudos futuros.

Validar o conjunto de procedimentos proposto quando da não utilização de ferramentas-padrão. Ou seja, quando existe a necessidade da utilização de ferramentas especiais, verificar se o conjunto de procedimentos proposto ainda é capaz de atender as necessidades. Mais um possível estudo futuro, é o aumento do banco de dados, uma vez que durante esse estudo utilizou-se uma quantidade reduzida de ferramentas mecânicas o que restringe o uso do aplicativo computacional. Sendo assim, aumentar a população do banco de dados com o aumento do quadro de ferramentas, tornará o aplicativo mais confiável e permitirá ao projetista, uma maior flexibilidade na escolha das soluções. Além disso, mitigar e estudar as limitações do conjunto de procedimentos apresentadas no capítulo 3 para que os procedimentos se tornem ainda mais robustos e atendam outras áreas da indústria.

Outro possível ramo para estudo futuro é a investigação do tamanho dos arquivos gerados por programas auxiliares e o desempenho computacional do aplicativo frente a esses arquivos. Um estudo relacionado ao melhor processo de conversão de arquivos poderá auxiliar nessa limitação. Uma questão importante é a adição de funções complementares ao aplicativo computacional, por exemplo, custo de mão-de-obra. Essas funções devem ser desenvolvidas para aprimorar a solução proposta pelo aplicativo, além de fornecer subsídios ao projetista na hora da modelagem do produto em desenvolvimento.

Por fim, endereçar outros aspectos ergonômicos para a empunhadura das ferramentas mecânicas. O estudo exposto nessa dissertação serve como base para o início das atividades. Porém, entende-se que existem outras formas de empunhar ferramentas e que podem variar de acordo com o tipo de ferramenta empregada.

PRODUÇÃO CIENTÍFICA NO PERÍODO (2011-2015)

MOSCHETO, Andre Diogo; CZIULIK, Carlos; JUNIOR, Simão Marcon; SULEVIS, Marcos. Publicação e apresentação oral do artigo: **Análise de Reserva de Espaço para a Manutenção em Componentes-chave em Bens de Capital**. 8º CBGDP – Congresso Brasileiro de Gestão em Desenvolvimento de Produtos. Porto Alegre, 2011.

REFERÊNCIAS

- 3DVIA. **Dassault Systemes**, 2015. Disponível em <http://www.3ds.com/products-services/3dvia/>. Acesso em 02 de janeiro de 2015.
- ABATE, A.F.; GUIDA, M.; LEONCINI, P.; NAPPI, M.; RICCIARDI, S. A Haptic-based Approach to Virtual Training for Aerospace Industry. **Journal of Visual Language Computer**, 20, p.318–325, 2009.
- ARNETTEA, A.A.; BREWERA, B.L.; CHOALB, T. Design for Sustainability (DFS): the Intersection of Supply Chain and Environment. **Journal of Cleaner Production**, Vol.83, p.374–390, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade – Terminologia. Rio de Janeiro, 1994, 3 p.
- BABYLON; **English-to-Portuguese Dictionary**, 2014. Disponível em: <http://www.babylon.com/define/116/English-to-Portuguese-Dictionary.html>. Acesso em: 04 de agosto de 2014.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; CARLOS DA SILVA, J. **Projeto Integrado de Produtos – Planejamento, Concepção e Modelagem**. São Paulo: Editora Manole, 2008.
- BARABADI, A.; BARABADY, J.; MARKESET, T. Maintainability Analysis Considering Time-dependent and Time-independent Covariates. **Journal Reliability Engineering and System Safety**, 96, p. 210–217, 2011.
- BAXTER, M. R. **Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de Novos Produtos**. 2ªed. São Paulo: Editora Blücher, 2005.
- BELZER. **Ferramentas mecânicas**, 2014 Disponível em: http://www.apextoolgroup.com.br/CatalogoCompleto_PDF/CatalogoCompleto.pdf. Acesso em: 28 de dezembro de 2014.
- BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J. **System Engineering and Analysis**. New Jersey: Prentice-Hall Inc, 2006.
- BLANCHARD, B. S.; VERMA, D.; PETERSON, E. L. **Maintainability: A Key To Effective Serviceability And Maintenance Management**. New York: John Wiley and Sons, INC, 1995.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P. **Design for Assembly – A Designer’s Handbook**. Amherst, University of Massachusetts, 1980.

BOOTHROYD, G.; ALTING, L. Design for Assembly and Disassembly. **Annals of the CIRP**, 41, p.625–636, 1992.

BRASIL, **Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho**. 2015. NR 17. Ergonomia. Disponível em: http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEFBAD7064803/nr_17.pdf. Acesso em: 05 de junho de 2015.

CEN/TC 319. Maintenance. Maintenance Terminology. **European Standard**. Bruxelles, 2010.

CHEN, L.; CAI, J. Using Vector Projection Method to Evaluate Maintainability of Mechanical System in Design Review. **Journal Reliability Engineering and System Safety**, 81, p.147–154, 2003.

CLARK, B. K.; FUJIMOTO, T. Product Development Performance: **Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry**. Boston, Harvard Business School Press, 1991.

COSTA, J. I. P. **Marketing: Noções básicas**. Florianópolis: Imprensa Universitária, 1987.

COULIBALY, A.; HOUSSIN, R.; MUTEL, B. Maintainability and Safety Indicators at Design Stage for Mechanical Products. **Journal Computers in Industry**, 59, p. 438-449, 2008.

COULIBALY, A.; MUTEL, B.; AIT-KADI, D. Product Modeling Framework for Behavioral Performance Evaluation at Design Stage. **Journal Computers in Industry**, 58, p. 567–577, 2007.

CHRISTENSEN, A.D.; BISHU, R. Hand Tool Design: Are Biomechanical Criteria the Same as Aesthetic Criteria? A Preliminary Study. **Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress**, p.564-577, 2000.

CHRISTIAND, J.; YOON, K.; KUMAR, P. A Novel Optimal Assembly Algorithm for Haptic Interface Applications of a Virtual Maintenance System. **Journal of Mechanical Science and Technology**, Vol. 23, 1, p. 183-194, 2009.

DELMIA. **Dassault Systemes**, 2015. Disponível em <http://www.3ds.com/products-services/delmia/>. Acesso em 02 de janeiro de 2015.

DE SÁ, A.G.; ZACHMANN, G. Virtual Reality as a Tool for Verification of Assembly and Maintenance Processes. **Journal Computers and Graphics**, Vol. 23, 1, p. 389-403, 1999.

DING, Y. Product Maintainability Design Method and Support Tool Based on Feature Model. **Journal Software Engineering and Applications**, 9, p.165-172, 2009.

DHILLON, B. S.; **Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance**. Houston: Gulf, 1999.

DOD-HDBK-791. Military Standardization Handbook. **Maintainability Design Techniques**, Washington, DC: U.S. Department of Defense, 1988.

DONG, Z.; LE, K.; CHUAN, L. A Virtual Reality Based Maintenance Time Measurement Methodology for Complex Products. **Assembly Automation**. Vol. 33, p. 221-230, 2013.

DUBBEL. **Handbook of Mechanical Engineering**. Mechanical Machine Components, 1st ed. Vol 1.London: Springer Verlag, 1994.

FEIGENBAUM, A.V.: **Total Quality Control**. 3.ed. Singapore: McGraw-Hill, 1983.

FERNANDO, T.; MARCELINO, L.; WIMALARATNE, P. Constraint Based Immersive Virtual Environment for Supporting Assembly and Maintenance Task. **Proceedings of Human Computer Interaction International**. Vol 1, p. 943-947, 2001.

GAOLIANG, P.; YU, H.; XINHUA, L.; YANG, J.; HE, X. A Desktop Virtual Reality Based Integrated System for Complex Product Maintainability Design and Verification. **Assembly Automation**, Vol. 30, p. 333 – 344, 2010.

GEDORE. **Ferramentas mecânicas**, 2014 Disponível em: http://www.gedore.com.br/arquivo/download/Catalogo_Gedore_2014-2015.pdf.

Acesso em: 28 de dezembro de 2014.

GUNGOR, A. Evaluation of Connection Types in Design for Disassembly (DFD) Using Analytic Network Process. **Journal Computers and Industrial Engineering**, 50, p.35–54, 2006.

HAO, J. P.; YU, Y.L.; XUE, Q. A Maintainability Analysis Visualization System and its Development under the AutoCAD Environment. **Journal of Materials Processing Technology**, 129, p. 277-282, 2002.

HORNGREN, C.; FOSTER, G.; DATAR, S. **Contabilidade de Custos**. São Paulo: LTC, 2000.

HUANG, G. Q.; **Design for X: Concurrent engineering imperatives**. London: Chapman & Hall, 1996.

IFES. **Elementos de Máquina – Mecânica**. Apostila: São Mateus. Gerência de ensino – Coordenadoria de recursos didáticos, 214p, 2011.

IPS. **Industrial Path Solutions**, 2014. Disponível em: <http://www.industrialpathsolutions.com>. Acesso em: 08 de agosto de 2014.

JURAN, J. **Quality Control Handbook**. New York: McGraw-Hill, 1974.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 2º ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

KIM, K.; WANG, Y.; MUOGBOH, O, S.; NNAJI, B, O. Design Formalism For Collaborative Assembly Design. **Journal Computer-Aided Design**, 36, p.849–871, 2004.

KOTLER, P. **Administração de Marketing**. São Paulo: Atlas, 1998.

KUO, T.; HUANG, S.H.; ZHANG, H. Design for Manufacture and Design for “X”: Concepts, Applications and Perspectives. **Journal Computers and Industrial Engineering**, 41, p.241-260, 2001.

LAMBERT, A. J. D.; GUPTA, S. M. **Disassembly Modeling for Assembly, Maintenance, Reuse, and Recycling**. Boca Raton: CRC Press, 2005.

LI, J.R.; KHOO, L.P.; TOR, S.B. Desktop Virtual Reality for Maintenance Training: An Object Oriented Prototype System (VREALISM). **Journal Computer in Industry**, 52, p.109–125, 2003.

MA, L.; CHABLAT, D.; BENNIS, F.; ZHANG, W.; HU, B.; GUILLAUME, F. Fatigue Evaluation in Maintenance and Assembly Operations by Digital Human Simulation in Virtual Environment. **Virtual Reality**, 15, p.55–68, 2011.

- MIL-HDBK-470A. **Military Standardization Handbook. Designing and Developing Maintainable Products and Systems**, Washington, DC: U.S. Department of Defense, 1997.
- MONTGOMERY, C. A.; PORTER, M. E. **Estratégia: a Busca da Vantagem Competitiva**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1998.
- MOSCHETO, A. D. **Desenvolvimento de um Conjunto de Diretrizes e Ferramenta Computacional para Endereçar o Parâmetro de Manutenibilidade no PDP**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2009.
- MOSCHETO, A. D.; CZIULIK, C.; SULEVIS, M.; JUNIOR, S.M. Análise de Reserva de Espaço para a Manutenção em Componentes-chave em Bens de Capital. **Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto**. Porto Alegre, 8º edição, set. 2011.
- MURRAY, N.; FERNANDO, T. An Immersive Assembly and Maintenance Simulation Environment. **Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications**, 4, p.1550–6525, 2004.
- NASA. NASA TM 4628A. **Recommended Techniques for Effective Maintainability: A Continuous Improvement Initiative of the NASA Reliability and Maintainability Steering Committee**, 105 f, 1994.
- PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design. A Systematic Approach** 2nd ed. London: Springer Verlag, 1996.
- PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. **Projeto na Engenharia**. 6º ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- PALLEROSI, C. A. **Confiabilidade, A Quarta Dimensão da Qualidade – Manutenibilidade e Disponibilidade**. Vol. 5, São Paulo: ReliaSoft Brasil, 2007.
- PENG, G.; HOU, X.; GAO, J.; CHENG, D. A Visualization System for Integrating Maintainability Design and Evaluation at Product Design Stage. **International Journal of Advanced Manufacture Technology**, 61, p.269–284, 2012.
- PMBOK. **Um Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos**. (Guia PM-BOK) Newtown Square: Project Management Institute, Inc., 2004.

POLI, C.; KNIGHT, W. A. Design for Forging Handbook. **Technical Report**. Mechanical Engineering Department. Amherst, University of Massachusetts, 1984.

POPESCU, D.; IACOB, R. Disassembly Method Based on Connection Interface and Mobility Operator Concepts. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. Vol. 69, p.1511-1525, 2013.

PROJETOS MECÂNICOS. **Normas de parafusos** Disponível em: <http://projetosmecanicos.wordpress.com/2011/11/16/normas-de-parafusos/>. Acesso em: 27 de dezembro de 2014.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência Para a Melhoria do Processo**. São Paulo: Editora Saraiva. 2006.

SAKURAI, M. **Gerenciamento Integrado de Custos**. São Paulo: Atlas, 1997.

SAÚDE. **Ferramentas manuais, 2014**. Disponível em: http://www.saudeetrabalho.com.br/download_2/ferramentas-manuais.ppt. Acesso em: 15 de dezembro de 2014.

SENAI. **Ferramentas e Seus Acessórios – Mecânica**. Espírito Santo: SENAI / CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão), 68p, 1996.

SCARR, A.J. Product Design for Automated Manufacture and Assembly. **Annals of CIRP**, 35, p 1-5, 1986.

SLAVILLA, C.; DECREUSE, C.; FERNEY, M. Fuzzy Approach for Maintainability Evaluation in the Design Process. **Concurrent Engineering: Research and Applications**, Vol. 13, 4, p.291-300, 2005.

SMITH, R. P. The Historical Roots of Concurrent Engineering Fundamentals. **IEEE Transactions on Engineering Management**, Vol. 44, p.67-78, 1997.

SODHI, R.; SONNENBERG, M.; DAS, S; Evaluating the Unfastening Effort in Design for Disassembly and Serviceability. **Journal of Engineering Design**, 15, p.69-90, 2004.

SOLIDWORKS. **Dassault Systemes**, 2015. Disponível em www.solidworks.com. Acesso em 02 de janeiro de 2015.

SONNENBERG, M. Force and Effort Analysis of Unfastening Actions in Disassembly Processes. 227f. Ph.D. thesis, New Jersey Institute of Technology, 2001.

SPRAGUE, R. A.; SINGH, K.J.; WOOD, R.T. Concurrent Engineering in Product Development. **IEEE Design and Test of Computers**, vol. 8, p.6-13, 1991.

TAKAHASHI, S.; TAKAHASHI, V. P. **Gestão de Inovação de Produtos: Estratégia, Processo, Organização e Conhecimento**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2007.

TOOL MIX. **Ferramentas mecânicas**, 2014. Disponível em: <http://www.toolmix.com.br/catalogo/> Acesso em: 28 de dezembro de 2014.

TRAMONTINA. **Ferramentas mecânicas**, 2014. Disponível em: <http://tramontinapro.com.br/public/downloads/catalogo-pro-2014-completo.pdf>.

Acesso em: 28 de dezembro de 2014.

ULRICH, K.T.; EPPINGER, S.D. **Product Design and Development**. International Edition, Boston: McGraw-Hill, 2000.

VALERI, S. G.; TRABASSO, L. G. Desenvolvimento Integrado do Produto: Uma Análise dos Mecanismos de Integração das Ferramentas DFX. **Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produtos**, Gramado, 4^o edição, out. 2003.

VILLALBA, G.; SEGARRA, M.; CHIMENOS, J. M.; ESPIEL, F. Using the Recyclability Index of Materials as a Tool for Design for Disassembly. **Journal of Ecological Economics**, 50, p.195–200, 2004.

WANI, M. F.; GANDHI, O. P. Development of Maintainability Index for Mechanical Systems. **Reliability Engineering and System Safety**, 65, p.259-270, 1999.

WARNECK, H. J.; BASSLER, R. Design for Assembly – Part of the Design Process. **Annals of CIRP**, vol 37, issue 1, p 1-4, 1988.

WU, X.; LI, Y.; ZHANG, C.; MU, G. Research on the Maintainability Analysis and Verification Methods of Armored Equipment Based on Virtual Reality Technology. **9th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety**, p 866-869, 2011.

ZHOU, D.; JIA, X.; LY, C.; KANG, L. Using the Swept Volume to Verify Maintenance Space in Virtual Environment. **Assembly Automation**. Vol. 34, p. 192 – 203, 2014.

ZIMMERMAN, T.; BERGSJÖ, D.; MALMQVIST, J. Coordinating the Engineering and Aftermarket Disciplines in Early Phases of Product Development. **Nordic Conference on Product Life Cycle Management**, 1st, Gotemburgo, jan. 2006.

APÊNDICE A – ELEMENTOS DE FIXAÇÃO

Essa Figura apresenta os alguns elementos de fixação utilizados. Além disso, é sincronizada com a Tabela 2 na qual são apresentados os tempos relacionados a esses elementos.

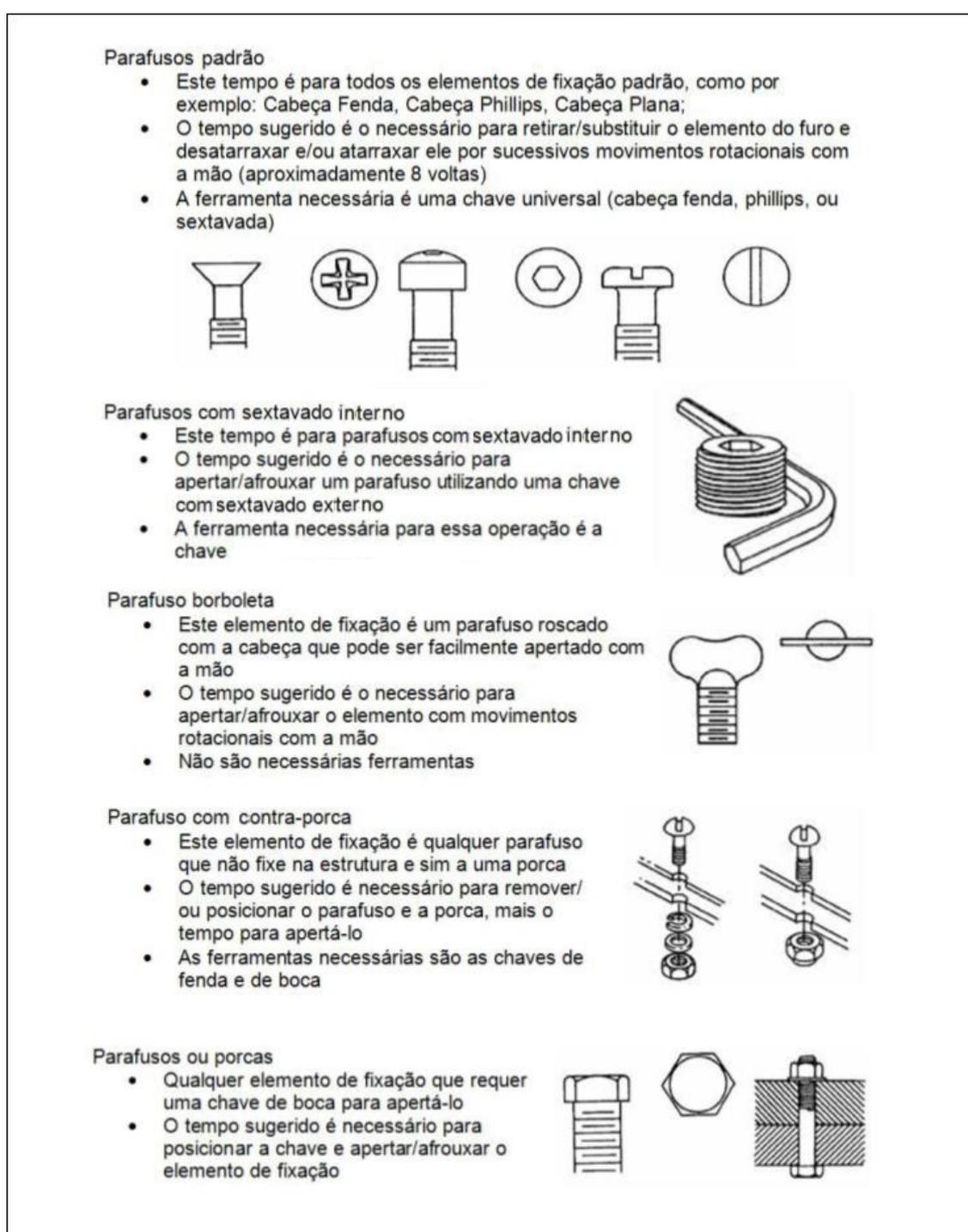


Figura 46 – Exemplos de elementos de fixação

Fonte: Adaptado de MIL-HDBK-470A (1997).

APÊNDICE B – GRUPOS DE PARAFUSOS

Essa Figura visa apresentar os grupos de parafusos e as suas representações esquemáticas das aplicações.

Descrição	Ilustração
Parafusos passantes	
Parafusos Não-passantes	
Parafusos de pressão	
Parafusos prisioneiro	

Figura 47 – Grupos de parafusos
 Fonte: Adaptado de IFES (2011).

APÊNDICE C – CARACTERÍSTICAS DOS PARAFUSOS

Essa Figura visa apresentar algumas das principais características dos parafusos, como: i/ forma da cabeça; ii/ formato do corpo; iii/ formato da ponta; e iv/ dispositivos de atarraxamento.

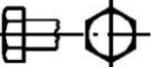
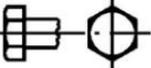
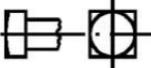
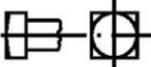
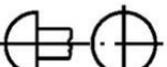
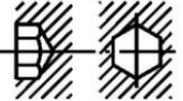
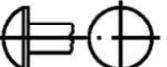
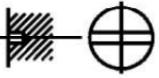
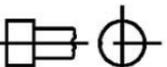
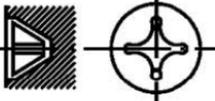
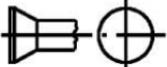
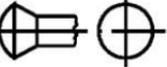
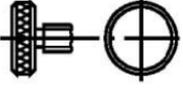
Formas de cabeça	Formatos do corpo	Pontas	Dispositivos de atarraxamento
 sextavada	 com a parede roscada de diâmetro igual ao da não roscada	 cônica	 sextavado
 quadrada	 com a parede roscada de diâmetro maior que o da não roscada	 arredondada	 quadrado
 redonda		 plana com chanfro	 sextavado interno
 abaulada		 plana	 fenda
 cilíndrica		 fenda cruzada	
 escareada		 borboleta	
 escareado abaulada		 recartilhado	

Figura 48 – Características dos tipos de parafusos
 Fonte: IFES (2011).

APÊNDICE D – TIPOS DE PARAFUSOS

Essa Figura visa apresentar os principais tipos de parafusos encontrados no mercado. Cabe ressaltar a grande variedade de tipos e formatos dos componentes.

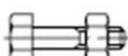
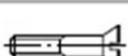
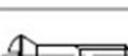
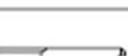
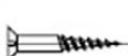
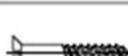
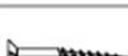
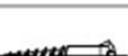
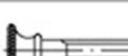
 parafuso sextavado		 parafuso sextavado com rosca total	
 parafuso sextavado com porca		 parafuso auto-atarraxante de cabeça sextavada	
 parafuso de cabeça cilíndrica com sextavado interno			
 parafuso de cabeça quadrada			
 parafuso de cabeça cilíndrica com fenda		 parafuso de cabeça redonda com fenda	
 parafuso de cabeça cilíndrica abaulada com fenda		 parafuso de cabeça escareada com fenda	
 parafuso de cabeça escareada abaulada com fenda		 parafuso sem cabeça com fenda	
 parafuso para madeira de cabeça escareada com fenda		 parafuso sem cabeça com rosca total e fenda	
 parafuso tipo prego de cabeça escareada			
 parafuso de cabeça panela com fenda cruzada		 parafuso de cabeça escareada com fenda cruzada	
 parafuso de cabeça redonda com fenda cruzada		 parafuso de cabeça escareada abaulada com fenda cruzada	
 parafuso para madeira de cabeça escareada com fenda cruzada		 parafuso para madeira de cabeça escareada abaulada com fenda cruzada	
 prisioneiro			
 parafuso de cabeça recartilhada			
 parafuso borboleta			

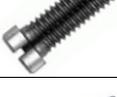
Figura 49 – Tipos de parafusos

Fonte: IFES (2011).

APÊNDICE E – NORMA ISO VERSUS NORMA DIN

Essa Tabela visa apresentar a correlação entre as normas *ISO* e *DIN*, bem como apresentar uma representação dos elementos contidos nessas normas.

Tabela 12 – Correlação entre norma *ISO* versus *DIN*

ISO	DIN	Descrição	Figura
-	906	Parafuso bujão (com plug hexagonal interno (<i>Allen</i>))	
-	908	Bujão rosca BSP e métrica	
-	910	Bujão	
4762	912	Parafuso cabeça cilíndrica com hexagonal interno (<i>Allen</i>) rosca <i>ISO</i>	
4026	913	Parafuso cabeça cilíndrica com hexagonal interno (<i>Allen</i>) sem cabeça	
-	920	Parafuso cabeça com fenda	
-	923	Parafuso com cabeça com fenda com ombros.	
4014	931	Parafuso cabeça sextavada	
	933 Sz	Parafuso sextavado com fenda	
-	938	Prisioneiro com rosca parcial	
2009	963 A	Parafuso cabeça chata com fenda	
7046	965 A	Parafuso cabeça chata com fenda Philips	
EN 1665	6921	Parafuso flangeado	

Fonte: Adaptado de *Projetos Mecânicos (2014)*

APÊNDICE F – FERRAMENTAS DE APERTO

Essa Figura apresenta as principais ferramentas de aperto utilizadas na indústria automotiva. São consideradas como ferramentas básicas devido a sua versatilidade e facilidade de utilização.

Descrição	Ilustração
Chave de boca fixa simples	
Chave combinada (de boca e c	
Chave de boca regulável	
Chave allen	
Chave radial ou de pinos	
Chave soquete	
Chave de fenda/philips	
Torquímetro	

Figura 50 – Ferramentas de aperto
 Fonte: Adaptado de SENAI (1996)

APÊNDICE G – DEMONSTRAÇÃO DO CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS

Esse Apêndice apresentará as Figuras referentes à demonstração do conjunto de procedimentos proposto contido na seção 3.3.

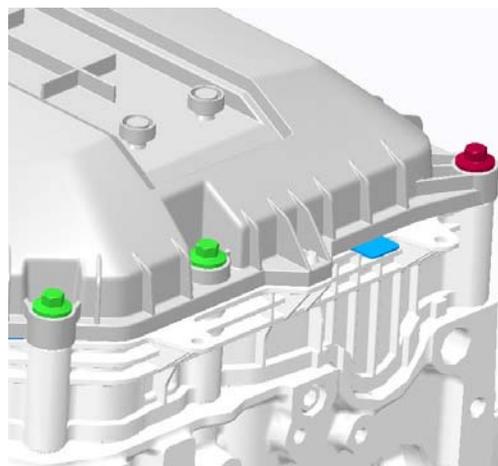
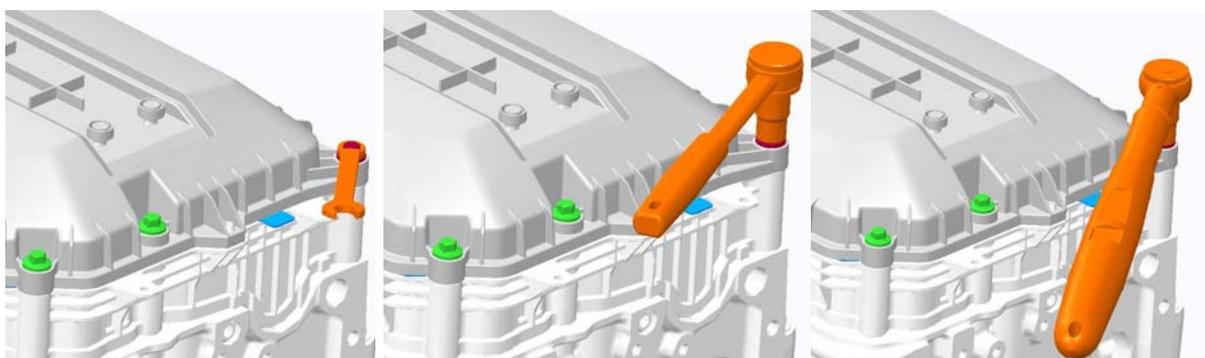


Figura 51 – Elementos de fixação definidos – Etapa 2

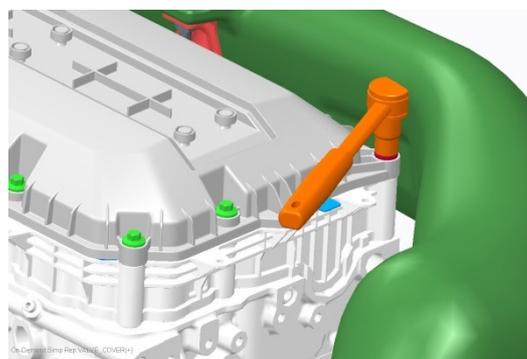


a/ chave combinada

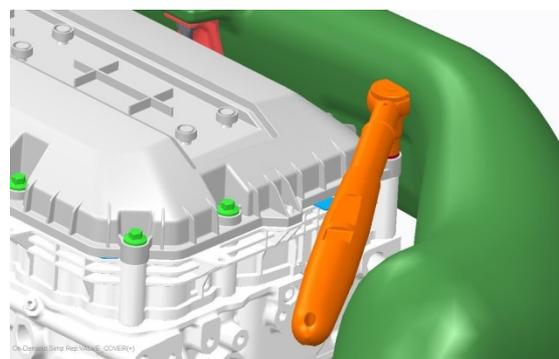
b/ catraca – soquete

c/ torquímetro

Figura 52 – Seleção das ferramentas – Etapa 3

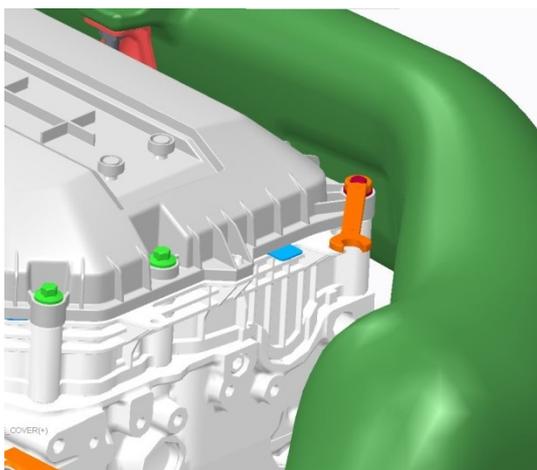


a/ catraca – soquete

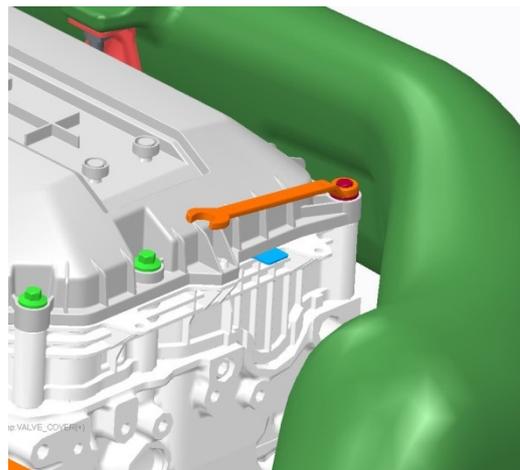


b/ torquímetro

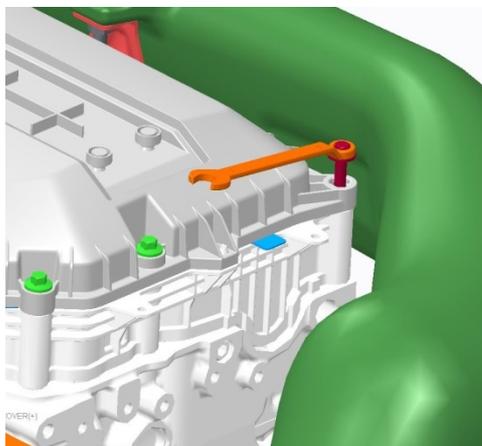
Figura 53 – Interferência entre as ferramentas e a tubulação



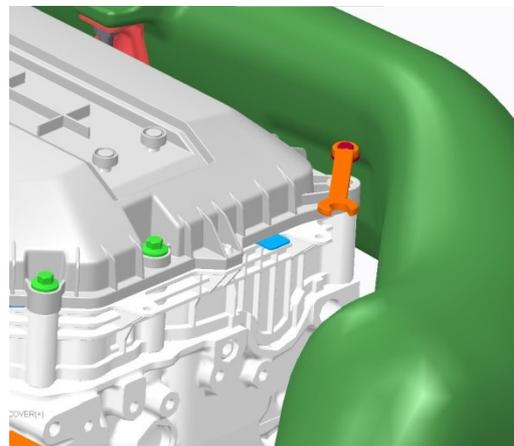
a/ posição inicial 1



b/ posição final 1



c/ posição inicial 2



d/ posição final 2

Figura 54 – Movimentação da ferramenta – Etapa 3

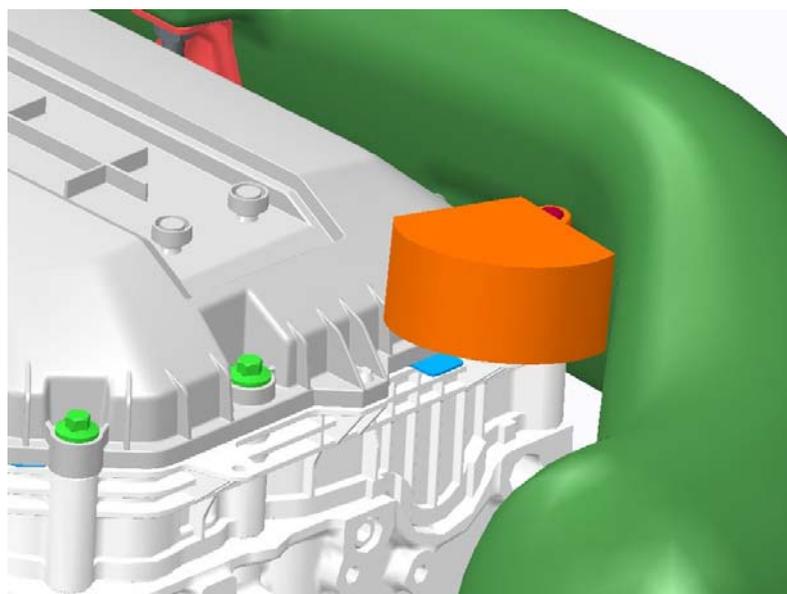


Figura 55 – Consideração dos aspectos ergonômicos – Etapa 4

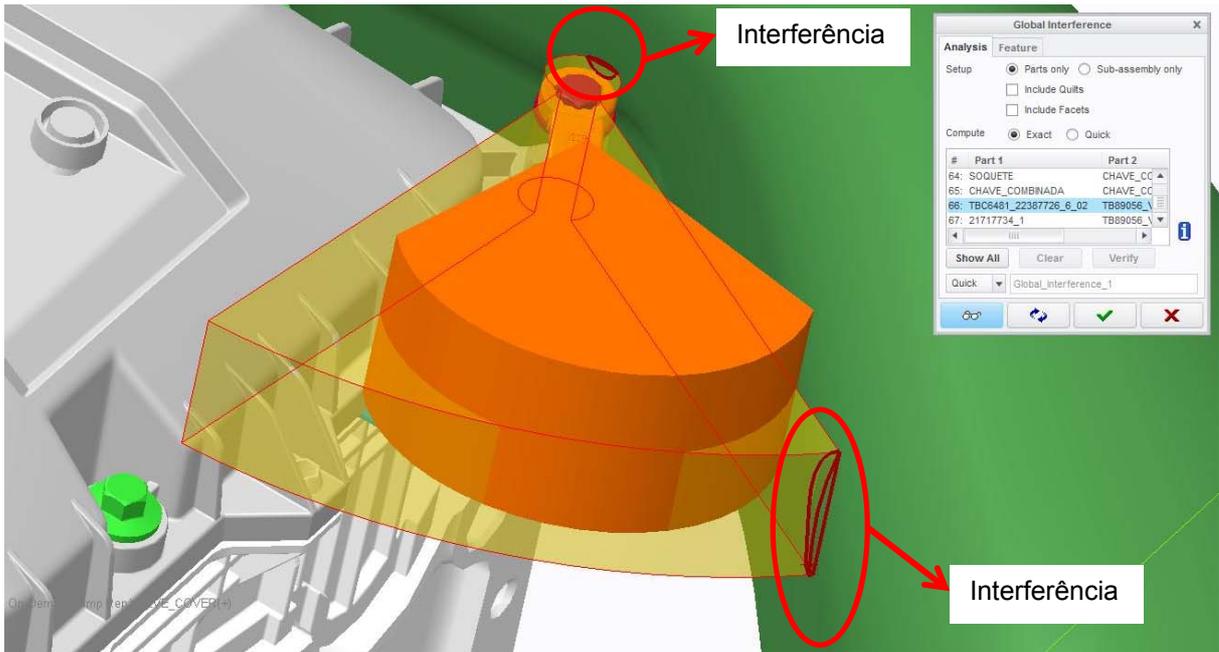


Figura 56 – Reserva de espaço gerada apresentando as interferências

APÊNDICE H – DEMONSTRAÇÃO DO APLICATIVO COMPUTACIONAL

Esse Apêndice apresentará as Figuras referentes à demonstração do aplicativo computacional contido na seção 3.3

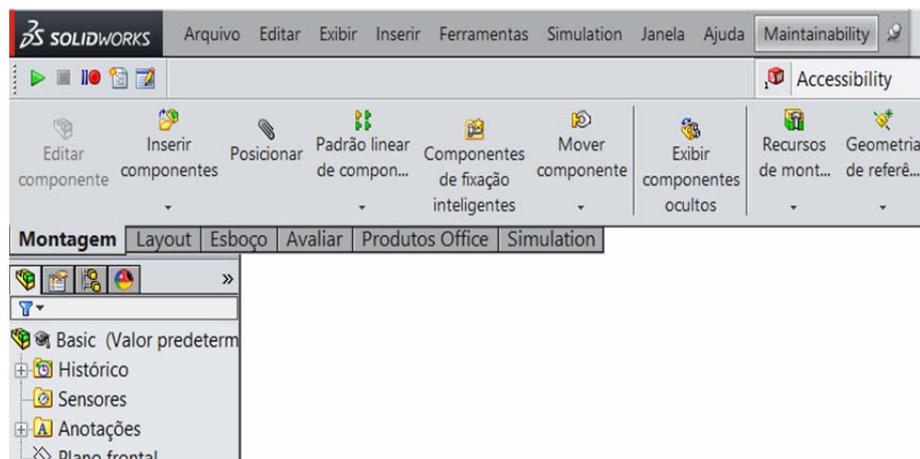


Figura 57 – Tela inicial do programa SOLIDWORKS com a aba do aplicativo computacional.

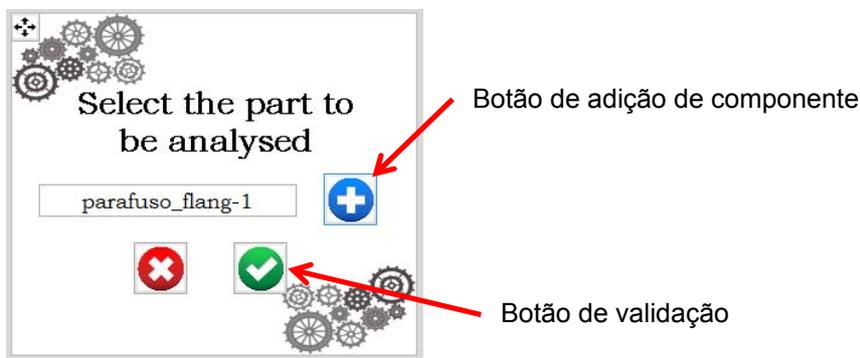


Figura 58 – Seleção de componentes

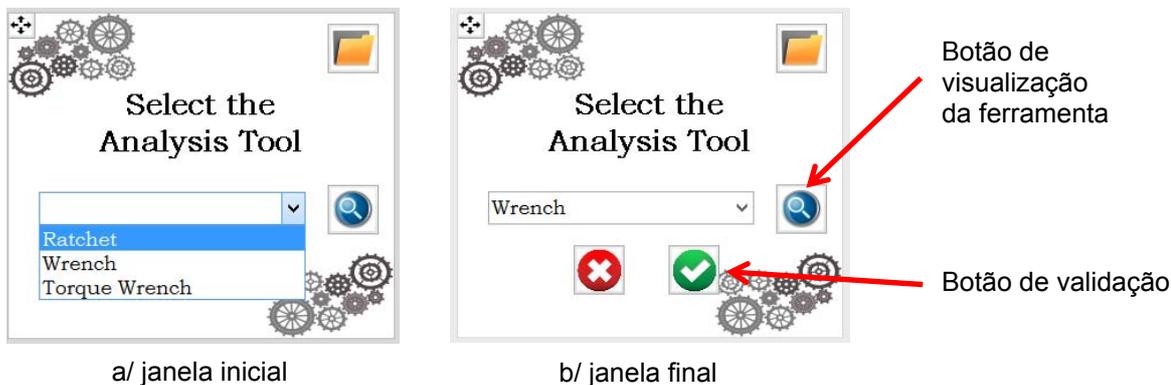


Figura 59 – Seleção das ferramentas mecânicas

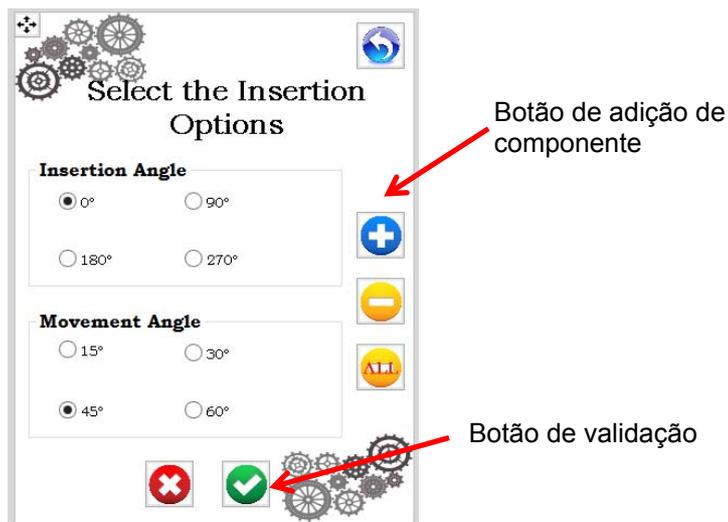


Figura 60 – Seleção dos parâmetros de movimentação

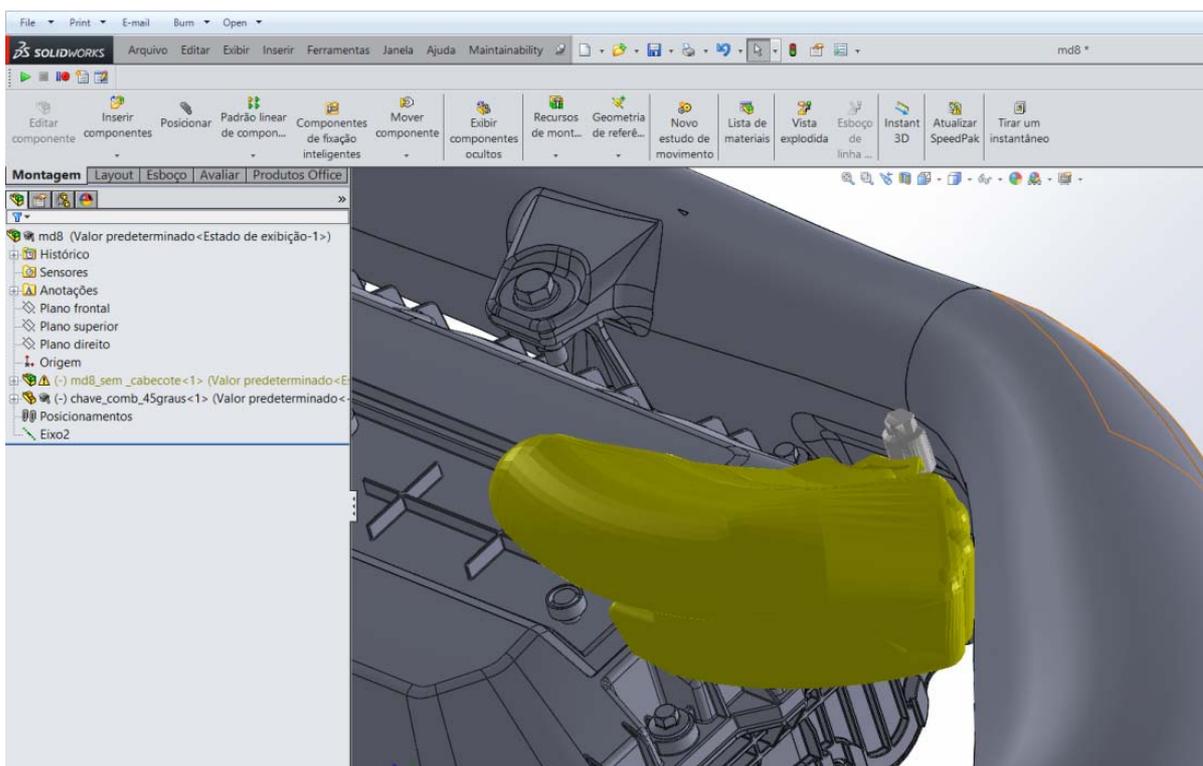


Figura 61 – Reserva de espaço inserida no modelo de estudo



Figura 62 – Verificação do tempo de reparo

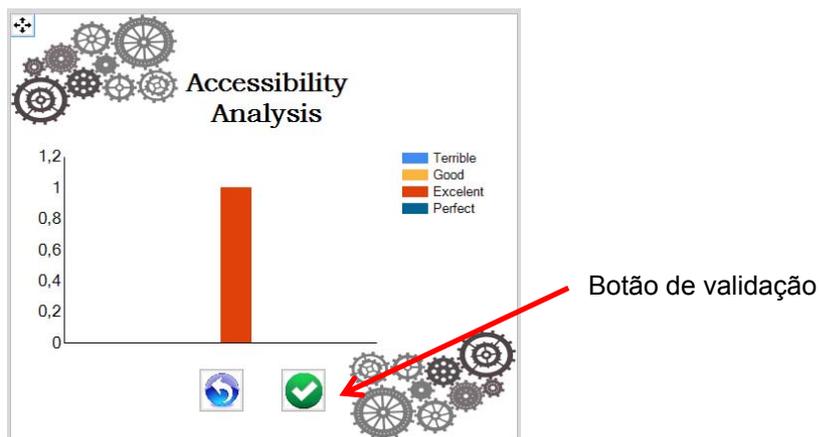


Figura 63 – Resultado da acessibilidade

APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO PARA A VALIDAÇÃO DO CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS

Este questionário teve como objetivo coletar a percepção dos participantes sobre a validação do conjunto de procedimentos proposto. Está estruturado em duas seções:

1. Seção de identificação dos entrevistados: com foco na definição do perfil dos participantes;
2. Seção de avaliação do conjunto de procedimentos proposto: busca captar as percepções dos participantes sobre o uso e a utilidade do conjunto de procedimentos para alocação da manutenibilidade.



Ministério da Educação

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais

VALIDAÇÃO DO CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS

Identificação dos entrevistados

Idade: _____ Departamento: _____

Cargo: _____

Formação: _____

Tempo de empresa: _____ Tempo atuando no mercado: _____

Departamento atual: _____

Além do cargo atual, já exerceu algum dos outros cargos listados acima? Qual?

R: _____

Avaliação do conjunto de procedimentos

1. Qual é o seu grau de atuação em projetos de desenvolvimento do produto?

- Nenhum.
- Somente nas fases iniciais do desenvolvimento do produto.
- Atuo em todo o desenvolvimento do produto representando os interesses da função que desempenho.
- Somente em revisões de conceitos.
- Outro: _____

2. Como a manutenibilidade é aplicada na sua empresa?

- De forma empírica e genérica.
- Por meio da experiência de poucos, sem um processo robusto que suporte o endereçamento.
- De forma sistemática, via processo e dentro do processo de desenvolvimento de produto.
- Outros. Como? _____

3. Você considera que o aspecto da manutenibilidade é avaliado no desenvolvimento de produtos correntes na sua empresa?

- Sim.
- Não. Por quê? _____

4. Em sua opinião, o conjunto de procedimentos proposto contempla todas as fases de criação de uma reserva de espaço, auxilia em sua confecção e suporta a análise futura?

- Sim.
- Não. Por quê? _____

5. Você acredita que o conjunto de procedimentos proposto é dependente do conhecimento prévio de pessoas experientes?

- Sim.
- Não. Por quê? _____

6. Em sua opinião, o conjunto de procedimentos proposto é relativamente rápido de ser aplicado?

Sim.

Não. Por quê? _____

7. Pelo que foi apresentado, você considera que o conjunto de procedimentos proposto reflete a realidade?

Sim.

Não. Que etapas deveriam ser removidas/adicionadas para que o conjunto de procedimentos proposto reflita a realidade?

8. Você entende que o conjunto de procedimentos proposto auxilia a equipe de desenvolvimento a gerar produtos melhores sob a ótica da manutenibilidade?

Sim.

Não. Por quê? _____

9. Qual seria o grau de utilidade deste conjunto de procedimentos na inclusão da manutenibilidade no desenvolvimento do produto?

[1] Inútil

[2] Pouco útil

[3] Útil

[4] Muito útil

[5] Essencial

[]. Por quê?

10. Existe alguma etapa no conjunto de procedimentos proposto que deva ser desenvolvida para contemplar a manutenibilidade no desenvolvimento conceitual do produto?

Sim. Qual? _____

Não.

Caso você deseje fazer algum comentário adicional, críticas ou sugestões. Por favor, utilize este espaço:

APÊNDICE J – QUESTIONÁRIO PARA A VALIDAÇÃO DO APLICATIVO COMPUTACIONAL

Este questionário teve como objetivo coletar a percepção dos participantes sobre a validação do aplicativo computacional. Está estruturado em duas seções:

1. Seção de identificação dos entrevistados: com foco na definição do perfil dos participantes;
2. Seção de avaliação do aplicativo computacional: busca captar as percepções dos participantes sobre o uso e a utilidade do aplicativo computacional para endereçar a manutenibilidade por meio das reservas de espaço.



Ministério da Educação

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais

VALIDAÇÃO DO APLICATIVO COMPUTACIONAL

Identificação dos entrevistados

Idade: _____ Departamento: _____

Cargo: _____

Formação: _____

Tempo de empresa: _____ Tempo atuando no mercado: _____

Departamento atual: _____

Além do cargo atual, já exerceu algum dos outros cargos listados acima? Qual?

R: _____

Avaliação do aplicativo computacional

1. Em sua opinião, o aplicativo computacional contém as etapas do conjunto de procedimentos proposto?

Sim.

Não. Por quê? _____

2. Você considera que o aplicativo computacional desenvolvido auxilia os projetistas a endereçarem a manutenibilidade durante o desenvolvimento do produto?

Sim.

Não. Por quê? _____

3. Pelo que foi apresentado, você considera que o aplicativo computacional proposto, é de fácil utilização?

Sim.

Não. Que medidas poderiam ser adotadas para que o aplicativo se torne mais “amigável”? _____

4. Em sua opinião, o aplicativo computacional auxilia a equipe de desenvolvimento a gerar produtos melhores sob a ótica da manutenibilidade?

Sim.

Não. Por quê? _____

5. Você acredita que o aplicativo proposto possa facilitar a comunicação entre projetistas e engenheiros de serviço/suporte ao produto?

Sim.

Não. Por quê? _____

6. Qual seria o grau de utilidade deste aplicativo na inclusão da manutenibilidade no desenvolvimento do produto?

[1] Inútil

[2] Pouco útil

- [3] Útil
- [4] Muito útil
- [5] Essencial
- []. Por quê?

7. Existe alguma função adicional no aplicativo computacional que deva ser desenvolvida para contemplar a manutenibilidade no desenvolvimento conceitual do produto?

- Sim. Qual? _____
- Não.

Caso você deseja fazer algum comentário adicional, críticas ou sugestões. Por favor, utilize este espaço:

8. Fazendo um comparativo com o conjunto de procedimentos proposto, qual a sua opinião sobre o aplicativo computacional desenvolvido?
