

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CURITIBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE
MATERIAIS

OTÁVIO GOBBO JUNIOR

**MÉTODO PARA ORIENTAÇÃO DO PROJETO À SERVICIBILIDADE
DURANTE AS FASES INICIAIS DO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA
2019

OTÁVIO GOBBO JUNIOR

**MÉTODO PARA ORIENTAÇÃO DO PROJETO À SERVICIBILIDADE
DURANTE AS FASES INICIAIS DO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica – Área de concentração: Engenharia de Manufatura.

Orientador: Prof. Milton Borsato, Ph. D.

CURITIBA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Gobbo Junior, Otávio

Método para orientação do projeto à servicibilidade durante as fases iniciais do processo de desenvolvimento de produto [recurso eletrônico] / Otávio Gobbo Junior.-- 2019.

1 arquivo texto (136 f.): PDF; 5,29 MB.

Modo de acesso: World Wide Web

Título extraído da tela de título (visualizado em 16 maio 2019)

Texto em português com resumo em inglês

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, 2019

Bibliografia: f. 94-100

1. Engenharia mecânica - Dissertações. 2. Produtos novos. 3. Projeto de produto. 4. Ciclo de vida do produto. 5. Manutenibilidade (Engenharia). 6. Pesquisa operacional. 7. Sistema CAD/CAM. I. Borsato, Milton. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. III. Título.

CDD: Ed. 23 – 620.1

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba
Bibliotecário: Adriano Lopes CRB-9/1429

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 352

A Dissertação de Mestrado intitulada: **MÉTODO PARA ORIENTAÇÃO DO PROJETO À SERVICIBILIDADE DURANTE AS FASES INICIAIS DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO**, defendida em sessão pública pelo Candidato **Otávio Gobbo Junior**, no dia 28 de fevereiro de 2019, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração: Engenharia de Manufatura, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Milton Borsato - Presidente - UTFPR

Prof. Dr. Aguinaldo dos Santos - UFPR

Prof. Dr. Carlos Cziulik - UTFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, ____ de _____ de 20__.

Carimbo e assinatura do Coordenador do Programa

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me deu saúde e força para concluir essa etapa importante da minha formação.

A UTFPR, local onde realizei o sonho de me graduar e me tornar Mestre em Engenharia Mecânica.

Aos docentes e servidores que participaram da minha formação. Certamente levo comigo, além do conhecimento, boas referências para minha vida.

Ao meu orientador Milton Borsato pelo suporte, conselhos e paciência para me auxiliar no desenvolvimento deste trabalho.

A Fundação Araucária e Renault do Brasil pelo período de bolsa oferecida. Apesar do trabalho junto a Renault ter ocorrido em paralelo a essa dissertação, o período da parceria foi valioso.

A minha família pelo apoio em todos os momentos, mesmo que distante. Sou privilegiado em tê-los como suporte.

Aos meus amigos pelo companheirismo e incentivo, em especial, as novas amizades construídas nesse período.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram com esse percurso, o meu muito obrigado.

RESUMO

GOBBO JUNIOR, Otávio. **Método para orientação do projeto à servicibilidade durante as fases iniciais do processo de desenvolvimento de produto.** 2019.

137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

No Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), diversos fatores devem ser levados em consideração. Além dos requisitos do cliente, deve-se considerar os demais atores que irão intervir durante todo o ciclo de vida do produto. Nessa reflexão inclui-se a realização de serviços. Projetar um produto com características que facilitem a intervenção de serviços exige a consideração pelo projetista de conhecimentos muitas vezes dispersos em materiais físicos, ou de forma implícita na experiência de profissionais lotados em diversos setores. Observa-se, então, após consulta a literatura e a trabalhos realizados, a existência de uma lacuna no sentido de oferecer uma abordagem inovadora para orientação do projeto à servicibilidade, dentro do conceito de *Design for Serviceability* (DFS). Para isso, propõe-se um método para guiar os projetistas na tomada de decisões nas fases iniciais de desenvolvimento. Para estruturar o trabalho de pesquisa, a abordagem metodológica *Design Science Research* (DSR) foi adotada, a qual abrange etapas de identificação do problema, definição dos objetivos, desenvolvimento, demonstração da solução, avaliação, e por fim, documentação e comunicação da pesquisa. A solução foi um método que consiste no levantamento dos requisitos para alimentação de uma base de dados, na criação de diagramas em SysML, e acompanhamento dentro de sistema CAD através de ferramentas adicionais desenvolvidas para este fim. Esta solução oferece a possibilidade de consulta a diagramas em SysML, consulta e inserção de requisitos em base de dados e a criação de envelope de acesso para preservar o espaço necessário para o uso das ferramentas necessárias para o serviço. A base de dados é tratada como um *backbone*, pois deve comunicar com todos os demais componentes da solução. A demonstração do método foi realizada no contexto de desenvolvimento de um motor a combustão automotivo. Ao final, nove profissionais participaram da avaliação da solução, cujo resultados foram considerados satisfatórios. Desta forma, concluiu-se que o método poderá ser uma alternativa aos projetistas para guiar seus projetos à servicibilidade. Ganhos como redução de tempo, custo e melhoria de fatores humanos durante a realização de serviços poderão ser alcançados.

Palavras-chave: Desenvolvimento de Produtos, *Design for Serviceability*, Requisitos, SysML.

ABSTRACT

GOBBO JUNIOR, Otávio. **Method for guiding the design to serviceability during the early stages of the product development process**. 2019. 137 f. Dissertation (Master Degree in Mechanical Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Curitiba, 2019.

In the Product Development Process (PDP), several factors should be taken into account. In addition to customer requirements, other actors involved throughout the product life cycle should be considered. This reflection includes the achievement of services. Create a product with features that facilitate the intervention of any service, requires the consideration by designers of knowledge often dispersed in physical materials, or implicitly in the experience of professionals from various departments. It was observed, after consulting the literature and works previously carried out, the existence of a gap for an innovative approach to project orientation to serviceability, within the concept of Design for Serviceability (DFS). For this, a method is proposed to guide the designers in the decision making in the initial stages of development. To structure the research, a methodological procedure called Design Science Research (DSR) was adopted, covering the stages of problem identification, definition of objectives, method development, solution demonstration, evaluation, and finally, research documentation and communication. The solution was the development of a method that consists in surveying the requirements for feeding a database, creating SysML diagrams, and monitoring within the CAD system through tools developed for this purpose. These tools offer the possibility of querying the diagrams in SysML, querying and inserting requirements into the database, and creating access envelope to preserve the space required for the use of tools. This database is treated as a data backbone, because it must communicate with all steps. The demonstration of the method was carried out in the context of the development of an automotive combustion engine. At the end, nine professionals participated in the evaluation, whose results were considered satisfactory. In this way, was concluded that the method could be an alternative to designers to guide their designs to serviceability. Gains such as reduction of time, cost and improvement of human factors during the performance of services can be achieved.

Keywords: Product development, Design for Serviceability, Requirements, SysML.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da fundamentação teórica	21
Figura 2 - Visão geral do Processo de Desenvolvimento de Produto.....	23
Figura 3 - Formas de representação do conhecimento	26
Figura 4 - Formação da lista de requisitos a partir de sub-requisitos de cada departamento	27
Figura 5 - Evolução da informação na fase de projeto informacional	29
Figura 6 - Sistemas computacionais de apoio ao ciclo de vida	30
Figura 7 - Surgimento dos sistemas de apoio ao PDP ao longo do tempo	32
Figura 8 - Semântica entre os diagramas SysML.....	34
Figura 9 - Taxonomia dos diagramas SysML	34
Figura 10 - Esquema de transformação do modelo SysML.....	35
Figura 11 - Exemplo de modelo entidade-relacionamento	39
Figura 12 - Requisitos durante o ciclo de vida do produto.....	40
Figura 13 - Motor de passo antes e depois de uma análise de DFA	42
Figura 14 - Abrangência dos diferentes termos relacionados ao DFS	43
Figura 15 - Espaço de trabalho necessário para algumas posturas (em cm).....	48
Figura 16 - Espaço requerido para o uso de algumas ferramentas em janelas de acesso (em cm).....	48
Figura 17 - Espaço requerido para o uso de algumas ferramentas universais (em cm)	49
Figura 18 - Fases da abordagem DSR.....	53
Figura 19 - Síntese do método proposto	55
Figura 20 - Método proposto	59
Figura 21 - Modelo entidade-relacionamento do banco de dados.....	61
Figura 22 - Diagramas SysML sugeridos para representar o serviço e o produto....	64
Figura 23 - Referências padrão e adicionadas no SolidWorks.....	66
Figura 24 - Barra de ferramentas personalizada	66
Figura 25 - Ferramenta de consulta aos diagramas SysML	67
Figura 26 - Ferramenta para inserir requisitos.....	68
Figura 27 - Ferramenta para consulta de requisitos	69
Figura 28 - Ferramenta para criar envelope de acesso.....	70
Figura 29 - Diagrama de pacotes	73

Figura 30 - Diagrama de definição de blocos	74
Figura 31 - Diagrama de casos de uso.....	75
Figura 32 - Diagrama de sequência	77
Figura 33 - Diagrama de atividade	78
Figura 34 - Diagrama de requisitos para hierarquização	79
Figura 35 - Diagrama de requisitos para a troca de óleo e filtro	80
Figura 36 - Consulta aos requisitos	82
Figura 37 - Janela de início da ferramenta para criar envelope.....	83
Figura 38 - Localização do parafuso selecionado para criação do envelope	83
Figura 39 - Resultado do envelope criado	84
Figura 40 - Envelope criado com a ferramenta inserida	84
Figura 41 - Fases do processo ProKnow-C.....	101
Figura 42 - Quantidade de artigos pelo ano de publicação	104
Figura 43 - Reconhecimento científico dos artigos pelo número de citações	104
Figura 44 - Aderência das palavras-chave	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sistemas de apoio ao ciclo de vida	31
Quadro 2 - Finalidade dos diagramas SysML.....	35
Quadro 3 - Exemplos de variações de Design for "X"	41
Quadro 4 - Divisão do check-list para manutenibilidade do manual DOD-HDBK-791	44
Quadro 5 - Classificação dos requisitos pelo método proposto.....	63
Quadro 6 - Respostas do questionário de avaliação	87
Quadro 7 - Comparação das médias considerando ou eliminando um <i>outlier</i>	88
Quadro 8 - Eixos de pesquisa e palavras-chave	103

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

API	<i>Application Programming Interface</i>	Interface de Programação de Aplicativos
BASIC	<i>Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code</i>	-
BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i>	Modelo e Notação de Processos de Negócio
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>	Desenho Auxiliado por Computador
CAE	<i>Computer-Aided Engineering</i>	Engenharia Auxiliada por Computador
CAPP	<i>Computer-Aided Process Planning</i>	Planejamento de Processos Auxiliado por Computador
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i>	Manufatura Auxiliada por Computador
PDM	<i>Product Data Management</i>	Gestão dos Dados do Produto
PLM	<i>Product Life-Cycle Management</i>	Gestão do Ciclo de Vida do Produto
CRM	<i>Customer Relationship Management</i>	Gestão de Relacionamento com o Cliente
SCM	<i>Supply Chain Management</i>	Gestão da Cadeia de Suprimentos
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>	Planejamento dos Recursos da Empresa
DFA	<i>Design for Assembly</i>	Projeto para Montagem
DFM	<i>Design for Manufacturing</i>	Projeto para Manufatura
DFMT	<i>Design for Maintainability</i>	Projeto para Manutenibilidade
DFS	<i>Design for Serviceability</i>	Projeto para Servicibilidade
DFX	<i>Design for X</i>	Projeto para "X"
DSR	<i>Design Science Research</i>	-
FMEA	<i>Failure Modes and Effects Analysis</i>	Análise dos Modos de Falha e Efeitos
GUI	<i>Graphical User Interfaces</i>	Interfaces Gráficas do Usuário
HIS	<i>Hersteller Initiative Software</i>	-
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>	-

IA	<i>Artificial Intelligence</i>	Inteligência Artificial
INCOSE	<i>International Council on Systems Engineering</i>	Conselho Internacional de Engenharia de Sistemas
KBE	<i>Knowledge-based Engineering</i>	Engenharia Baseada no Conhecimento
MBSE	<i>Model-based System Engineering</i>	Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos
MER	<i>Entity–relationship model</i>	Modelo Entidade-Relacionamento
OMG	<i>Object Management Group</i>	-
PDP	<i>Product Development Process</i>	Processo de Desenvolvimento de Produtos
ProR	<i>Requirements Engineering Platform</i>	-
PTC	<i>Parametric Technology Corporation</i>	-
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>	Desdobramento da Função Qualidade
ReqIF	<i>Requirements Interchange Format</i>	-
RM	<i>Requirements Management</i>	Gerenciamento de requisitos
RMF	<i>Requirements Modeling Framework</i>	-
SGBD	<i>Data Base Management System</i>	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SQL	<i>Structured Query Language</i>	-
SysML	<i>Systems Modeling Language</i>	-
UML	<i>Unified Modeling Language</i>	-
VBA	<i>Visual Basic for Application</i>	-
XMI	<i>XML Metadata Interchange</i>	-
XML	<i>Extensible Markup Language</i>	-

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	18
1.2	JUSTIFICATIVA	19
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	21
2.1.1	Gestão do Conhecimento no PDP	23
2.1.2	Requisitos no PDP	26
2.2	ENGENHARIA BASEADA NO CONHECIMENTO	28
2.2.1	Sistemas de apoio ao desenvolvimento do produto	30
2.2.2	Engenharia de sistemas baseada em modelos	32
2.2.2.1	<i>SysML</i>	33
2.2.2.2	<i>Padrão ReqIF</i>	36
2.2.3	Desenvolvimento de sistemas	37
2.3	DESIGN FOR “X”	39
2.3.1	<i>Design for Serviceability (DFS)</i>	42
2.3.1.1	<i>Simplicidade</i>	46
2.3.1.2	<i>Acessibilidade</i>	47
2.3.1.3	<i>Modularidade</i>	47
2.3.1.4	<i>Considerações sobre ergonomia</i>	50
3	ASPECTOS METODOLÓGICOS	51
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	51
3.2	ABORDAGEM METODOLÓGICA	52
3.3	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	54
3.4	DELIMITAÇÃO DE ESCOPO	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1	SOLUÇÃO PROPOSTA	58
4.1.1	Backbone de dados	59
4.1.2	Primeira etapa: levantamento dos requisitos de servicibilidade	61
4.1.3	Segunda etapa: Criação de diagramas em SysML	63
4.1.4	Terceira etapa: Acompanhamento dos requisitos em ferramenta CAD	65
4.2	DEMONSTRAÇÃO	70
4.2.1	<i>Backbone</i> de dados	71
4.2.2	Primeira etapa: levantamento dos requisitos de servicibilidade	71
4.2.3	Segunda etapa: Criação do SysML	72
4.2.4	Terceira etapa: Acompanhamento dos requisitos no CAD	81

4.3 AVALIAÇÃO.....	85
5 CONCLUSÃO.....	91
REFERÊNCIAS.....	94
APÊNDICE A – SELEÇÃO DO PORTFÓLIO E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	101
APÊNDICE B – ANÁLISE SISTÊMICA	106
APÊNDICE C – CÓDIGO EM VBA DAS FERRAMENTAS	111
APÊNDICE D – RELATÓRIO DE REQUISITOS.....	123
APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO APLICADO E RESPOSTAS.....	130
APÊNDICE F – QFD PREENCHIDO	136

1 INTRODUÇÃO

O sucesso de um produto no mercado é totalmente dependente das fases iniciais do processo de desenvolvimento de produto. Back et al. (2008) apontam que algumas das decisões tomadas no início do projeto poderão implicar em consequências ao longo de todo o ciclo de vida do produto, tendo efeito significativo, por exemplo, na manufaturabilidade, na qualidade e nos custos de produção.

Segundo Rozenfeld et al. (2006), 85% do custo total de um produto depende da tomada de decisões técnicas que devem ser efetivadas no início do desenvolvimento, ainda quando as incertezas são muito grandes. Para Ullman (1992), a falta ou o uso inadequado de informações nas fases iniciais do desenvolvimento estão associados a um significativo custo de fabricação. Para Rozenfeld et al. (2006) o custo de uma modificação no lançamento do produto pode ser até mil vezes maior que o custo de uma mudança no início do desenvolvimento.

Cientes da importância do desenvolvimento, as organizações têm procurado adotar modelos de referência para estruturar as atividades de desenvolvimento de produtos, além de métodos e ferramentas de apoio. Tais modelos são denominados modelos de Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). O PDP tem a função de ligar o produto com o mercado e fazê-lo viável economicamente e socialmente (ROZENFELD et al., 2006; PAHL et al., 2005; BACK et al., 2008).

Smith (1997) sugere ainda que o desenvolvimento não deve considerar apenas as necessidades do mercado, mas também os requisitos de fabricação e as condições que o produto oferece para realização de serviços de manutenção. Essa abordagem recebe o nome de Engenharia Simultânea e surgiu para evidenciar a necessidade de uma filosofia de cooperação multifuncional no projeto de engenharia. De acordo com Back et al. (2008), o termo Engenharia Simultânea recebe diferentes conotações, como por exemplo, filosofia, metodologia ou prática de desenvolvimento de produto, entretanto, seus princípios são comuns.

Segundo Back et al. (2008), técnicas de projeto específicas foram surgindo para buscar soluções para um elevado número de qualidades ou atributos, tais como fabricabilidade, montabilidade, manutenibilidade, dentre outros. Esse conjunto de técnicas são comumente referenciados pela expressão *Design for "X"*, onde "X" representa o conhecimento que se pretende incorporar ao projeto de forma antecipada. Assim, o termo *Design for Manufacturing* (DFM), por exemplo, trata da

incorporação das necessidades da manufatura no projeto do produto ainda quando o custo de modificações é relativamente baixo (EASTMAN, 2012).

Uma dessas técnicas se aplica a capacidade de realização de serviços no produto durante a pós-venda. Ao direcionamento do projeto à capacidade de realização de serviço é dado o nome de *Design for Serviceability* (DFS), ou em português, Projeto para Serviço ou Projeto para Servicibilidade. O termo servicibilidade significa o grau de dificuldade para que o produto retorne a atividade normal quando em intervenções de manutenção, aqui denominadas de serviço (DILLON, 1999; ROZENFELD et al., 2006).

A melhoria do projeto para atender requisitos de servicibilidade exige o acesso a informações com qualidade. Baxter et al. (2007) apresentam que cerca de 20% do tempo do projetista é gasto procurando e absorvendo informações e cerca de 40% dos requisitos de projeto são atendidos por conhecimentos pessoais, mesmo que outras fontes possam fornecer informações mais adequadas para tal. Para os autores esses dados indicam que os conhecimentos não estão bem representados em uma base de conhecimento compartilhada e de fácil acesso.

Strauhs et al. (2012) apontam que, dentre todos os insumos de uma empresa, a informação e o conhecimento têm conquistado maior espaço quando se refere a inovação e competitividade. O uso adequado desses dois insumos, informação e conhecimento, pode gerar inovações de produtos, processos e serviços mais rápido que os concorrentes. Para Terra (2005) a informação é como uma *commodity*, e está cada vez menos valorizada por ser encontrada em abundância, precisando assim ser trabalhada para ganhar valor na forma de conhecimento.

Segundo Ipek et al. (2013), dependendo da tarefa, o conhecimento e o seu processamento podem envolver o uso de modelos numéricos, sistemas de banco de dados, ferramentas de visualização e modelos de tomada de decisão que ofereçam alternativas de soluções até então dependentes do conhecimento humano. Esse conjunto de soluções que auxiliam a engenharia corresponde ao conceito denominado Engenharia Baseada no Conhecimento (KBE – do inglês *Knowledge-based Engineering*).

Para Ipek et al. (2013) muitas decisões durante o projeto são de natureza criativa e, embora a criatividade esteja relacionada com a experiência que o projetista possui, as ferramentas computacionais que os ajudam a serem mais inovadores

devem também possuir inteligência incorporada, capazes de empregar conhecimento especializado para tomada de decisão.

Diversos trabalhos já desenvolveram ou aplicaram um método ou uma ferramenta para apoiar a orientação do projeto para determinada finalidade. Como sustentação ao presente trabalho foi realizada uma análise bibliométrica e sistêmica, constante dos Apêndices A e B respectivamente, referente a utilização da Engenharia Baseada em Conhecimento no apoio das atividades de Engenharia. Para isso foram consultadas diversas bases de artigos limitando-se as pesquisas aos últimos cinco anos. Embora essas análises tenham abordado o tema de Projeto para Manufatura e Montagem, serviram de apoio para se conhecer o estado da arte do emprego de tais técnicas como suporte ao desenvolvimento como um todo.

Muitos dos trabalhos relatam a dificuldade em gerir ou armazenar o conhecimento em conjunto com as ferramentas CAD (do inglês *Computer-Aided Design*), como nos casos apresentados por Demoly, Matsokis e Kiritsis (2012), Hoque et al. (2013), Luetzenberger, Klein e Thoben (2013). Jakubowski e Peterka (2014) e Zhou e Saitou (2014) questionam que no ambiente de modelagem geométrica de um software CAD há liberdade para criar qualquer geometria sem se importar com a manufaturabilidade, muitas vezes prejudicada. Esse mesmo pensamento podemos expandir para as necessidades das demais fases do ciclo de vida de um produto.

Vários outros trabalhos, como de Ramos (2015), Krogstiea e Anderson (2012), Iwaya, Rosso Junior e Hounsell (2013), Hiekata e Yamato (2014), Kretschmer et al. (2016) e Wahidin et al. (2016), relatam a dificuldade em reutilizar o conhecimento de projetos passados, havendo para isso a necessidade de representar melhor os dados de fabricação e montagem, para que não fiquem dependentes da lembrança dos profissionais. Krogstiea e Anderson (2012) identificam problemas de comunicação entre os profissionais de diferentes áreas nas três empresas que estudaram.

As principais soluções utilizam um sistema especialista baseado em regras, como os trabalhos de Ipek et al. (2013), Chowdary e Muthineni (2012), Wahidin et al. (2016), Hernandez et al. (2012) e Iwaya, Rosso Junior e Hounsell (2013). Outros utilizaram ontologias para a solução, como nos trabalhos de Demoly, Matsokis e Kiritsis (2012), Abdul-Ghafour et al. (2014), Premkumar et al. (2014), Ramos (2015) e Hiekata e Yamato (2014).

Dentre as oportunidades de pesquisa, destaca-se a preocupação na aquisição de conhecimento implícito devido a dificuldade de expressá-lo em números

ou palavras. Neste sentido, as abordagens mais frequentes recorrem tanto a casos semelhantes precedentes, como os utilizados por Iwaya, Rosso Junior e Hounsell (2013) e Kretschmer et al. (2016), quanto a entrevistas com especialistas, conforme abordado nos trabalhos de Anderson et al. (2014), Krogstiea e Anderson (2012) e Wahidin et al. (2016). Devido à dificuldade de integração entre sistemas para diferentes finalidades, Premkumar et al. (2014) sugerem a utilização de aplicações que forneçam saída nos formatos XML e XLS para maior possibilidade de sucesso no aproveitamento dos dados.

Nota-se que os trabalhos pesquisados abordam apenas uma finalidade para orientação do projeto, sendo mais frequente o Projeto para Manufatura e Projeto para Montagem. Desta maneira, entende-se que o presente estudo pode contribuir ao definir a sua aplicação ao Projeto para a Servicibilidade (DFS), menos recorrente nas pesquisas.

Observa-se que, analogamente aos requisitos do cliente que guiam as soluções do produto para atender as necessidades e desejos de quem o utiliza, há oportunidade para uma abordagem similar por meio de requisitos que permita trazer as necessidades de outras etapas do ciclo de vida, como as atividades de serviço, para o ambiente das decisões e utilizá-las diretamente em sistemas de modelagem, permitindo a rastreabilidade e reuso de informações em sistemas computacionais.

Adicionalmente, outra possível contribuição do presente trabalho pode ser dar com as ferramentas computacionais adotadas para a solução, como por exemplo, a possibilidade de representação dos requisitos por meio de modelos conceituais de produtos complexos, tais como os produzidos com a linguagem visual SysML (*Systems Modeling Language*).

Pensamentos correlatos a servicibilidade já foram observados nos trabalhos de Peruzzini et al. (2017), Rhee e Ishii (2003) e Moscheto (2009). Peruzzini et al. (2017), além das tradicionais abordagens de redução de tempo e custo, focaram na melhoria da capacidade de realização de serviço preocupando-se com o bem-estar dos operadores. A metodologia proposta combina uma análise de protocolo para avaliar fatores humanos e uma simulação virtual imersiva.

Rhee e Ishii (2003) propõem um método denominado FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) baseado em custo de vida. O método é proposto para comparar e selecionar alternativas de projeto que podem reduzir o custo total do ciclo de vida

de um sistema específico, além de aumentar a confiabilidade e capacidade de manutenção.

Moscheto (2009) desenvolve uma ferramenta complementar ao software CAD para endereçar o projeto a parâmetros de manutenibilidade do produto. Foi criado um menu adicional ao CREO com três funções. Uma delas identifica quais peças do conjunto são novas ou já existentes no banco de dados, e se existente, se há peças de reposição. A segunda opção analisa a quantidade de ferramentas necessárias para os parafusos utilizados e o tempo estimado para desmontagem. A terceira ferramenta analisa o posicionamento de componentes chaves do conjunto pela quantidade de componentes a serem removidos para acessá-los.

Com a proposta de uma alternativa de apoio ao projetista para orientar o projeto a servicibilidade, o presente trabalho atende ainda ao Programa de Manufatura Inteligente do Laboratório de Manufatura Inteligente e Sustentável da UTFPR, campus Curitiba-PR, e se enquadra em uma de suas demandas que é o direcionamento do planejamento e projeto do produto com base em conhecimento. Neste contexto, um dos desafios é o desenvolvimento de métodos e estruturas para capturar, manter e gerenciar conhecimento com qualidade.

Portanto, considerando o contexto apresentado, a análise bibliométrica e sistêmica contidas nos Apêndices A e B, e as demais consultas à literatura pelo autor, coloca-se a seguinte pergunta de pesquisa para guiar o desenvolvimento do trabalho: **como um método para orientação do projeto por requisitos poderia auxiliar os projetistas, ainda nas fases iniciais de desenvolvimento, a melhorar a capacidade de realização de serviços nos produtos?**

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um método que possa ser utilizado por projetistas nas fases iniciais do PDP para melhorar a orientação do projeto à servicibilidade, ou seja, aplicar em seus projetos a técnica de *Design for Serviceability* (DFS). Esse método deverá oferecer linhas guias para endereçar as decisões que nortearão a concepção do produto.

Como objetivos específicos serão adotados o cumprimento de cada etapa da estrutura metodológica utilizada neste trabalho, apresentada na seção 3.2.

1.2 JUSTIFICATIVA

A consideração no projeto das várias vertentes modeladoras do produto exige um conhecimento diversificado, não só contido em livros, manuais, normas, catálogos, etc., mas também construído pela experiência dos profissionais envolvidos, muitos deles lotados em outros departamentos que não de desenvolvimento. Devido essa necessidade de conhecimentos multidisciplinares e dispersos, torna-se inimaginável esperar que um único profissional consiga, individualmente, atender integralmente a exigência de conhecimento com qualidade sem a utilização de métodos e ferramentas computacionais de apoio ao projeto.

Conforme análise sistêmica apresentada no Apêndice B, grande parte desse conhecimento necessário para as tomadas de decisões não está disponível aos projetistas ou não está estruturado para uma rápida consulta. O trabalho de Krogstiea e Anderson (2012) é um exemplo de identificação desta lacuna. Os autores constataam que problemas de comunicação prejudicam o trabalho conjunto. Entre os problemas destaca-se o predomínio da comunicação face a face, o que prejudica a comunicação entre profissionais em diferentes postos, a distância entre departamentos e a dificuldade de armazenar conhecimento para aproveitamento posterior.

Pensando na realização de serviços, encontra-se na literatura preocupações com custo, tempo de realização e bem-estar do profissional que realiza o serviço. Se considerados produtos que exigem manutenções periódicas, um pequeno ganho na facilidade de realização pode resultar em benefícios significativos. É relevante ainda pensar que, por mais que um determinado produto tenha um grande intervalo de tempo entre uma intervenção e outra, o profissional que realiza o serviço é muitas vezes especialista naquela atividade e, portanto, pode realizá-la por diversas vezes ao dia. Desse modo, fatores humanos tornam-se importantes.

Com essas problemáticas levantadas, o presente trabalho poderá contribuir ao apresentar uma alternativa aos projetistas para guiar seus projetos à facilidade de realização de serviços. A solução deve reunir e disponibilizar o conhecimento necessário para previsão do projeto logo nas fases iniciais do desenvolvimento. Esse conhecimento poderá auxiliar a incorporação de técnicas de projeto para melhorar a facilidade de realização de serviços no produto, o que permitirá alcançar ganhos como redução de tempo, custo e melhorias dos fatores humanos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é composto por cinco capítulos. O primeiro, introdutório, inicia com uma contextualização dos assuntos envolvidos, apresenta uma pergunta de pesquisa, define os objetivos e justifica a importância do estudo.

No segundo capítulo, de fundamentação teórica, é apresentada uma consulta a literatura para aprofundamento das teorias envolvidas, que giraram em torno do Processo de Desenvolvimento de Produtos, Engenharia Baseada no Conhecimento e *Design for "X"*, sobretudo *Design for Serviceability*.

O terceiro capítulo é referente aos aspectos metodológicos. Apresenta em suas seções a caracterização da pesquisa, a abordagem metodológica utilizada (DSR) e o procedimentos metodológicos adotados. A finalização deste capítulo se dá com a revelação das limitações do trabalho.

Já o capítulo quatro expõe os resultados juntamente com a sua discussão. Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento do método se baseando em cada etapa da abordagem metodológica DSR (*Design Science Research*), apresentada no capítulo 3.

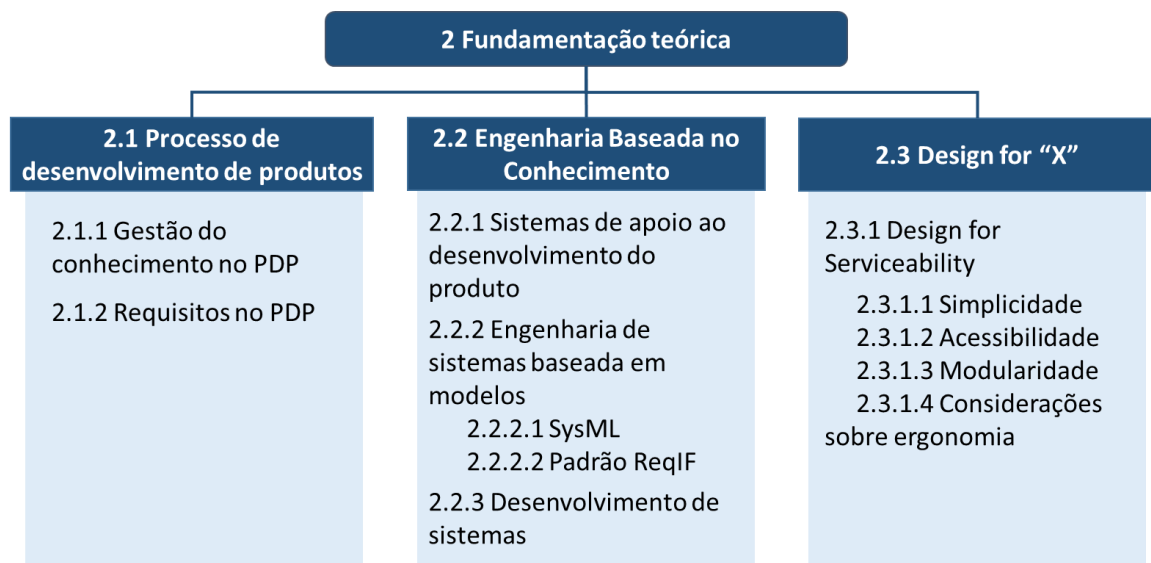
Por fim, são colocadas as conclusões atingidas com o trabalho (Capítulo 5), seguidas das referências e anexos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo se ocupa de aprofundar os conteúdos relevantes para a pesquisa. Primeiramente é apresentado com maior clareza o modelo de referência de Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) com dois enfoques em seu contexto: gestão do conhecimento e requisitos. Na sequência é apresentado o conceito de Engenharia Baseada no Conhecimento (KBE), e dentro deste capítulo, é dado ênfase aos sistemas de apoio ao desenvolvimento do produto, à Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE), e algumas ferramentas utilizadas para o desenvolvimento de sistemas. O desfecho se dará apresentando os conceitos de orientação do projeto para determinada finalidade, intitulados *Design for “X”* e, principalmente, *Design for Serviceability* (DFS).

A Figura 1 oportuna uma visão estruturada de como as seções desse capítulo estão organizadas.

Figura 1 - Estrutura da fundamentação teórica



Fonte: O autor.

2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Desenvolver um produto no momento certo e que atenda os desejos do mercado exige, além do conhecimento técnico, a adoção de uma metodologia de trabalho. A essa metodologia Rozenfeld et al. (2006) dão o nome de Processo de

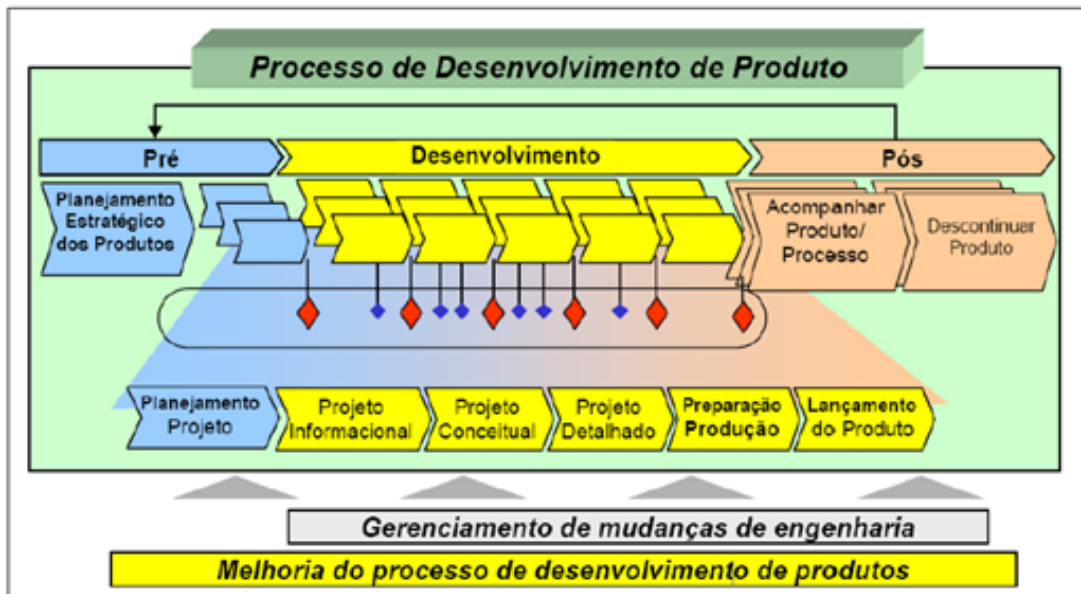
Desenvolvimento de Produtos (PDP). Para os autores, o PDP está na ligação entre empresa e mercado, e atribui a ele a tarefa de identificar as necessidades do mercado durante todo o ciclo de vida e buscar soluções. Para os autores, o PDP deve considerar ainda a manufaturabilidade do produto. Uma definição similar é também proposta por Back et al. (2008):

Para desenvolver um produto com eficiência e eficácia, é necessário saber o que fazer, para quem fazer, quando fazer, com que fazer e como fazer. A esta organização (conhecimentos, métodos e ferramentas utilizados para o desenvolvimento) chamar-se-á metodologia de projeto, ou metodologia de desenvolvimento de produtos (BACK et al., 2008).

Modelos para organizar esses métodos ou processos são sugeridos por diversos autores. Pahl et al. (2005) desdobram o processo de desenvolvimento nas seguintes fases: planejar e esclarecer a tarefa, conceber, projetar e detalhar. Para os autores, o resultado após as fases de planejamento e esclarecimento deverá ser uma lista de requisitos. Já a concepção resulta em uma definição preliminar através de um conjunto de soluções. A fase seguinte é a do projeto preliminar, ou anteprojeto, quando se parte de ideias qualitativas da fase de concepção e chega-se em uma definição básica e quantitativa da solução. Por fim, o detalhamento conclui as definições de geometria, dimensão, material, acabamento e produção.

Já Rozenfeld et al. (2006) dividem o PDP em três macro fases: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. Para a macro fase de pré-desenvolvimento os autores atribuem a concepção, a geração de ideias, o levantamento das restrições, e a planejamento estratégico do produto baseando-se na estratégia da corporação. O resultado é um escopo do produto. A macro fase de desenvolvimento é dividida em projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado, preparação da produção e lançamento do produto. Uma visão geral da classificação do autor é retratada na Figura 2.

Figura 2 - Visão geral do Processo de Desenvolvimento de Produto



Fonte: Rozenfeld et al. (2006)

Pelas definições dadas por Rozenfeld et al. (2006), as atividades realizadas entre as fases de projeto informacional e projeto detalhado equiparam-se muito com as definidas por Pahl et al. (2005), com o acréscimo por Rozenfeld et al. (2006) de uma fase específica para planejamento da produção, que trata da cadeia de suprimentos interna, e uma de lançamento do produto, que visa as atividades da cadeia de suprimentos externa, como venda, distribuição, atendimento ao cliente, assistência técnica, marketing, dentre outras. Os autores acrescentam ainda uma macro fase posterior de pós-desenvolvimento, com a fase de acompanhamento do produto e processo para identificar necessidades ou oportunidades de melhorias e a fase de descontinuidade, que em outras palavras, visa a retirada do produto do mercado.

Destaca-se ainda no PDP a importância dos requisitos do produto e da gestão do conhecimento como alicerces para tomada de decisões. De acordo com Rozenfeld et al. (2006), o segredo para o PDP ser bem-sucedido é "garantir que as incertezas sejam minimizadas por meio da qualidade das informações, e que, a cada momento de decisão, exista um controle constante dos requisitos a serem atendidos".

2.1.1 Gestão do Conhecimento no PDP

Strauhs et al. (2012) apontam que a vantagem competitiva está associada à capacidade da organização em gerir a informação e o conhecimento. Para eles, o

caminho da informação à inovação passa por quatro estágios: obtenção da informação, tratamento da informação, transformação da informação em conhecimento e transformação do conhecimento em inovação.

Um conceito importante a elucidar é a diferença entre dados, informação e conhecimento. Para Prusak e Davenport (2003), dados são um conjunto de fatos distintos e objetivos. Setzer (2001) completa que dados são quantificáveis. Já a informação, segundo Prusak e Davenport (2003), são os dados acrescidos de significado, ganhando assim um propósito. Por fim, o conhecimento deriva da informação e depende dos seres humanos para transformá-lo. Owen e Horváth (2002) corroboram com essa definição ao afirmar que a representação do conhecimento normalmente exige uma auditoria intelectual.

Com este entendimento, a gestão da informação passou a ganhar uma complementação, passando a valer agora o conceito de "Gestão do Conhecimento" (STRAUHS et al., 2012). Segundo Alvarenga Neto (2008), a finalidade da gestão do conhecimento é "favorecer ou criar condições para que a organização possa sempre utilizar a melhor informação e conhecimento disponíveis".

Quanto a classificação do conhecimento, ele pode ser tácito ou explícito. Segundo Smith (2001), o conhecimento tácito é aquele no qual nós não temos palavras para descrever. É composto por modelos mentais, valores, crenças, percepções e suposições e não são encontrados em manuais, livros, banco de dados ou arquivos. Já o conhecimento explícito é aquele que pode ser escrito em uma linguagem formal. Segundo a autora, uma vez codificado, ele pode ser reutilizado para resolver problemas similares.

De acordo com Owen e Horváth (2002), a maior parte do conhecimento humano é tácito ao invés de explícito e, apesar do conhecimento explícito criar uma plataforma intelectual, o conhecimento tácito é considerado chave para executar tarefas e criar novos valores.

Além dessas classificações, Chandrasegaran et al. (2013) acrescentam ainda outras duas dimensões para caracterizar o conhecimento. Uma delas distingue o conhecimento referente ao produto do conhecimento do processo. O conhecimento do produto, segundo os autores, inclui as informações e conhecimentos associados a todo o ciclo de vida do produto, como por exemplo, requisitos, funções, comportamento, restrições, dentre outros. Já o conhecimento de processos pode ser dos processos de projeto, como os métodos de representação do produto, de

fabricação, referentes ao chão de fábrica, ou dos processos de negócios, que inclui os processos relacionados ao marketing, planejamento estratégico, gerenciamento da cadeia de suprimentos, dentre outros.

A outra definição apresentada por Chandrasegaran et al. (2013) discerne o conhecimento entre compilado e dinâmico. O conhecimento compilado é aquele obtido a partir de experiências que podem ser reunidas em regras, planos, scripts, dentre outros, ou seja, são soluções explícitas. Já no conhecimento dinâmico as soluções são implícitas, ou seja, é uma codificação do conhecimento que pode ser usado para gerar outro conhecimento adicional. O conhecimento dinâmico pode ser ainda qualitativo (e.g. senso comum, conhecimento geral de resolução de problemas, e outros) ou quantitativo (e.g. equações, leis físicas, e outros).

Quanto a representação do conhecimento, Owen e Horváth (2002) definem que ela deve apoiar o uso e reuso máximo. Os autores apontam que a representação do conhecimento é um tipo de filtro que cria um modelo simplificado de conhecimento extraído ou obtido a partir de seres humanos. Essa simplificação, por outro lado, pode gerar uma descontextualização. Devido a isso, a representação do conhecimento costuma exigir um acompanhamento intelectual. Os mesmos autores classificam a representação do conhecimento em cinco classes, sendo elas pictórica, simbólica, linguística, virtual e algorítmica.

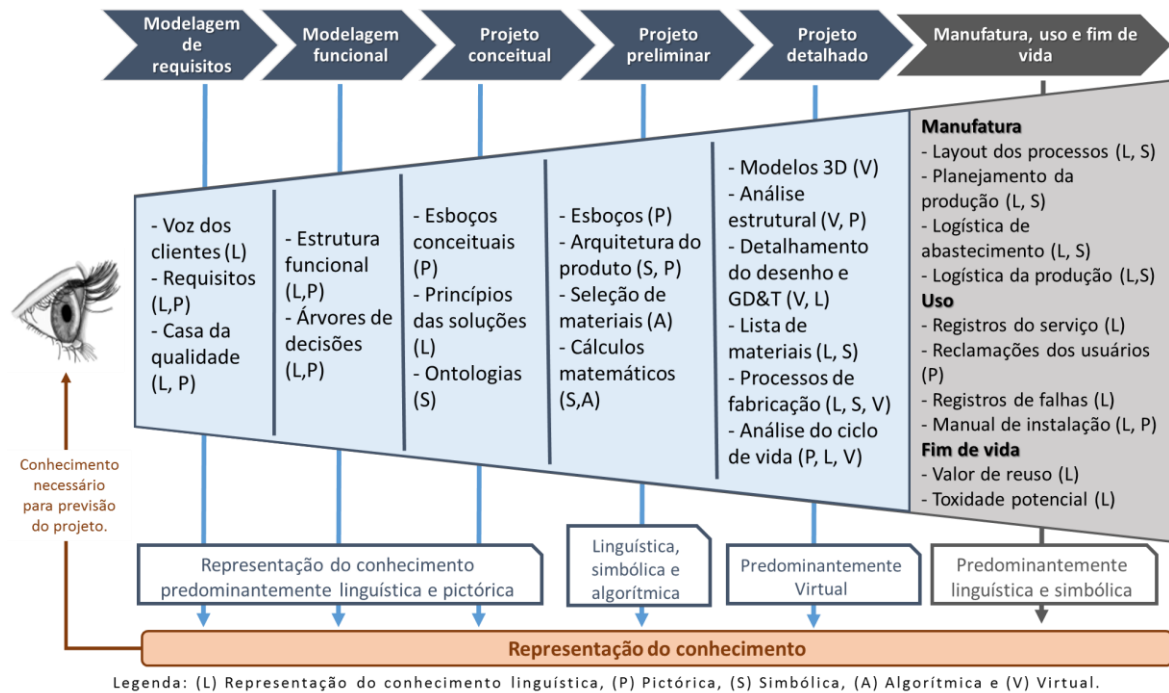
A representação de conhecimento pictórica inclui fotos, vídeos, croquis, desenhos, gráficos e diagramas. A representação simbólica pode ser regras de produção, diagramas de fluxo, árvore do projeto, ontologias, dentre outras. Já alguns exemplos de representação linguística podem ser requisitos dos clientes, regras do projeto, comunicação verbal ou textual. Como representação virtual podem ser considerados modelos CAD, simulações diversas, realidade virtual, dentre outros. Por fim, a representação de conhecimento algorítmica passa por equações matemáticas, algoritmos computacionais e softwares (OWEN E HORVÁTH, 2002).

Para Chandrasegaran et al. (2013) a representação do conhecimento encontra desafios que podem ser vistos em duas diferentes perspectivas. Um primeiro desafio é codificar o conhecimento do produto e processos nos diferentes estágios do desenvolvimento, já o outro, está na captura, uso e comunicação desse conhecimento entre os diferentes indivíduos, equipes ou organizações.

Os mesmos autores compilam as diversas formas de representação conhecimento que são utilizadas em cada etapa do desenvolvimento ou do ciclo de

vida do produto e as classificam nas cinco classes de representação definidas por Owen e Horváth (2002). Esse compêndio é apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Formas de representação do conhecimento



Fonte: Adaptado de Chandrasegaran et al. (2013)

Chandrasegaran et al. (2013) observam que nas etapas iniciais do desenvolvimento a representação do conhecimento é predominantemente linguística e pictórica. Só a partir do projeto preliminar as outras representações, como simbólica, virtual e algorítmica, aparecem de maneira significativa, mas nessa altura a maior parte do projeto já está comprometido. Os autores apontam que o desafio é reutilizar ou reinjetar o conhecimento das etapas seguintes nas fases iniciais do projeto usando uma representação apropriada.

2.1.2 Requisitos no PDP

Ao receber um pedido de desenvolvimento de um produto, a área de projeto está diante de um problema que exige a identificação das especificações que determinam a solução. Segundo Pahl et al. (2005), a tarefa deve se iniciar com uma lista de requisitos, que é uma lista de especificações do produto contendo qual a finalidade deve ser atendida e quais características a solução deve ou não apresentar. Essa lista deve ser elaborada com estreita relação com o cliente.

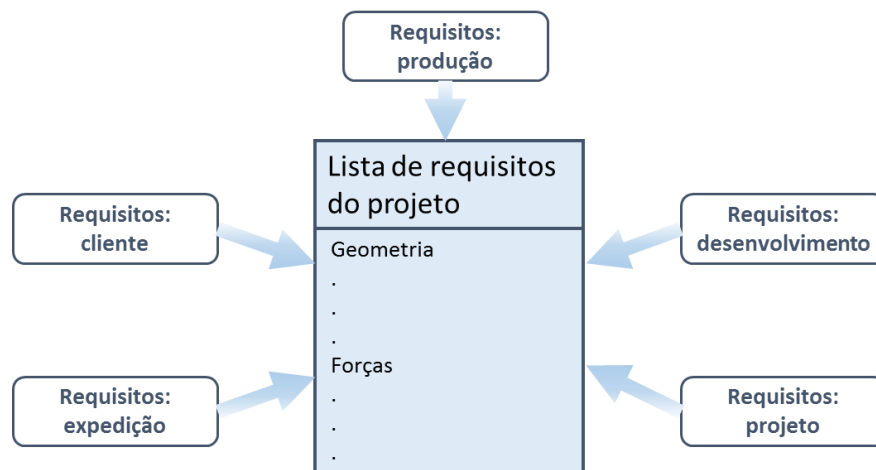
Conforme apresentam Pahl et al. (2005), os requisitos devem ser classificados em necessidades ou vontades do cliente, auxiliando assim na priorização. Quanto a caracterização, eles terão aspectos quantitativos, como por exemplo, vazão, potência, ou qualitativo, como "manutenção simples". Os autores frisam que sempre que possível deve-se especificar quantitativamente, ou então, descrever de forma mais clara e precisa possível.

Para os autores supracitados, a lista de requisitos também pode incluir outras influências importantes, como intenções e questões relacionadas ao processo de fabricação. Também são apontadas como boas práticas pelos autores, a divisão dos requisitos em subconjuntos, a indicação da fonte que o indicou, e uma revisão contínua de maneira organizada, assim como se faz com os desenhos.

Para elaboração da lista de requisitos, a maior dificuldade citada por Pahl et al. (2005) se refere aos requisitos que são implícitos, pois estes não são manifestados pelos clientes, mas ignorá-los pode ser muito prejudicial. Outra colocação dos autores sugere a criação de listas parciais, uma para cada divisão ou departamento da empresa, com seus requisitos especiais, para facilitar a coleta de dados pela equipe de projeto, conforme a Figura 4.

Segundo Pahl et al. (2005), a lista de requisitos é um valioso alicerce para a preparação e formação de sistemas de gestão do conhecimento, permitindo que diretrizes e restrições anteriores possam ser utilizadas na especificação de um novo produto.

Figura 4 - Formação da lista de requisitos a partir de sub-requisitos de cada departamento



Fonte: Pahl et al. (2005)

Outra abordagem de requisitos de produtos é apresentada por Rozenfeld et al. (2006). Para esses autores as necessidades dos clientes devem ser entendidas com o uso de algumas ferramentas, como entrevistas e brainstorming. Essas necessidades, que estão na voz dos clientes, devem então ser reescritas na linguagem dos projetistas e passam a se chamar requisitos dos clientes.

Posteriormente, na abordagem de Rozenfeld et al. (2006), para formar os requisitos do projeto são atribuídos parâmetros que atendam aos requisitos dos clientes e que possam ser mensuráveis. Por fim, os valores desses parâmetros são definidos com metas. Para esse estágio os autores sugerem a utilização de métodos tais como o Desdobramento da Função Qualidade (QFD - *Quality Function Deployment*).

Segundo os autores, há diversas ferramentas associadas ao QFD, sendo a mais típica a Casa da Qualidade, que traduz os requisitos dos clientes em requisitos dos produtos. A Casa da Qualidade é a primeira matriz das demais versões que a desdobram em outras matrizes para subsistemas ou funções do produto, até se chegar nos componentes, como no modelo proposto por Cheng et al. (1995), também conhecido como QFD das quatro ênfases.

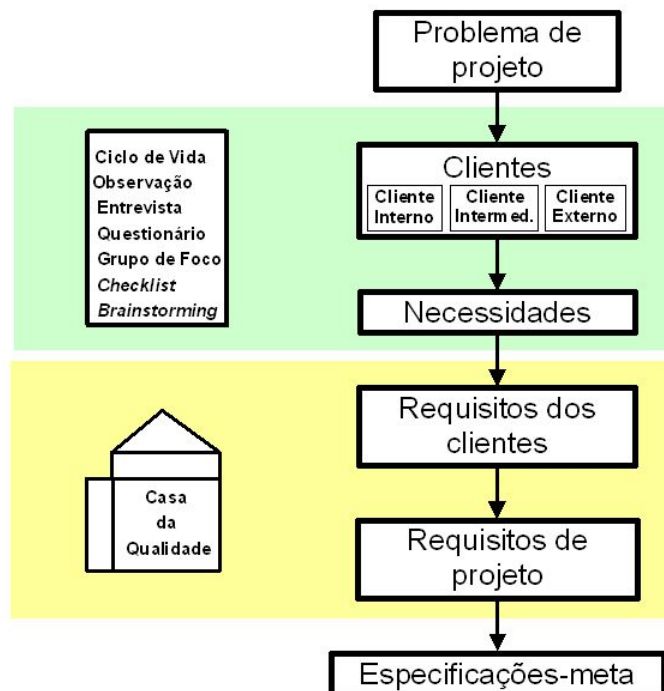
Todas essas etapas para geração dos requisitos compreendem a fase de projeto informacional conforme classificação de Rozenfeld et al. (2006), e são apresentadas na Figura 5. A relação final de requisitos, já expostos da forma que o projeto deve ser, é definida como sendo as especificações-meta.

2.2 ENGENHARIA BASEADA NO CONHECIMENTO

No contexto das atividades de engenharia dentro do processo de desenvolvimento de produtos, a gestão do conhecimento é também referenciada como Engenharia Baseada no Conhecimento (*Knowledge-based Engineering – KBE*).

Há diversas definições para KBE na literatura. Verhagen et al. (2012) observam que as definições mais antigas são mais restritas a combinação de técnicas de Inteligência Artificial (IA), como sistemas especialistas, com técnicas CAD para modelagem geométrica. Já as definições mais recentes não focam especificamente na geometria, mas em captar, reter e reutilizar o conhecimento associado às tarefas de engenharia.

Figura 5 - Evolução da informação na fase de projeto informacional



Fonte: Rozenfeld et al. (2006)

Exemplos das definições de KBE mais restritas são dadas por Chapman e Pinfold (2001) e Cooper et al. (2001), que entendem que KBE é um tipo de sistema baseado em conhecimento que integra uma ferramenta de modelagem geométrica por meio de uma linguagem orientada a objetos, automatizando o projeto. Já Baxter et al. (2007) definem KBE de forma mais abrangente, quando se utiliza do conhecimento para automatizar ou auxiliar de uma tarefa de engenharia.

Para Candia et al. (2016), a Engenharia Baseada em Conhecimento pode ser entendida como soluções que apoiam atividades de engenharia ao realizar a coleta, estruturação e armazenamento de um conhecimento, ficando esse capital intelectual disponível para reutilização e regeneração.

Exemplos de soluções de KBE podem ser métodos ou ferramentas como os sistemas especialistas. De acordo com Ipek et al. (2013), um sistema especialista é uma ferramenta computacional interativa que utiliza fatos e heurísticas para apontar soluções para problemas difíceis, baseando-se no conhecimento obtido de um especialista.

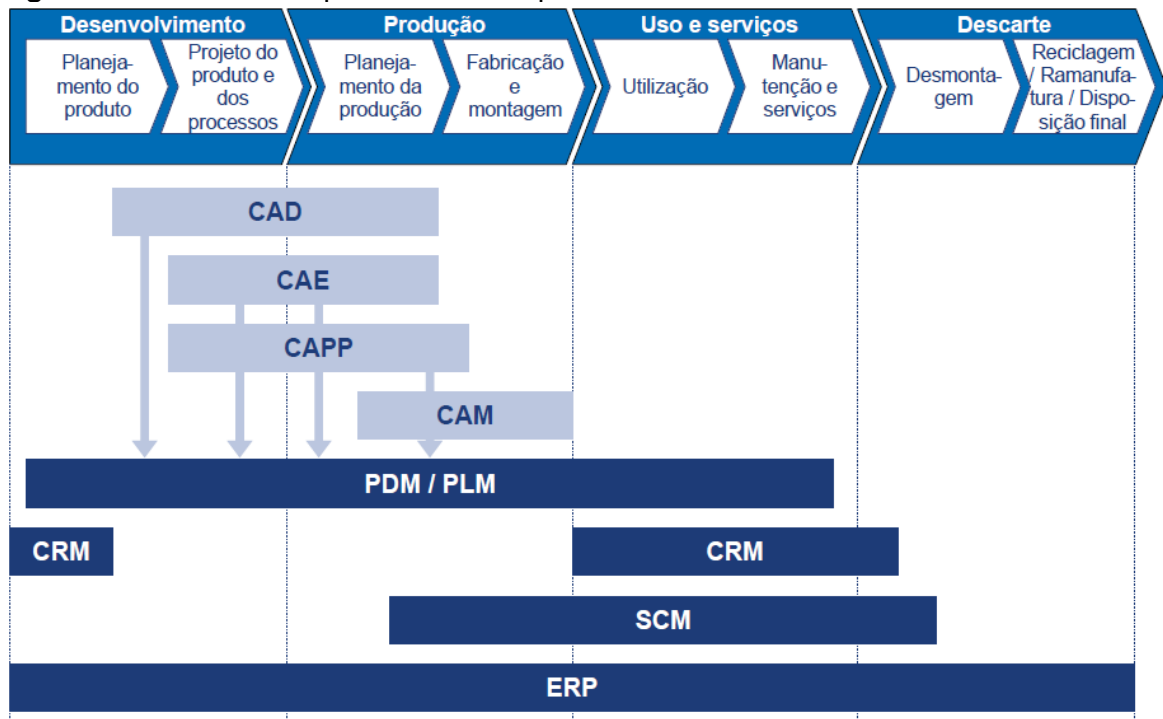
Dentro da engenharia, para Wahidin et al. (2016), um sistema especialista poderia, por exemplo, aconselhar o engenheiro a selecionar as melhores práticas de

projeto, processos, seleção de material, seleção de componentes e diagnósticos de problemas. No entanto, Ipek et al. (2013) apontam que os sistemas especialistas ainda não foram suficientemente aplicados aos problemas de projeto na engenharia devido ao conhecimento advindo de diversos domínios e fontes.

2.2.1 Sistemas de apoio ao desenvolvimento do produto

Diversos sistemas computacionais dão suporte ao ciclo de vida do produto. A utilização desses sistemas em cada fase do ciclo de vida é apresentada por Zancul (2009), conforme Figura 6.

Figura 6 - Sistemas computacionais de apoio ao ciclo de vida



Fonte: Zancul (2009)

Zancul (2009) divide esses sistemas em dois grupos. Um deles é formado pelas ferramentas típicas de engenharia, muitas vezes com a utilização restrita a esse departamento, e compreendem aos sistemas CAD, CAE, CAPP e CAM. Já o outro grupo possui uma aplicação mais ampla envolvendo outras áreas, e é formado pelos sistemas PDM, PLM, SCM, CRM e ERP. Os sistemas que correspondem a essas siglas e as suas principais finalidades são sintetizadas no Quadro 1.

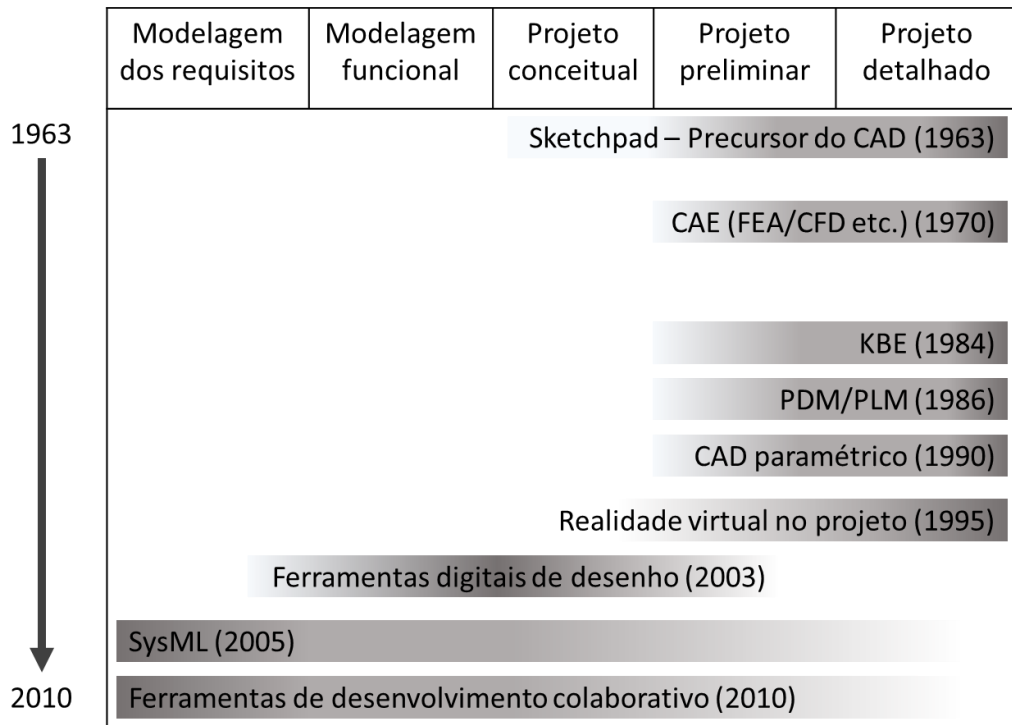
Quadro 1 - Sistemas de apoio ao ciclo de vida

Sigla	Sistema	Finalidade principal
CAD	<i>Computer Aided Design</i>	Criar a representação do produto por meio de desenhos em duas ou três dimensões.
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>	Realizar simulações de engenharia utilizando dos modelos CAD.
CAPP	<i>Computer Aided Process</i>	Planejar e sequenciar os processos de manufatura.
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>	Gerar programas para as máquinas computadorizadas utilizando dos modelos CAD.
PDM	<i>Product Data Management</i>	Gerenciar dados do projeto.
PLM	<i>Product Life-Cycle Management</i>	Gerenciar todas as informações e processos do ciclo de vida do produto.
CRM	<i>Customer Relationship Management</i>	Armazenar e gerenciar os dados e informações dos clientes.
SCM	<i>Supply Chain Management</i>	Calcular as necessidades de materiais e gerenciar o uso dos recursos.
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>	Integrar diferentes áreas da empresa como manufatura, recursos humanos, vendas, distribuição, finanças, entre outros.

Fonte: Adaptado de Lee et al. (2008), Rozenfeld et al. (2006) e Zancul (2009).

Chandrasegaran et al. (2013) também apresentam as várias ferramentas de suporte computacional a cada etapa do desenvolvimento, destacando o seu surgimento ao longo do tempo (Figura 7). Observa-se o surgimento inicial de ferramentas de apoio as fases finais de desenvolvimento (projeto preliminar e projeto detalhado), quando o conceito do produto já foi estabelecido. Nota-se, portanto, que o apoio computacional às fases iniciais do desenvolvimento é relativamente recente. Entretanto, os autores destacam que os softwares CAD estão continuamente recebendo incorporações para suportarem atividades das fases iniciais do desenvolvimento, explorando por exemplo, a engenharia de requisitos, ferramentas para auxiliar a geração do conceito e a tomada de decisões.

Figura 7 - Surgimento dos sistemas de apoio ao PDP ao longo do tempo



Fonte: Adaptado de Chandrasegaran et al. (2013)

Essa tendência de apoio inicial ao projeto tem sido observada nos principais fornecedores de softwares. Detalhar essa constante evolução não é uma tarefa simples, dificultada ainda pela grande diversidade de soluções (ROZENFELD et al., 2006).

Alguns recursos que têm o potencial de apoiar as fases iniciais do desenvolvimento, como a linguagem SysML por exemplo, estão dentro da Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos, melhor apresentada na subseção seguinte.

2.2.2 Engenharia de sistemas baseada em modelos

A Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE - do inglês *Model-based System Engineering*) pode ser descrita como uma aplicação formal de princípios, métodos, linguagens e ferramentas aplicadas em todo ciclo de vida de sistemas grandes, complexos e interdisciplinares (RAMOS; FERREIRA; BARCELÓ, 2012).

Friedenthal, Moore e Steiner (2014) apontam que os principais benefícios da abordagem MBSE são: a comunicação, ao compartilhar o entendimento do sistema

entre todos os envolvidos; a redução de riscos, com a validação de requisitos e verificação do projeto antecipadamente; a qualidade, devido a rastreabilidade de requisitos; a produtividade, devido o reuso de modelos existentes; e a transferência de conhecimento, por permitir a consulta de informações no modelo.

Uma das linguagens que auxilia a MBSE é a SysML, e um padrão importante de comunicação de requisitos dentro desta abordagem é o ReqIF. Ambos serão apresentados nas subseções seguintes.

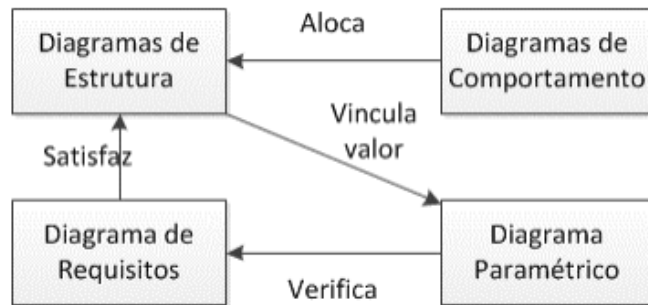
2.2.2.1 SysML

Segundo Scheeren (2013), a linguagem SysML (*Systems Modeling Language*) fornece uma série de diagramas que representam graficamente os processos, métodos e artefatos. De acordo com Hause (2006), a SysML é uma linguagem de modelagem visual desenvolvida em conjunto pelo *Object Management Group* (OMG) e pelo Conselho Internacional de Engenharia de Sistemas (INCOSE) para atender as necessidades de engenheiros de sistemas. Participaram do seu desenvolvimento, uma ampla equipe, incluindo fornecedores de ferramentas, principais usuários do setor e agências governamentais. A SysML foi adotada oficialmente pelo OMG no ano de 2006 (HAUSE, 2006).

De acordo com Friedenthal e Moore e Steiner (2014), a linguagem SysML é uma extensão da outra linguagem gráfica denominada UML (*Unified Modeling Language*), entretanto, na SysML foram introduzidos os diagramas de requisito e paramétrico. Alguns diagramas permaneceram iguais aos utilizados na UML e outros foram adaptados.

Scheeren (2013) aponta que a representação de sistemas pela SysML pode ocorrer através de até nove diferentes diagramas, classificados entre diagramas estruturais, de comportamento, de requisitos e paramétricos. Os diagramas de estrutura definem a arquitetura, componentes e ligações do sistema. Os diagramas de comportamento se referem a como o sistema funciona e como ele atingirá o objetivo. O diagrama de requisitos detalha as necessidades que o sistema precisa satisfazer. E por fim, o diagrama paramétrico obtém informações do diagrama de estrutura para verificar o atendimento dos requisitos. A relação semântica entre os diagramas SysML é ilustrado na Figura 8.

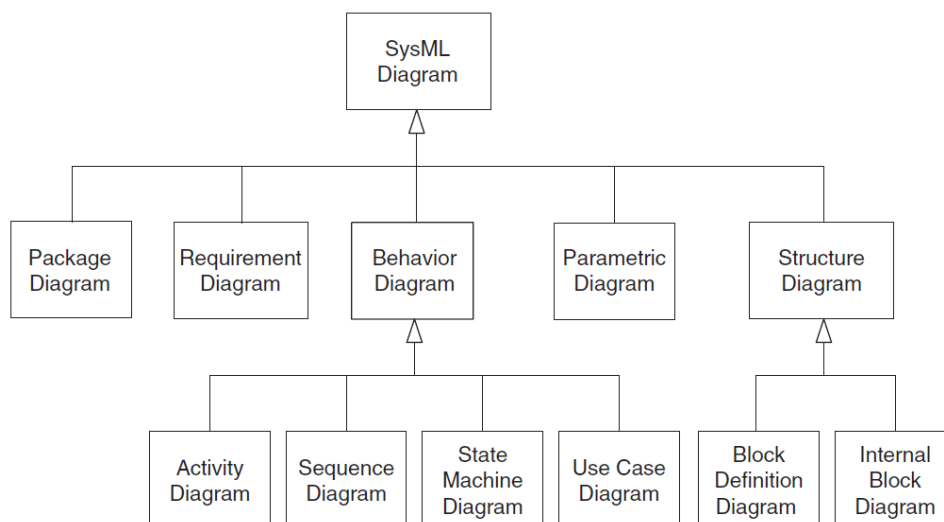
Figura 8 - Semântica entre os diagramas SysML



Fonte: Scheeren (2013)

Os diagramas do tipo estrutura são compostos por diagrama de definição de blocos e diagrama de blocos internos. Os diagramas de comportamento correspondem aos diagramas de sequência, atividade, máquina de estados e casos de uso. Os outros diagramas que completam o conjunto SysML são os diagramas de requisitos, paramétrico e de pacote. A Figura 9 apresenta a taxonomia dos diagramas SysML.

Figura 9 - Taxonomia dos diagramas SysML



Fonte: Friedenthal, Moore e Steiner (2014).

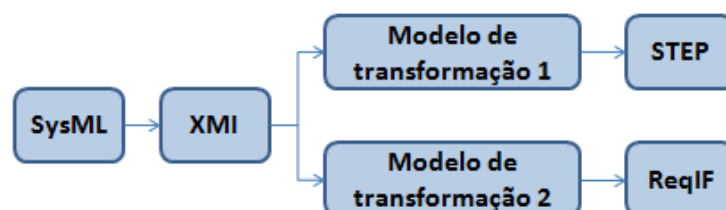
A finalidade de cada diagrama é apresentada no Quadro 2, baseado nas definições de Friedenthal, Moore e Steiner (2014).

Quadro 2 - Finalidade dos diagramas SysML

Diagrama	Finalidade
Paramétrico	Representar em pastas a organização dos elementos do modelo.
Requisitos	Representar os requisitos baseados em texto e seus relacionamentos com outros requisitos e elementos do projeto, permitindo a rastreabilidade dos requisitos.
Atividade	Representar o comportamento em termos da ordem na qual as ações são executadas com base na disponibilidade de suas entradas, saídas e controle, e como as ações transformam as entradas em saídas.
Sequência	Representar o comportamento em termos da troca da comunicação ou troca de mensagens entre as partes do sistema.
Máquina de estados	Representar o comportamento do sistema como sequências de estados que um componente apresenta em resposta a eventos.
Casos de uso	Representar a funcionalidade do sistema em termos de como o sistema é utilizado por atores externos.
Definição de blocos	Representar os elementos estruturais chamados de blocos, a sua composição e hierarquização.
Blocos internos	Representar a estrutura interna de um bloco em termos de como as suas partes estão interligadas.
Paramétrico	Representar as restrições entre os elementos, criadas, por exemplo, através de equações.

Fonte: Adaptado de Friedenthal e Moore e Steiner (2014).

A SysML oferece uma possibilidade de comunicação com outros formatos de arquivos. Segundo apresentam Friedenthal, Moore e Steiner (2014), o modelo SysML gera um arquivo no formato XMI (*XML Metadata Interchange*), e através de um modelo de transformação é possível utilizar suas informações em arquivos nos padrões STEP e ReqIF, utilizados por ferramentas CAD e de gestão de requisitos respectivamente. O esquema de transformação é retratado na Figura 10.

Figura 10 - Esquema de transformação do modelo SysML

Fonte: Adaptado de Friedenthal, Moore e Steiner (2014)

A empresa americana PTC (*Parametric Technology Corporation*) já oferece uma solução de MBSE, especificamente o SysML, dentro do seu pacote para gerenciamento do ciclo de vida do produto (*Windchill*) (PTC, 2018?). O mesmo caminho também é trilhado pela francesa *Dassault Systèmes*, que adquiriu a *No Magic*, empresa que oferece soluções MBSE, conforme anunciado em seu site em junho de 2018. A intenção é incorporar soluções de MBSE na plataforma *3D Experience* (DASSAULT SYSTÈMES, 2018). Já a Siemens, outra desenvolvedora de softwares PLM, permite integrar o software para modelagem SysML *Rational Rhapsody* da IBM ao seu sistema PLM *Teamcenter* conforme informado pela IBM (2015?) referente a versão *Rational Rhapsody 8.1.4*.

2.2.2.2 Padrão ReqIF

A gestão de requisitos (*Requirements Management - RM*) é fundamental durante o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). A adoção desta prática pela indústria automotiva a estendeu aos seus fornecedores, e na sequência, para cada vez mais empresas. Com o passar dos anos, a gestão de requisitos foi se consolidando e se tornando imprescindível no ambiente de engenharia colaborativa (OMG, 2016).

Diversos recursos de software foram lançados para auxiliar as organizações a gerir os requisitos. Todavia, uma dificuldade de comunicação surgiu entre as empresas e seus fornecedores quando não utilizavam as mesmas ferramentas. Era necessário um formato genérico e não proprietário para troca de informações de requisitos para suprir essa carência. Nesse contexto surgiu um padrão denominado Formato de Intercâmbio de Requisitos (*Requirements Interchange Format - ReqIF*) baseado na linguagem XML (*Extensible Markup Language*) (OMG, 2016).

Segunda a OMG (2016), o padrão ReqIF aprimorou a colaboração entre diferentes empresas, por não ser mais necessário a utilização das mesmas ferramentas de RM. Uma empresa fornecedora, por exemplo, pode receber ou enviar requisitos à empresa atendida, mesmo utilizando softwares de RM diferentes, desde que estes softwares trabalhem com o padrão ReqIF.

A versão inicial deste padrão foi desenvolvida a partir de 2004, com o grupo HIS (*Hersteller Initiative Software*) composto por algumas empresas da indústria automotiva alemã. Atualmente o padrão é adotado oficialmente pelo OMG, organização internacional que aprova padrões abertos para aplicações orientadas a objetos, e encontra-se na sua versão 1.2, lançada em julho de 2016 pelo OMG (RMF COMMUNITY, 2016; OMG, 2016).

Para trabalhar com este formato, criou-se um framework para desenvolvimento de aplicações com o Eclipse (plataforma de desenvolvimento para a linguagem Java), denominado *Requirements Modeling Framework* (RMF), que permite ler, escrever e manipular requisitos no padrão ReqIF. Diversas aplicações surgiram ou incluíram o padrão ReqIF em suas funcionalidades. Destaca-se uma ferramenta gratuita, parte do projeto RMF, intitulada *Requirements Engineering Platform* (ProR), construído a partir de uma interface para o framework RMF (RMF COMMUNITY, 2016). Além do ProR, outras ferramentas gratuitas que permitem trabalhar com requisitos são o ReqView e ReqIF Studio. Esses softwares livres são específicos para criar e editar requisitos no framework do padrão ReqIF. Já os softwares proprietários são multifuncionais, oferecendo ambiente para se trabalhar com outros modelos de representações como UML, SysML, BPMN, dentre outros. Exemplos desses softwares proprietários são o Polarion da Siemens, Rational DOORS da IBM e o Enterprise Architect da Sparx Systems.

2.2.3 Desenvolvimento de sistemas

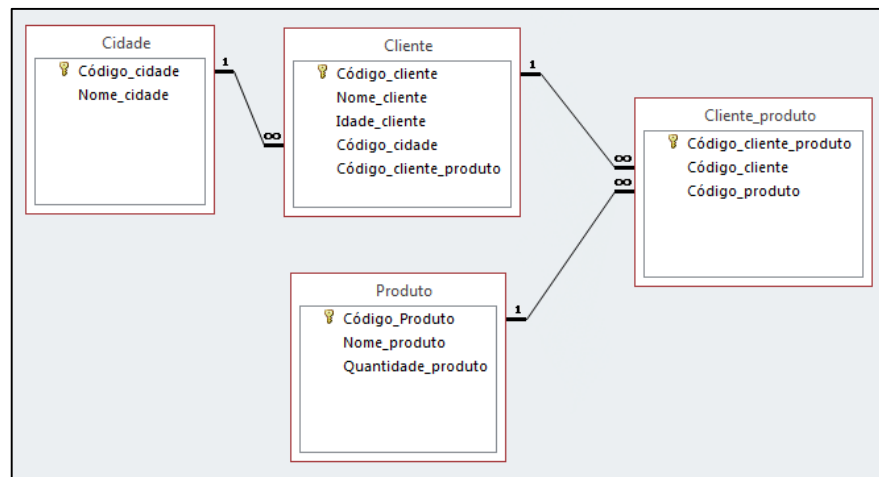
De acordo com Laudon (1999) um Sistema de Informação (SI) envolve a coleta de dados brutos, o processamento para converter esses dados em informações úteis e a saída, que será o fornecimento dessa informação. Em um SI, segundo Turban e Volonino (2013), as interfaces gráficas do usuário (*Graphical User Interfaces* - GUI) aceitam os dados e as informações que serão então processadas, armazenadas em banco de dados e apresentadas na tela ao usuário.

Apesar da vasta coleção de termos que surgiriam ao desmembrar essas definições, serão definidos a seguir exclusivamente os principais conceitos necessários para entendimento da solução construída no presente trabalho.

- a) **Interface de Programação de Aplicativos (*Application Programming Interface* - API):** As interfaces conhecidas como API são ferramentas que permitem a interação de um programa com os outros. Com uma API do *Google Maps*, por exemplo, um programador pode carregar mapas dentro de um site (TURBAN e VOLONINO, 2013). Alguns softwares CAD, como por exemplo, CATIA e SolidWorks, oferecem uma API para criar aplicações adicionais por meio da linguagem de programação *Visual Basic for Application* (VBA).
- b) ***Visual Basic for Application* (VBA):** VBA é uma linguagem de programação semelhante ao *Visual Basic*, mas esta é incorporada a outra aplicação. A linguagem *Visual Basic* por sua vez, é baseada na linguagem BASIC (*Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code*). O termo visual se refere a interface gráfica do usuário que permite ao programador inserir objetos gráficos já pré-programados (PRINCE, RYAN e MINCER, 2005).
- c) **Sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD):** Pela definição apresentada por Silberschatz, Korth e Sudarshan (2012), um SGBD é formado por um conjunto de dados inter-relacionados e um conjunto de programas que permitem acessar esses dados. A coleção de dados é popularmente conhecida de banco de dados. Turban e Volonino (2013) afirmam que o SGBD permite centralizar, gerenciar e acessar os dados por meio de aplicações. Segundo os autores, os SGBD's permitem que diferentes usuários compartilhem dados e recursos de processamento. Exemplos de SGBD vão desde soluções simples, como o *Microsoft Access*, que podem ser carregados no próprio computador do usuário, até sistemas interconectados via redes, como DB2 da IBM ou o *Oracle 11g* (TURBAN e VOLONINO, 2013).
- d) **Modelo Entidade-Relacionamento (MER):** Os modelos de dados entidade-relacionamento são utilizados para representação de um banco de dados. Ele é composto por uma coleção de objetos, chamados entidades, e de relações entre esses objetos. As características dessas entidades são chamadas de atributos. De modo menos abstrato, cada entidade nada mais é do que uma tabela, onde cada coluna representa um atributo. Os relacionamentos entre as entidades podem ser de um para um (1..1), de um para muitos (1..n) ou de

muitos para muitos (n..n) (SILBERSCHATZ, KORTH e SUDARSHAN, 2012 e DATE, 2003). Em um banco de dados de vendas por exemplo, um cliente deve possuir apenas uma cidade, já uma cidade pode possuir muitos clientes, o que caracteriza uma relação de um para muitos (1..n). Por outro lado, um cliente pode comprar muitos produtos e cada um dos produtos pode ser comprado por muitos clientes. Essa situação caracteriza uma relação de muitos para muitos (n..n) e exige a criação de uma nova entidade, chamada de associativa. Nela serão armazenados os atributos que identificam o produto e o cliente para cada item vendido. Esse exemplo é apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Exemplo de modelo entidade-relacionamento



Fonte: O autor.

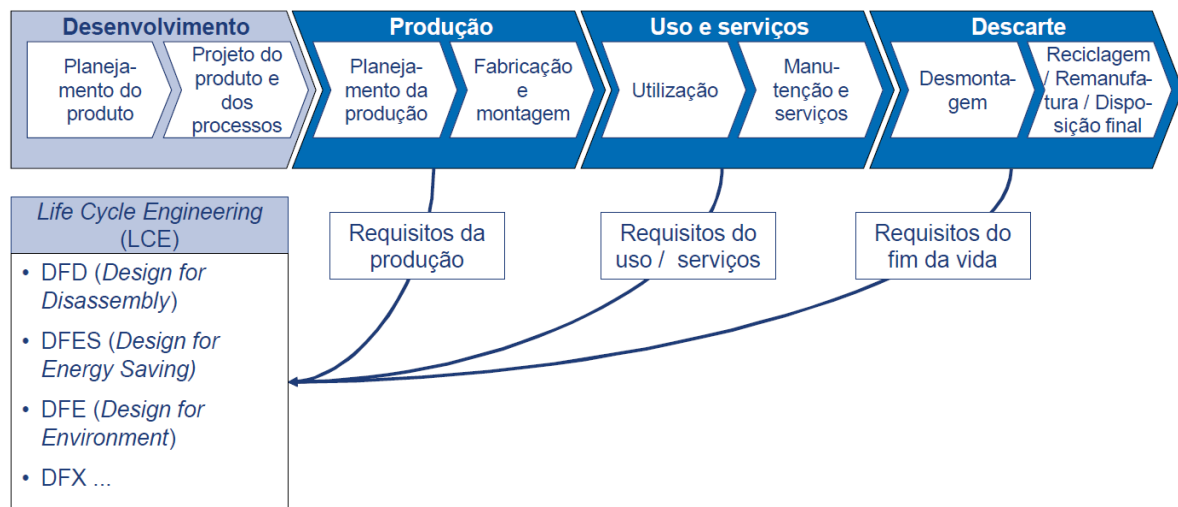
2.3 DESIGN FOR "X"

As decisões tomadas durante as fases de desenvolvimento do produto podem culminar em consequências indesejadas durante todo o ciclo de vida. Contudo, há dificuldades por parte dos projetistas em antever alguns aspectos chave. Com esta atenção, diversos métodos e ferramentas foram elaborados para auxiliar as decisões de projeto. A este conjunto de técnicas é dado o nome de *Design for "X"* (DFX), onde a variável "X" representa a consideração a ser prevista no projeto (ROZENFELD et al., 2006).

Um conceito similar é trazido por Zancul (2009). Para o autor a sigla DFX é conhecida como um conjunto de métodos de projetos aplicados no desenvolvimento

para atender os requisitos de cada etapa do ciclo de vida do produto. Na Figura 12 o ciclo de vida do produto é dividido nas macro fases de desenvolvimento, produção, uso em conjunto com serviços e descarte. Cada macro fase é ainda dividida em fases específicas do ciclo de vida. De cada uma dessas fases surgem requisitos que podem ser atendidos a partir de uma técnica de projeto DFX.

Figura 12 - Requisitos durante o ciclo de vida do produto



Fonte: Zancul (2009)

Segundo Rozenfeld et al. (2006), a aplicação de uma técnica DFX pode ser na forma de um procedimento, um conjunto de regras ou diretrizes, ou então um software capaz de realizar diversas análises. Para os autores, além de influenciar no desempenho, qualidade e competitividade durante todo o ciclo de vida, as técnicas DFX trazem ainda a atratividade econômica, fazendo do produto viável para todos os envolvidos.

Na literatura é possível se deparar com uma grande variedade de terminologias que abordam algum propósito específico dentro do conceito maior de DFX. Eastman (2012) apresenta uma lista de finalidades ("X") com seus respectivos métodos ou ferramentas, ou diferenças de terminologia encontradas (Quadro 3). De maneira similar essas variações são apresentadas por Rozenfeld et al. (2006) e dentre as novidades destacam-se Projeto para Confiabilidade (*Design for Reliability*), Projeto para Fatores Humanos (*Design for Manability*) e Projeto para Competição (*Design for Competition*).

Quadro 3 - Exemplos de variações de Design for "X"

X	Exemplo de Design for X
Design & development	GRAI Integrated Methodogy
Purchasing	Design for profits
Fabrication	Design for manufacturing
	Hitachi MEM
	Design for dimension control
	MFK
Assembly	Design for assembly
	Boothroy-Dewhurst DFA
	Design for PCB assembly cost
	Lucas DFA
	Hitachi AEM
Material logistics	Design for material logistics
Inspection and test	Design for inspectability
	Design for dimension control
Storage/distribution	Design for storability and distribution
Sales/marketing	Design for marketability
	Quality Function Deployment
Use/operation	Design for reliability
	Design for EMC
	Design for safety
	Design for human factors
Service/repair	Boothroy-Dewhurst DFS
	Design for serviceability
	Design for diagnosis
	Design for reliability and maintainability
Recycling & disposal	Design for disassembly for recycling
	Life-cycle design based on ABC
	Design for optimal environment impacts
	Design for ease of recycling
Quality	Design for quality
	Quality Function Deployment
	Failure Modes and Effects Analysis
Cost	Design for assembly cost
	Design for whole life cost
Flexibility	Design for modularity
Environment	Design for environment
	Design for optimal environment impacts
	Design for life cycle
	Life cycle design
	Design for environmentality

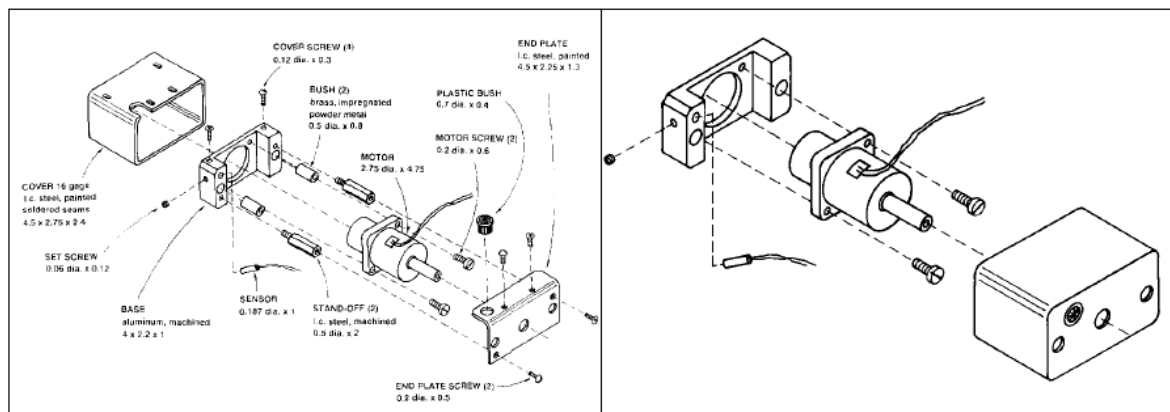
Fonte: Adaptado de Eastman (2012)

2.3.1 Design for Serviceability (DFS)

A grande diversidade de terminologias e ramificações do DFX gera similitude nos propósitos de alguns desses conceitos. Dentro do intuito desse trabalho, orientar o projeto à realização de serviços, percebe-se alguns ramais do DFX com abordagens similares. Os principais DFX's envolvidos nesse contexto são: Projeto para Montagem (*Design for Assembly - DFA*), Projeto para Manutenibilidade (*Design for Maintainability - DFMT*) e Projeto para Servicibilidade (*Design for Serviceability - DFS*).

Segundo Rozenfeld et al. (2006), o DFA verifica funções, formas, materiais e processos de montagem. Segundo os autores, a técnica DFA traz diversas vantagens, como redução do número de peça, simplificação dos processos de montagem, redução das manipulações, maior padronização e modularização, dentre outras. Pahl et al. (2005) apresentam algumas diretrizes que apoiam a aplicação do conceito de DFA, como subdivisão das operações de montagem, redução das operações por meio de alterações nos componentes, padronizações, simplificações, redução das interfaces entre peças e possibilitar e simplificar o armazenamento automático e o manuseio. A Figura 13 exibe um motor de passo antes e depois de uma análise de DFA retratada por Boothroyd (1994).

Figura 13 - Motor de passo antes e depois de uma análise de DFA



Fonte: Adaptado de Boothroyd (1994)

Quanto à diferenciação entre servicibilidade e manutenibilidade, Dhillon (1999) apresenta importantes definições:

a) **Mantenabilidade:** refere-se aos aspectos do produto que melhoram a servicibilidade e a reparabilidade, possibilitando que o produto cumpra aos requisitos projetados.

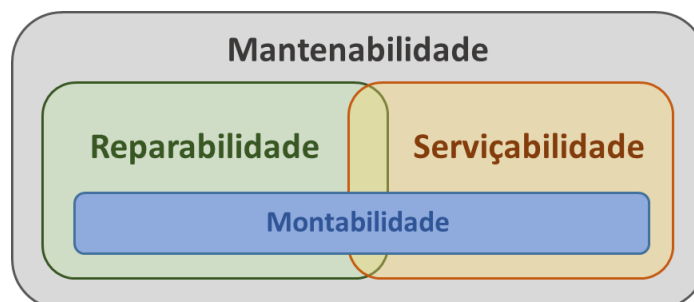
b) **Reparabilidade:** é a probabilidade de um produto com defeito ser reparado e retornar à atividade dentro de um tempo definido.

c) **Servicibilidade:** é o grau de dificuldade ou facilidade de um produto defeituoso poder retornar em atividade.

Na definição de Rozenfeld et al. (2006), o Projeto para Servicibilidade, ou para serviço como os autores intitulam, abrange o arranjo do produto para operação, manutenção e fácil acesso aos componentes. Quanto a manutenibilidade, citada similarmente pelos autores como manutenibilidade, é definida como a capacidade de manter o produto em funcionamento durante todo o ciclo de vida. Observa-se, portanto, uma concordância nas definições dadas ao DFMT, mas uma leve disparidade na interpretação do DFS. Enquanto para Dillon (1999) o Projeto para Servicibilidade foca apenas no retorno do produto à atividade, para Rozenfeld et al. (2006) a definição inclui ainda a operação do produto.

Considerando ser importante chegar a uma conclusão sobre as definições dos termos adotados neste trabalho e como eles se relacionam, a Figura 16 auxilia neste esclarecimento. Baseado nas definições dos autores, observa-se que a manutenibilidade abrange não só a facilidade de realização do serviço (servicibilidade) mas também envolve métricas quantitativas comumente utilizadas na manutenção, como a reparabilidade trazida por Dhilon (1999). Já o objetivo do projeto para montagem, cuja Figura 14 inclui o termo montabilidade, auxilia a tarefa específica de montar, o que influencia, positivamente ou não, qualquer um dos demais termos comparados.

Figura 14 - Abrangência dos diferentes termos relacionados ao DFS



Fonte: O autor.

Nota-se na literatura que diversas recomendações para orientar a montagem, são também indicadas para o DFS. Sassanelli et al. (2016) apontam que o DFA auxilia o DFS ao reduzir o número de peças e fixadores. O manual de técnicas para manutenibilidade DOD-HDBK-791 (1988) do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, apresenta um conjunto de técnicas divididas em: simplificação, padronização e intercambialidade, acessibilidade, modularidade, identificação, testabilidade e técnicas de diagnose, manutenção preventiva, fatores humanos e fatores ambientais. Os objetivos principais dessas características são apresentados no Quadro 4 juntamente com alguns exemplos de recomendações trazidas pelo manual na forma de check-list para verificação.

Quadro 4 - Divisão do check-list para manutenibilidade do manual DOD-HDBK-791

Característica	Objetivo principal	Exemplos de Check-list
Simplificação	Reduzir o número de peças e simplificar o projeto e os procedimentos de manutenção.	<ul style="list-style-type: none"> - Essa função ou parte é realmente necessária? - Essa função poderia ser executada por uma peça padrão ou existente? - Todas as funções são projetadas para usar chave do mesmo tamanho?
Padronização e intercambialidade	Reduzir ao mínimo as variedades de componentes, igualando-os nas especificações.	<ul style="list-style-type: none"> - O projeto faz uso do SI? - Técnicas especiais de fabricação foram evitadas ou minimizadas? - Existe intercambialidade funcional onde a permutabilidade física é possível?
Acessibilidade	Facilitar o acesso a uma área para realizar a manutenção, incluindo o acesso físico e visual. Deve-se também levar em consideração a segurança.	<ul style="list-style-type: none"> - Uma janela transparente ou tampa metálica de abertura rápida é usada para inspeção visual? - Não são mais de quatro fixadores usados para a carenagem? - As aberturas de acesso são livres de bordas que podem ferir o técnico ou prender roupas?

Modularidade	Dividir o produto em subconjuntos (módulos), permitindo a montagem e desmontagem de forma agrupada.	<ul style="list-style-type: none"> - Foi considerada a possibilidade de unificar um módulo com componentes não confiáveis removíveis pelo exterior? - Dispositivos de desconexão rápida são usados para facilitar remoção e substituição do módulo? - A falha de peças baratas resulta no descarte de um módulo caro?
Identificação	Fornecer as informações adequadas e claras para realização do serviço, incluindo questões de segurança.	<ul style="list-style-type: none"> - As peças são carimbadas ou rotuladas com informações sobre características relevantes? - As instruções são breves, ou seja, palavras e pontuações desnecessárias são omitidas? - As abreviaturas padrão foram usadas?
Testabilidade e técnicas de diagnose	Permitir identificar o status de uma unidade ou sistema, além de permitir o isolamento das falhas.	<ul style="list-style-type: none"> - Os pontos de teste do sistema são acessíveis sem remover módulos e/ou componentes? - Cada ponto de teste é rotulado com o sinal de tolerância ou limites que devem ser medidos? - O sistema de teste fornece isolamento de falhas para o nível de substituição desejado?
Manutenção preventiva	Fornecer condições para lubrificação, limpeza, preservação, ajuste e alinhamento.	<ul style="list-style-type: none"> - Conexões de lubrificação padrão são usadas para não exigir extensões ou conexões especiais? - Os pontos de reposição de fluido estão em local com pouca chance de vazamento durante a manutenção? - Os materiais são adequados contra umidade, fungos e corrosão?
Fatores humanos	Considerar no projeto dados antropométricos, limitações de força e movimento, capacidades sensoriais, além de fatores psicológicos.	Não fornece checklist, mas apresenta recomendações antropométricas, de capacidade de carregamento de carga, de iluminação, de visão e audição.

Fatores ambientais	Considerar as condições naturais e induzidas do ambiente onde o produto estará inserido.	Não apresenta checklist, mas aborda as influências dos fatores ambientais terrestres (topografia, hidrologia, etc), climáticos (temperatura, umidade, radiação solar, etc), biológicos (microrganismos), transportados pelo ar (poeira, poluentes, etc), mecânicos (vibração, choques, etc) e de energia (radiação eletromagnética, nuclear, etc).
--------------------	--	--

Fonte: Adaptado de DOD-HDBK-791 (1988)

Similarmente, o manual MIL-HDBK-470A (1997) propõe uma extensa lista de diretrizes para o projeto divididas pelas características do produto e pelos tipos de equipamentos, subsistemas ou áreas de aplicação. Essas diretrizes foram desenvolvidas, em grande parte, ao longo de muitos anos de experiência adquirida pela McDonnell Douglas na concepção de aviões e helicópteros comerciais e militares antes da sua fusão com a Boeing consolidada em 1997. Outras diretrizes foram recomendadas por engenheiros de projeto e de manutenção de várias empresas e associações profissionais que revisaram a produção deste manual.

Abbatiello (1995) destaca três dos principais recursos que favorecem o grau de servicibilidade dos produtos: simplicidade, acessibilidade e modularidade, que serão melhor detalhados a seguir.

2.3.1.1 Simplicidade

Um dos principais conceitos utilizados para o DFS é a simplicidade do produto e dos componentes. Um dos parâmetros que pode ser adotado para simplificação é a redução do número de peças. Abbatiello (1995) expõe que devido a cada peça ter a sua probabilidade de falha e de ser montada erroneamente, diminuir o número de peças pode elevar a confiabilidade e reduzir o tempo de montagem. O autor apresenta o resultado de estudos de casos de realização de serviços, onde na média, 34% do tempo foram despendidos para a operação de desmontagem e 44% para montagem.

Sobre a simplicidade do produto, Rozenfeld et al. (2006) abordam que a diminuição do número de peças pode ocorrer pela integração de componentes, que

causa ainda a diminuição de desenhos, documentos de inventário, controle da produção e inspeção, dentre outras vantagens. Moschetto (2009) aponta que entender a capacidade do pessoal da assistência técnica, do ambiente do serviço, e das ferramentas disponíveis é fundamental para projetar com esta intenção.

2.3.1.2 Acessibilidade

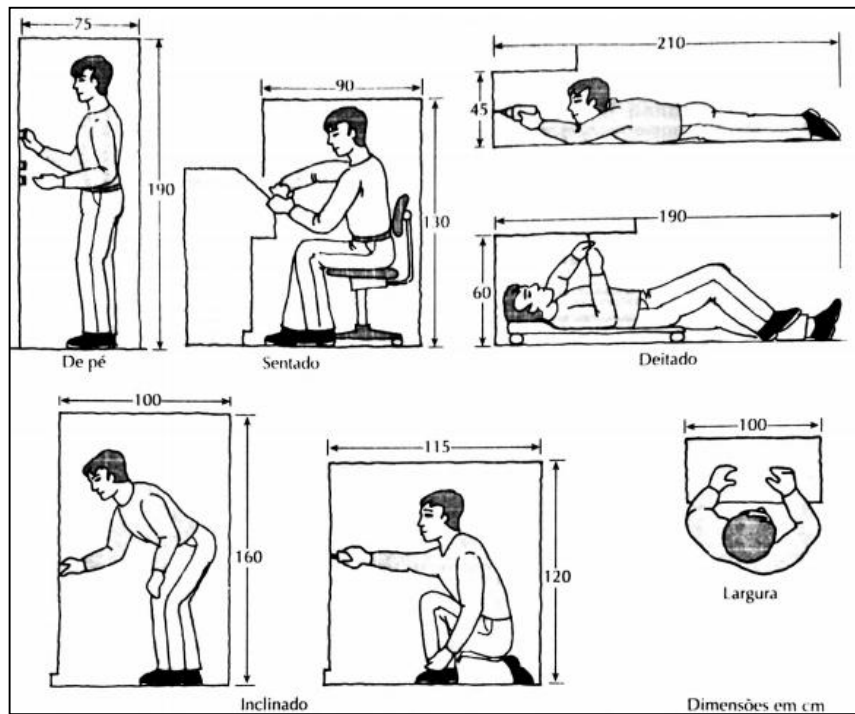
Para Abbatiello (1995) a dificuldade de acesso para o serviço é possivelmente um dos erros mais comuns em projetos de produtos. O autor aponta que os erros podem ser em aberturas pequenas, espaços que não comportam o operador do serviço ou espaços que não permitem o movimento adequado para realizar a tarefa. Percebe-se então uma grande relação do fator acessibilidade com estudos relacionados a ergonomia, como a antropometria.

Iida (2005) apresenta que o posto de trabalho, aberturas e passagens devem ser dimensionados para atender o percentil máximo da população, representados por 95% dos homens. Já alcances devem ser dimensionados pelo mínimo, representado por 5% das mulheres. Iida (2005) ainda traz diversas recomendações para um projeto ergonômico, como por exemplo, para um trabalho com os dois braços, a área ótima será a região onde cruza os dois raios obtidos ao girar os dois antebraços com o cotovelo junto ao corpo. Para o espaço de trabalho, o autor retrata as dimensões necessárias para algumas posturas típicas (Figura 15). Blanchard, Verma e Peterson (1995) retratam nas Figuras 16 e 17, respectivamente, o espaço requerido para o uso de algumas ferramentas em janelas de acesso, e o espaço requerido para o uso de algumas ferramentas universais.

2.3.1.3 Modularidade

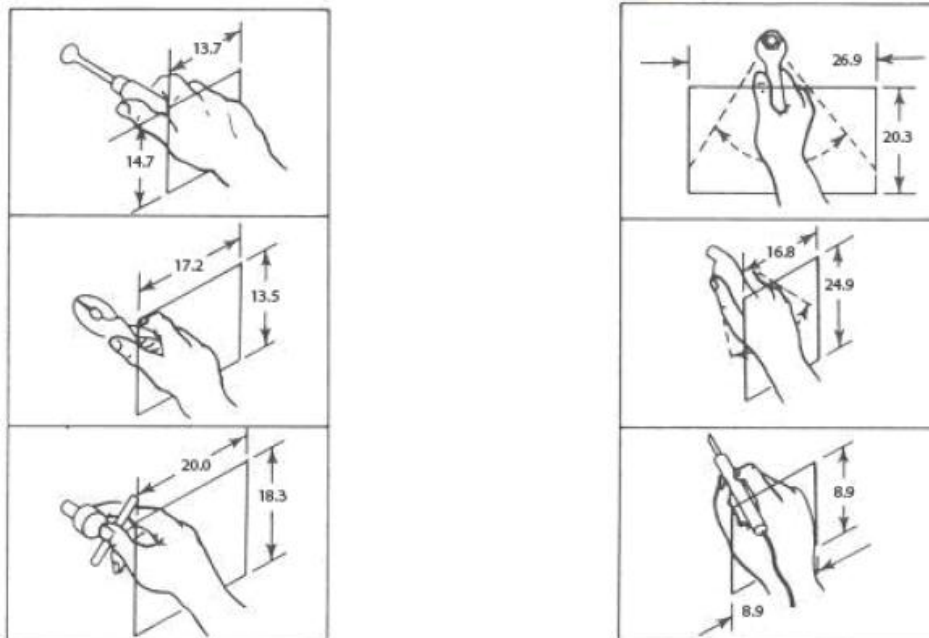
A modularidade é outro recurso desejável do ponto de vista da servicibilidade. Segundo Abbatiello (1995), ela pode ser alcançada separando um produto complexo em diversos módulos que podem ser montados juntos. Caso ocorra um problema, além de facilitar a desmontagem, geralmente apenas um módulo será acometido por uma falha, e este pode ser diagnosticado separadamente. Para o autor a modularidade diminui o tempo de inatividade e melhora a disponibilidade do produto.

Figura 15 - Espaço de trabalho necessário para algumas posturas (em cm)



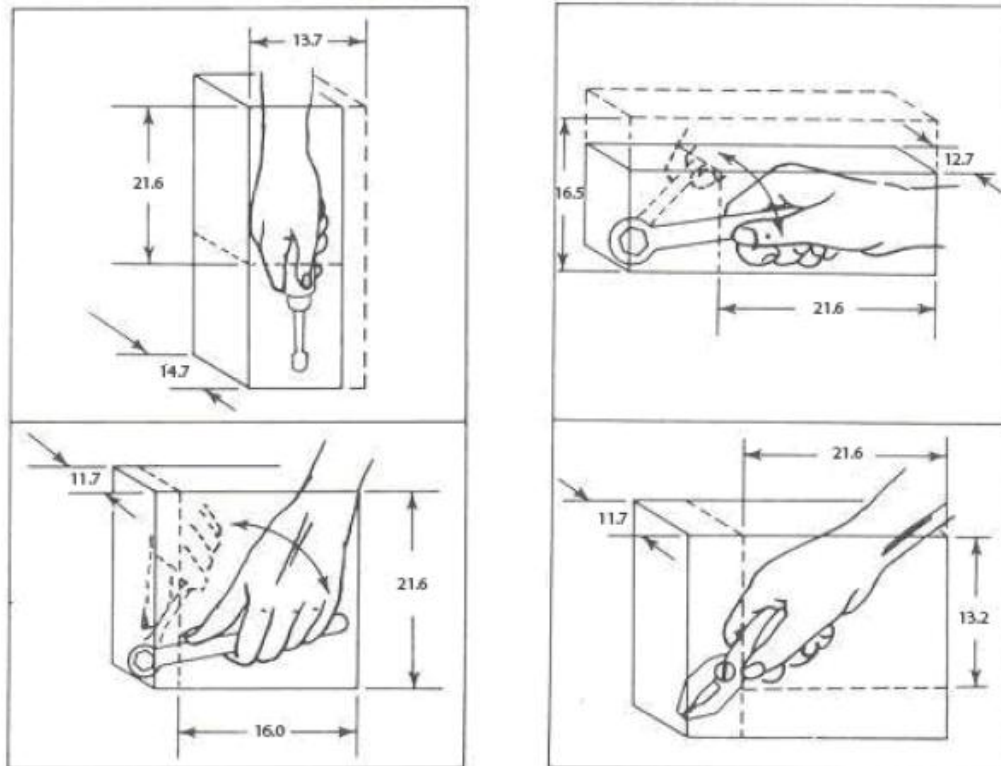
Fonte: Iida (2005)

Figura 16 - Espaço requerido para o uso de algumas ferramentas em janelas de acesso (em cm)



Fonte: Blanchard, Verma e Peterson (1995)

Figura 17 - Espaço requerido para o uso de algumas ferramentas universais (em cm)



Fonte: Blanchard, Verma e Peterson (1995)

Moscheto (2009) lista algumas das vantagens da modularidade:

- a) ao dividir o produto por especialidades, exige-se menor conhecimento da assistência técnica;
- b) diminui o número de ferramentas;
- c) simplifica o reconhecimento, isolamento e substituição da peça defeituosa;
- d) agiliza o reparo quando se tem módulos intercambiáveis, ao permitir a troca de um módulo completo;
- e) minimiza a possibilidade de atingir outras peças em intervenções durante o reparo, como em uma soldagem;
- f) pode-se prever a substituição de módulos que alteram a capacidade do produto.

2.3.1.4 Considerações sobre ergonomia

lida (2005) define a ergonomia como sendo o estudo da adaptação do trabalho ao homem, considerando este trabalho como sendo todos os relacionamentos entre o homem e uma atividade produtiva. Abrahão et al. (2009) apresentam uma definição de ergonomia segundo a Associação Internacional de Ergonomia, na qual trata a ergonomia similarmente com o termo fatores humanos.

Segundo lida (2005), a análise do trabalho de forma global inclui aspectos físicos, cognitivos, sociais, organizacionais, ambientais, dentre outros, mas frequentemente a abordagem se dá por meio de três domínios especializados, que são: ergonomia física, cognitiva e organizacional.

A ergonomia física trata da anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica, relacionados às atividades físicas. Alguns exemplos de estudos são a postura durante o trabalho e o manuseio de materiais. Já a ergonomia cognitiva trata dos processos mentais como, por exemplo, da percepção, memória e raciocínio. Os seus estudos incluem a carga mental, o estresse e a tomada de decisões. Já o terceiro domínio é a ergonomia organizacional que abrange as estruturas organizacionais, políticas e de processos (ABRAHÃO et al., 2009; LIDA, 2005).

De acordo com lida (2005), os objetivos da ergonomia são a saúde, segurança, satisfação e eficiência, sendo que os três primeiros devem sobrepor a eficiência, ou seja, a eficiência deverá vir como consequência.

Este capítulo apresentou a gestão do conhecimento e de requisitos dentro do PDP, com o objetivo de aproveitar esta teoria para a aplicação da técnica DFS. Ferramentas computacionais foram apresentadas junto a Engenharia Baseada no Conhecimento para apoiar o desenvolvimento da solução. Além disso, uma visão geral sobre as diversas variações dentro do DFX foi apresentada, e aprofundado acerca do DFS. Com a fundamentação teórica apresentada, a seção seguinte irá expor os aspectos relacionados à metodologia.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo a pesquisa é caracterizada (seção 3.1) e uma abordagem metodológica é apresentada de modo a propor uma estrutura para o desenvolvimento do trabalho (seção 3.2). A seguir, os procedimentos adotados pelo autor para cumprir cada etapa dessa estrutura são apresentados na seção 3.3. Por fim, a seção 3.4 discutirá as limitações do trabalho.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Silva e Menezes (2005) e Gil (1991), a pesquisa é um conjunto de ações realizadas quando há um problema, mas não há informações suficientes para solucioná-lo, ou ainda, quando a informação se encontra desordenada de tal modo que dificulte o relacionamento com o problema. Unindo as propostas desses autores, é possível classificar a pesquisa de acordo com cinco critérios, explanados a seguir:

a) Quanto a sua natureza, a pesquisa pode ser básica, quando gera novos conhecimentos de interesses universais, mas sem previsão de aplicação prática, ou então pode ser aplicada, quando se aplica na solução de interesses locais (SILVA E MENEZES, 2005).

b) Quanto à abordagem, a pesquisa pode ser quantitativa, quando opiniões e informações podem ser traduzidas em números para classificação e análise, ou pode ser qualitativa, quando se interpretam fenômenos e atribuem significados (SILVA E MENEZES, 2005).

c) Quanto aos objetivos, Gil (1991) apresenta que a pesquisa pode ser exploratória, quando visa tornar um problema explícito ou a construir hipóteses, pode ser descritiva, quando visa descrever determinada população ou fenômeno, ou pode ser explicativa, quando busca o "porquê" das coisas. Hevner e Chatterjee (2010) dividem a pesquisa em descritiva, quando se busca compreender e descrever determinados fenômenos, ou em prescritiva, quando se busca propor soluções ou melhorias a um problema.

d) Quanto aos procedimentos técnicos a pesquisa pode ser bibliográfica, documental, experimental, de levantamento, estudo de caso, *Ex-post-facto* (experimento após os fatos), pesquisa ação (estritamente ligada à resolução de um

problema) e pesquisa participante (interação entre pesquisadores e membros da situação investigada) (GIL, 1991).

Com base nas definições apresentadas, conclui-se que a presente pesquisa é de natureza prática, possui forma de abordagem qualitativa, é exploratória ou prescritiva quanto aos objetivos, e seus procedimentos técnicos se enquadram em uma pesquisa ação, voltada a resolução de um problema.

3.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Para pesquisas prescritivas, Dresch, Lacerda e Junior (2015) propõem que uma abordagem metodológica denominada *Design Science Research* (DSR) seja adotada por focar na resolução de problemas. A DSR é uma abordagem que diferencia os estudos das ciências naturais (como e por que as coisas acontecem) da ciência do projeto ou artificial (*Design Science*), relacionada a como as coisas devem ser para atingir tal objetivo. A DSR fundamenta e operacionaliza a condução da pesquisa quando o seu objetivo é um artefato ou uma prescrição (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015).

March e Smith (1995) definem que esses artefatos podem ser na forma de construções, modelos, métodos ou instâncias:

a) construções: corresponde a conceituações utilizadas para descrever problemas dentro do domínio e para especificar suas soluções;

b) modelos: é uma representação de como as coisas são, podendo ser um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre as construções.

c) métodos: caminhos que devem ser seguidos, por meio de um algoritmo ou orientação, para executar um tarefa, podendo se basear em construções ou modelos subjacentes;

d) instâncias: é a concretização de um artefato, ou seja, aplicações físicas para realizar determinadas atividades.

Para se chegar ao artefato, diversos autores abordam a DSR como um conjunto de seis fases que conduzem a solução, que são elas: identificação do problema, definição de objetivos e solução, projeto e desenvolvimento, demonstração, avaliação e comunicação dos resultados (HEVNER; CHATTERJEE, 2010; PEFFERS et al., 2007). Essas fases da DSR são retratadas na Figura 18. Na sequência, cada

fase é detalhada de acordo com os autores supracitados. Os procedimentos realizados em cada fase são apresentados na seção seguinte.

Figura 18 - Fases da abordagem DSR



Fonte: Adaptado de Peffers et al. (2007).

- a) Identificação do problema e motivação: nesse momento o problema deve ser definido e justificado, para que fique claro a importância da resolução e que gere motivação nos pesquisadores e no público.
- b) Definição dos objetivos: nesta fase deve-se inferir os objetivos de uma solução a partir do conhecimento do problema e do que é viável realizar. Para isso, deve-se realizar uma consulta a literatura para identificar quais soluções já foram propostas.
- c) Projeto e desenvolvimento da solução: o desenvolvimento deve incluir a determinação da funcionalidade desejada ao artefato e a sua arquitetura e, em seguida, cria-lo realmente.
- d) Demonstração: essa fase deve demonstrar que o uso da solução resolve uma ou mais instâncias do problema, como por exemplo, simulação, estudo de caso, prova, ou outra atividade apropriada.
- e) Avaliação: a avaliação deve ocorrer comparando o resultado alcançado com o resultado esperado de uma solução. Essa avaliação pode ser realizada por questionários com os profissionais envolvidos, e/ou por métricas criadas pelo método proposto.
- f) Comunicação dos resultados: os resultados devem ser comunicados, seja para demais pesquisadores por meio de uma publicação científica, ou para outros públicos interessados, como por exemplo, possíveis empresas colaboradoras.

3.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Conforme apresentado, a DSR fornece um *framework* metodológico ao propor uma estrutura utilizada pela ciência do artificial para se chegar a um artefato. Entretanto, cabe ao pesquisador estabelecer como essas etapas serão cumpridas. Desse modo, a presente seção apresentará os procedimentos adotados neste trabalho para cada uma das etapas definidas na abordagem metodológica DSR.

a) Identificação do problema e motivação

Para a primeira fase da DSR o presente trabalho criou delimitações ao tema de pesquisa e analisou o seu potencial de contribuição através da busca pelo conhecimento dos problemas. Iniciou-se em um contexto mais amplo visando auxiliar o desenvolvimento do produto a incorporar necessidades de outras fases do ciclo de vida através da KBE. Entretanto, as delimitações se consolidaram e especificaram ainda mais o tema de pesquisa apenas após a segunda fase da DSR, apoiando-se em um referencial teórico maior.

b) Definição dos objetivos

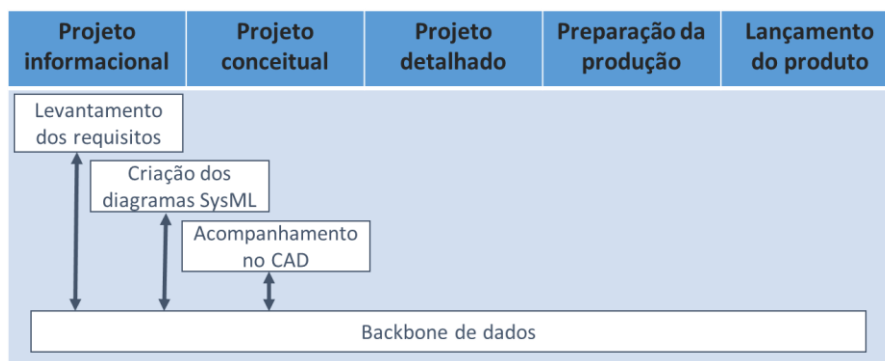
Essa fase foi realizada por meio de uma análise bibliométrica e sistêmica da literatura (APÊNDICES A e B). Esses estudos nortearam a construção do objetivo, que de maneira geral, foi a construção de um método para auxiliar as fases iniciais do desenvolvimento do produto a melhorar a capacidade de realização de serviços nos produtos. Já os objetivos específicos foram correlacionados com as entregas de cada fase da DSR.

c) Projeto e desenvolvimento da solução

Para o trabalho proposto, o artefato correspondeu a um método. Esse método foi desenvolvido tomando como alicerce as etapas iniciais do desenvolvimento, projeto informacional e conceitual, conforme modelo proposto por Rozenfeld et al. (2006). Para cada uma dessas etapas atribui-se as atividades para colaborar com a resolução do problema. Uma visão sintetizada do método é apresentada na Figura 19, inserindo as suas principais atividades nas fases do PDP. Mais detalhes da solução proposta será apresentada na seção 4.1.

Para o projeto informacional, a solução incorporada ao método se concentrou no levantamento dos requisitos e uso da linguagem SysML para representação do produto. O software Visual Paradigm foi utilizado para criação dos diagramas SysML. O modelo SysML tem o potencial de representar as especificações meta proposta por Rozenfeld et al. (2006) como entrega do projeto informacional para a fase conceitual.

Figura 19 - Síntese do método proposto



Fonte: O autor.

Já no projeto conceitual o método preocupou-se em promover o acompanhamento dos requisitos pelos projetistas. Para isso, o ambiente mais adequado para fornecer esses requisitos foi dentro do software CAD, local onde o conhecimento representado na forma de requisitos deve efetivamente se traduzir em forma do produto. Nesse sentido, criou-se ferramentas que permitem esse acompanhamento. O desenvolvimento dessas ferramentas ocorreu por meio da API oferecida pelo SolidWorks para criação de aplicações em VBA. As ferramentas permitem a consulta aos diagramas SysML, a inserção e consulta de requisitos e a criação de um envelope de acesso para o uso de ferramentas.

Por fim, para resolver o problema de comunicação entre as etapas do método, incorporou-se uma base de dados para fazer o papel de um *backbone* de dados durante o desenvolvimento, se inspirando no modelo apresentado por Chandrasegaran et al. (2013) referente as formas de representação do conhecimento durante o ciclo de vida do produto (Figura 3). Os autores apresentam uma via unificada de retorno do conhecimento necessário para a previsão do projeto. Inferiu-se portanto, que a ferramenta adequada a esta função deveria se comunicar com todas as ferramentas específicas de cada fase. Criou-se para essa função, um banco de dados

no Microsoft Access que deverá se comunicar com todas as etapas do método. Na seção 4.1.1 serão discutidas as demais possibilidades para ocupar esse espaço.

d) Demonstração

A demonstração do trabalho ocorreu com a criação de um contexto de aplicação do método. O contexto escolhido foi o desenvolvimento de um motor a combustão automotivo. Por ser um produto bastante conhecido, o levantamento dos requisitos foi favorecido. Entretanto, devido ao método se limitar ao início do desenvolvimento, restringiu-se a demonstração apenas para as fases abordadas no método.

Na fase de levantamento dos requisitos, apesar do desenvolvimento não ser direcionado a uma empresa, não possuindo um histórico de conhecimento de projetos passados, buscou-se na literatura requisitos genéricos de servicibilidade, requisitos específicos para o produto desenvolvido, além da voz dos clientes através de entrevistas de profissionais de manutenção automotiva e criação da primeira matriz do QFD.

Na criação dos diagramas em SysML, identificou-se quais diagramas poderiam representar melhor os serviços, pois o objetivo dessa representação diverge da representação do produto. Assim, os mesmos tipos de diagramas para representar os serviços e o produto poderiam coexistir em um mesmo projeto. Essa discussão é melhor realizada na seção 4.1.3.

No acompanhamento na ferramenta CAD, o fato de não prosseguir com a criação de um modelo do motor prejudicaria o uso da ferramenta para criação de um envelope de acesso. Para suprir essa necessidade, utilizou-se como modelo geométrico um projeto parcial de um veículo de baixa de competição estudantil.

Já o banco de dados não necessita ser acessado diretamente pelo usuário, salvo para incluir dados diretamente ou extrair relatórios diferentes das possibilidades de consulta oferecidas na ferramenta de acompanhamento no CAD, se assim preferir.

e) Avaliação

Para a avaliação dos resultados, foi criado um vídeo de apresentação do método contendo uma introdução ao tema, o objetivo do trabalho, o resultado (método desenvolvido) e a sua demonstração tendo um motor a combustão como cenário. Esse vídeo foi apresentado a profissionais envolvidos com o desenvolvimento do

produto, que responderam um questionário de avaliação quanto aos critérios de operacionalidade, eficiência, generalidade e facilidade de uso. Esses critérios são sugeridos por March e Smith (1995) para avaliação de um artefato do tipo método.

O critério de operacionalidade avalia a capacidade do método em ser reproduzido ou implantado. O critério de eficiência avalia a capacidade do método em auxiliar o cumprimento dos objetivos. Já o critério de generalidade avalia a abrangência do método. Por fim, por facilidade de uso entende-se o quão simples será para os usuários a utilização ou adaptação ao método. Para cada critério foi elaborada uma questão para os avaliadores responderem de 1 a 5. Ao final os resultados são analisados.

f) Comunicação dos resultados

A conclusão da pesquisa se dará com a publicação dos resultados na forma de artigo em uma revista científica relevante na área do estudo, além da disponibilidade pública da presente dissertação.

3.4 DELIMITAÇÃO DE ESCOPO

Quanto aos requisitos de servicibilidade, o presente trabalho não se propõe realizar uma análise qualitativa desses requisitos, ou seja, limitou-se apenas a sua obtenção por diferentes fontes. Outra restrição reside na ausência de análise de como esses requisitos influenciariam nas demais demandas do ciclo de vida do produto, manifestadas por outros DFX's. Essa tarefa também foge do escopo do trabalho.

Apesar das ferramentas criadas para o acompanhamento dos requisitos no sistema CAD, esses requisitos não são utilizados para gerar um modelo geométrico da solução, ou seja, o trabalho não substituirá a exigência inventiva que pesa sobre o projetista. Ressalta-se porém, que este poderia ser um passo adiante, mas não alçado neste trabalho.

Outra limitação se refere aos diagramas SysML. O objetivo do trabalho não prevê a representação de um produto completo por meio de um modelo SysML. Os diagramas SysML são utilizados apenas como parte do método proposto e voltados a uma finalidade de serviço.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados das fases intermediárias da DSR que compreendem ao projeto e desenvolvimento da solução, demonstração e avaliação. Ressalta-se que as duas primeiras fases da DSR, identificação do problema e motivação e definição dos objetivos, já se encontram incorporadas ao trabalho, sobretudo no Capítulo 1.

4.1 SOLUÇÃO PROPOSTA

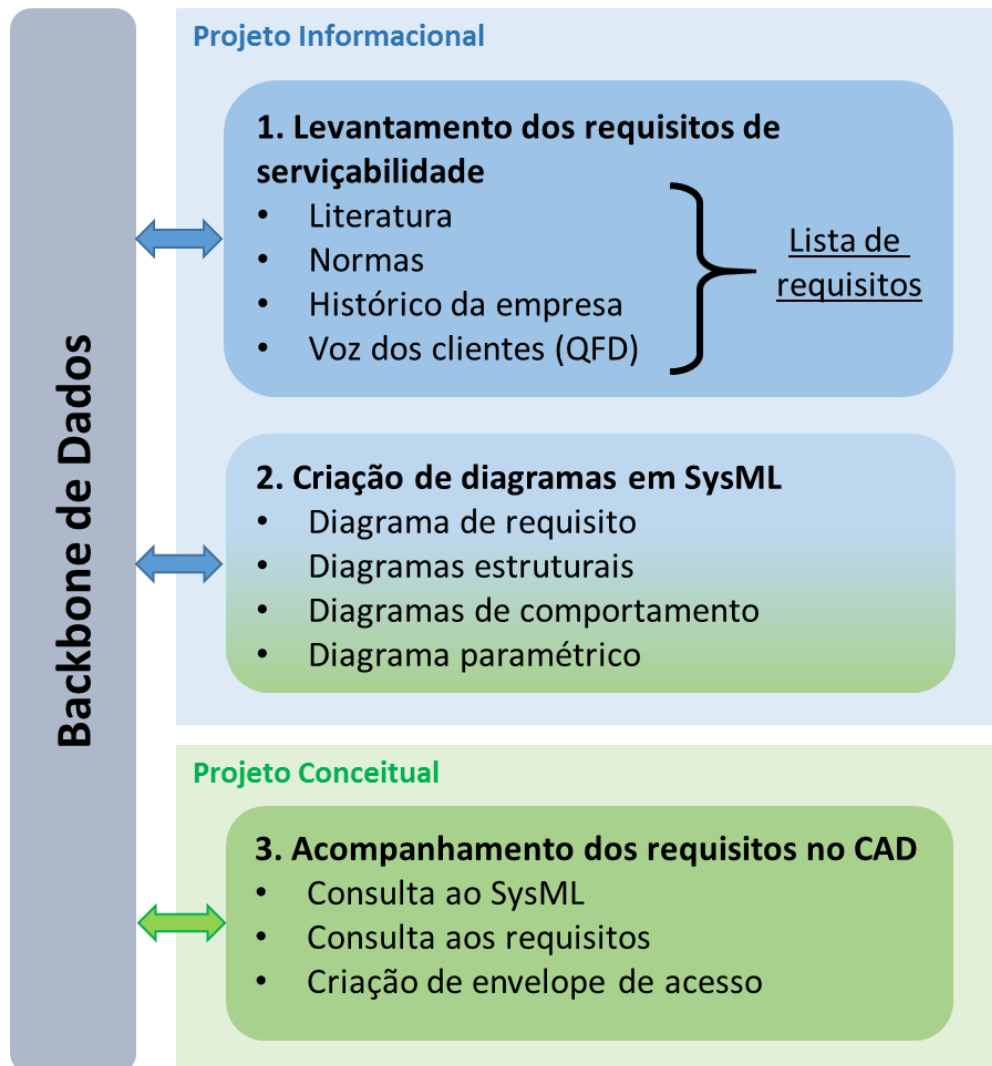
Conforme trazido na fundamentação teórica, é imprescindível a consideração dos requisitos oriundos das necessidades das diferentes fases do ciclo de vida do produto. A fase de uso e serviços, mais especificamente quando se refere aos serviços de manutenção, tem seus requisitos atualmente sendo analisados após a concepção do produto. Geralmente estes requisitos se encontram em formas de *check-list*, conforme apresentados na introdução.

Para trazer ganhos ao desenvolvimento, o objetivo deste trabalho propõe antecipar a incorporação desses requisitos ao projeto. Para tanto, buscou-se produzir um método para atuar nas primeiras fases do desenvolvimento. Adotou-se como referência para construção do método, o modelo de referência para gestão de desenvolvimento do produto proposto por Rozenfeld et al. (2006).

No modelo de Rozenfeld et al. (2006) a primeira fase corresponde ao projeto informacional, quando se busca levantar todas as informações relacionadas ao produto. Na sequência, o projeto conceitual utiliza essas especificações trazidas da fase anterior para dar vida ao produto. Ambas as fases citadas foram utilizadas como alicerce para alocar as etapas do método elaborado.

O método proposto, apresentado na Figura 20 de forma esquemática, inicia com o levantamento dos requisitos de servicibilidade, ou seja, os requisitos destinados a melhorar a capacidade de realização de serviços no produto. A sequência se dá com a criação dos diagramas SysML, e por fim, com a utilização de ferramentas no software CAD para acompanhamento desses requisitos. Para todas as etapas é proposta a comunicação com um *backbone* de dados, seja apenas para consulta ou para gravação desses requisitos.

Figura 20 - Método proposto



Fonte: O autor.

Cada etapa desse método terá a sua discussão e desenvolvimento detalhados nas subseções a seguir, iniciando pelo *Backbone* de dados.

4.1.1 Backbone de dados

O *Backbone* de dados ocupa no método o ofício de armazenamento dos requisitos. Ele poderá ser por exemplo, um banco de dados, ou um software PLM que também integre a gestão de requisitos. Ao se referir aos dados, esse banco será como uma espinha dorsal durante o desenvolvimento do produto. Ele deverá permitir o armazenamento dos requisitos e, através dele, as demais etapas poderão consultar ou realimentar esses requisitos.

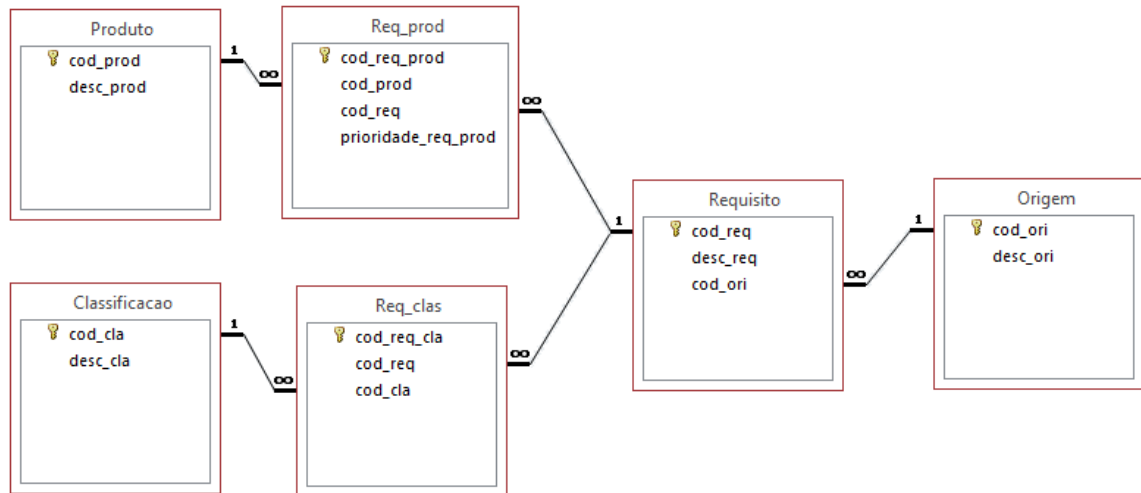
As características propostas para esse *backbone* vão de encontro com a finalidade dos sistemas PLM, sendo assim, eles possuem um grande potencial para ocupar esse espaço. Contudo, conforme apresentado na fundamentação teórica, é recente e ainda em aprimoramento a adoção pelos sistemas PLM de ferramentas MBSE, como o SysML, que potencializam o suporte as fases iniciais do desenvolvimento. A Figura 7 corrobora com esta última afirmação. Soma-se a isso ainda, as limitações financeiras para aquisição desses sistemas.

Outra possibilidade para fazer o papel do *Backbone* são as ferramentas de gestão de requisitos, entretanto, há ainda dificuldades de comunicação com sistemas para outras finalidades dentro do PDP. O padrão ReqIF por exemplo, padroniza a comunicação entre diferentes softwares de requisitos, mas necessita de modelos de transformação para aproveitamento de seus dados em padrões diferentes, como STEP ou SysML. Dessa forma, o presente trabalho adotou como *backbone* um banco de dados desenvolvido para este fim específico.

O banco de dados de dados desenvolvido foi construído no Access, disponível no pacote de software Microsoft Office. A escolha pelo Access se deu pela fácil interface com o usuário e comum disponibilidade. Além disso, ele possui relativa facilidade de comunicação com aplicações programadas em VBA, o que o torna interessante pela intenção de integrá-lo a um software CAD, que geralmente possuem um ambiente de programação para essa linguagem, a exemplo do SolidWorks, Catia ou CREO. Por outro lado, comercialmente a solução poderia oferecer maior confiabilidade com um SGBD mais robusto.

A Figura 21 traz a o MER do banco de dados desenvolvido. Observa-se inicialmente as entidades *Requisito*, *Origem*, *Produto* e *Classificacao*. Cada uma dessas entidades possuem como atributos seu código e descrição. A relação entre *Origem* e *Requisito* é de um para muitos, ou seja, cada requisito deverá possuir apenas uma origem, mas cada origem poderá possuir muitos requisitos. Já para *Classificacao* e *Produto*, a relação com a entidade *Requisito* deverá ser de muitos para muitos, ou seja, para *Produto* por exemplo, cada produto poderá possuir vários requisitos, e cada requisito poderá ser atribuído a vários produtos. Devido a isso, novas entidades foram necessárias para intermediar essas relações, que são elas *Req_prod* e *Req_Clas*.

Figura 21 - Modelo entidade-relacionamento do banco de dados



Fonte: O autor.

É relevante observar também que a prioridade do requisito é um atributo de Req_prod. Isso significa que a prioridade não será do requisito em si, mas sim da associação entre um requisito e um produto. Assim, um requisito poderá possuir prioridades diferentes quando aplicados a produtos diferentes. Essa prioridade foi padronizada em valores de 1 a 5.

Na sequência, o método foi desenvolvido apoiando-se no banco de dados criado. Outra solução de banco de dados, ou a utilização de um software PLM, exigiriam uma adaptação das ferramentas desenvolvidas para o acompanhamento dos requisitos, apresentadas na subseção 4.1.4.

4.1.2 Primeira etapa: levantamento dos requisitos de servicibilidade

A primeira etapa do método (Figura 20) ocorre no projeto informacional, ou seja, quando ainda está levantando as informações, como as necessidades do produto. O manual MIL-HDBK-470A (1997) indica que algumas das fontes para os dados de manutenção podem ser o histórico de produtos similares, dados do projeto ou produção e dados salvos durante demonstrações ou uso em campo.

Considerando ainda a fundamentação teórica apresentada, sugere-se para esta etapa do método a construção de uma lista de requisitos de servicibilidade que deverá ser criada com buscas na literatura, normas, pelo conhecimento da empresa obtido em projetos passados e pela voz dos clientes através de um QFD.

A construção do QFD deverá ser direcionada às necessidades de serviço. Para isso, os clientes ouvidos serão os profissionais que realizam o serviço e as necessidades dos clientes serão as suas necessidades.

A construção de um banco de requisitos de servicibilidade exige ainda uma realimentação constante desses requisitos através do histórico da empresa. Observou-se que os requisitos encontrados na literatura são mais genéricos, portanto, a dependência da construção de um *know-how* próprio para cada empresa contendo requisitos específicos para os seus produtos se torna ainda mais importante.

Uma vez direcionados a aplicação em seus produtos, os requisitos com fonte no histórico da empresa se aproximam das especificações-meta proposta por Rozenfeld et al. (2006), e se apresentam de forma explícita. Já de uma forma genérica como são encontrados na literatura, eles necessitam muitas vezes de serem depurados para melhor aplicação. Da mesma forma acontece com os requisitos dos clientes, que durante o QFD devem ser transformados de tácitos para explícitos, conforme definições de Smith (2001) e Owen e Horváth (2002).

Esses requisitos das diversas fontes serão armazenados no banco de dados. Cada requisito levará consigo sua origem, e será caracterizado de acordo com classificações já pré-estabelecidas. Essas classificações foram baseadas nos manuais do Departamento de Defesa Americano DOD-HDBK-791 (1988) e MIL-HDBK-470A (1997).

Conforme já apresentado na fundamentação teórica, o manual DOD-HDBK-791 (1988) divide em nove as orientações para a manutenibilidade baseadas nos ganhos que elas proporcionam. São elas: simplificação, padronização e intercambialidade, acessibilidade, modularidade, identificação, testabilidade e técnicas de diagnose, manutenção preventiva, fatores ambientais e fatores humanos. Já o MIL-HDBK-470A (1997) fornece diretrizes com categorias baseadas no produto. Adotou-se neste trabalho a primeira divisão como sendo as classificações dos requisitos e incluiu-se ainda a atribuição a um produto.

Adicionalmente, pela consulta na literatura, encontrou-se a necessidade de aprimorar a classificação dos requisitos direcionados ao bem-estar humano. Lida (2005) classifica esses aspectos em ergonomia física, cognitiva e organizacional. A ergonomia organizacional diz respeito ao ambiente que o produto está inserido e não necessariamente aos requisitos que o produto deve possuir, portanto não foi adotada. Já ergonomia física e cognitiva foram admitidas como classificação dos requisitos de

servicibilidade, substituindo os fatores humanos proposto pelo DOD-HDBK-791 (1988), de modo que os requisitos fiquem melhor especificados.

Complementarmente foi adicionada a classificação de segurança, destacando essa necessidade que no manual DOD-HDBK-791 (1988) apareciam incorporadas nas outras características de manutenibilidade, vide Quadro 4. Vale salientar que, conforme a diferenciação entre DFS e DFMt apresentada na fundamentação teórica, o DFS abre mais espaço para as questões relacionadas ao operador uma vez que não se compromete aos indicadores de manutenção, embora eles devem ser considerados assim como os conflitos com outras etapas do ciclo de vida, como fabricação, utilização e descarte. Quanto às classificações trazidas pelos demais autores consultados, observou-se que se assemelham às encontradas nos manuais citados. Com essas considerações, fundamenta-se a adoção das onze classificações dos requisitos de servicibilidade deste trabalho, reunidas no Quadro 5.

Quadro 5 - Classificação dos requisitos pelo método proposto

Classificação dos requisitos	
1	Simplificação
2	Padronização e intercambialidade
3	Acessibilidade
4	Modularidade
5	Identificação
6	Estabilidade e técnicas de diagnose
7	Manutenção preventiva
8	Ergonomia física
9	Ergonomia cognitiva
10	Segurança
11	Fatores ambientais

Fonte: O autor.

4.1.3 Segunda etapa: Criação de diagramas em SysML

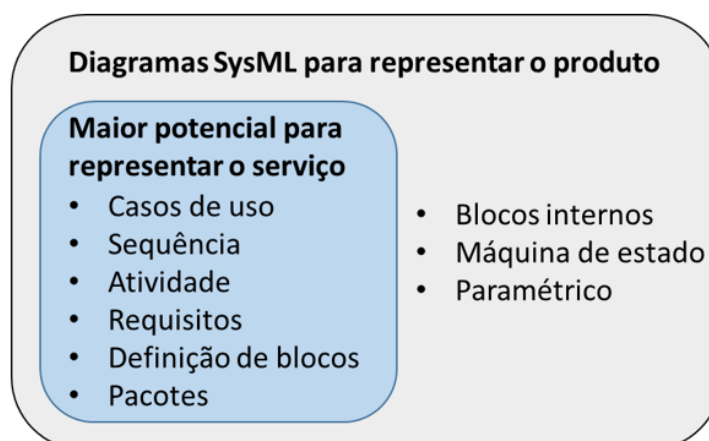
Na segunda etapa do método é proposto a criação de diagramas em SysML para representar os serviços. Como já apresentado na fundamentação teórica, SysML é uma linguagem visual composta por nove diferentes tipos de diagramas e são utilizados para representar sistemas complexos através de modelos. Esse sistema pode ser, por exemplo, um produto.

O conjunto dos diagramas em SysML pode representar os atores, composição, funcionamento e necessidades de um produto. Entretanto, nem todos os diagramas precisam ser utilizados, sobretudo para representar os serviços, que é melhor atendido pelos diagramas de casos de uso, sequência, atividade e requisitos. De forma complementar, os diagramas citados dependem dos componentes do produto, que são representados pelo diagrama de definição de blocos, por isso a sua criação se torna inevitável. Outros diagramas, como o diagrama de blocos internos, o diagrama de máquina de estado e o diagrama paramétrico podem completar a representação do produto quanto ao seu funcionamento. Já o diagrama de pacotes sempre poderá ser criado para organizar os diagramas desenvolvidos.

Embora o método propõe o uso do SysML voltado ao serviço, ele poderia ser adotado para representar o produto como um todo. Assim, a representação possuiria, por exemplo, um diagrama de casos de uso para a funcionalidade do produto, e outro para as ações de serviço. Da mesma forma, diagramas de sequência, atividade e requisitos voltados ao produto e ao serviço poderiam coexistir.

Portanto, o método propõe que dentre os nove diagramas SysML, seis deles podem ser explorados com maior utilidade para representação dos serviços. Já os outros três se tornam opcionais, agregando mais informações sobre o funcionamento do produto. Essa proposta é apresentada na Figura 22.

Figura 22 - Diagramas SysML sugeridos para representar o serviço e o produto



Fonte: O autor.

Pela capacidade de representar o produto através de modelos, incluindo a estrutura, requisitos e regras de funcionamento, os diagramas SysML podem fazer o papel das especificações meta proposta por Rozenfeld et al. (2006) como sendo a

entrega do projeto informacional ao projeto conceitual. Devido a isso, eles deverão ser acessados no software CAD para ser utilizado como referência pelo projetista. Para isso, a ferramenta utilizada para construção dos diagramas deve oferecer essa comunicação, ou em um ambiente do PLM, ou, conforme proposta deste trabalho, por meio da publicação dos diagramas no formato HTML (*HyperText Markup Language*). O arquivo gerado no formato HTML poderá ser utilizado na etapa seguinte, de acompanhamento, através de uma ferramenta desenvolvida para esse fim, e permitirá a navegação entre os diagramas como se estivesse na ferramenta de criação e edição dos diagramas SysML.

Pode-se notar ainda que, ao confrontar os objetivos dos diagramas (Quadro 2) com as fases do PDP apresentadas na fundamentação teórica, observa-se que a concepção da estrutura funcional do produto já se inicia nos diagramas SysML. Portanto, seria incoerente considerar os diagramas SysML inteiramente informacional. Considerando isso, esta etapa do método é destacada na Figura 20 com um gradiente de cor entre uma fase e outra do desenvolvimento do produto, informacional e conceitual.

4.1.4 Terceira etapa: Acompanhamento dos requisitos em ferramenta CAD

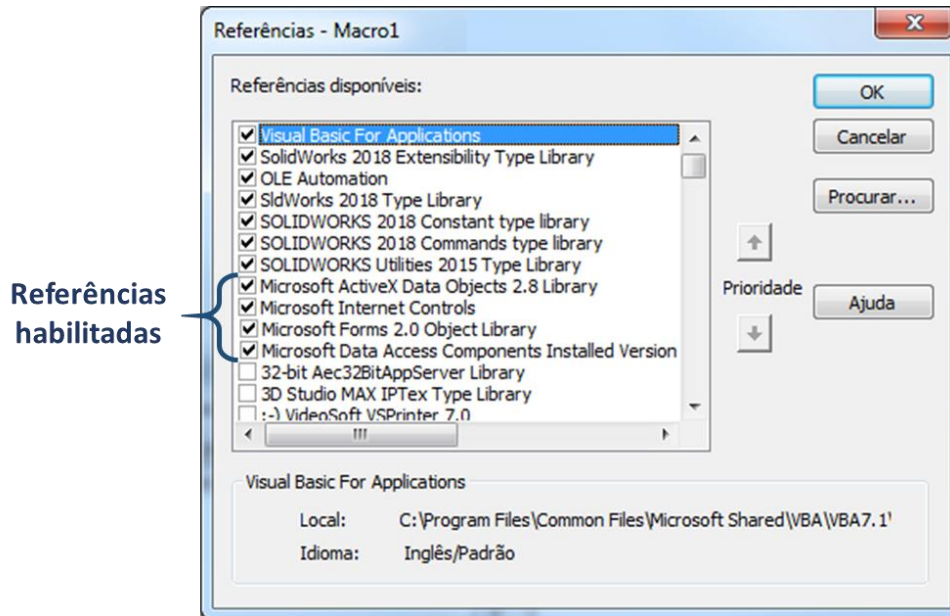
A consolidação da melhoria do produto quanto a servicibilidade se dá com a aplicação dos requisitos no projeto. Devido a isso, a última etapa consiste em auxiliar a implantação dos requisitos no projeto conceitual, ou seja, quando o produto começa a ser concebido. Nesta etapa os requisitos são acompanhados no software CAD. Para isso foram desenvolvidos recursos adicionais no software SolidWorks que permitem ao projetista consultar os diagramas SysML, consultar ou inserir os requisitos no banco de dados, ou ainda, poder criar um envelope de acesso para parafusos, ou seja, criar um espaço para uso de ferramentas.

Conforme apresentado na seção 1.2, a dificuldade de comunicação entre os profissionais de diferentes setores é um problema comum, o que ressalta a importância de uma ferramenta para o acompanhamento dos resultados do projeto informacional dentro do ambiente do sistema CAD.

As aplicações desenvolvidas foram programadas na linguagem VBA em uma API do SolidWorks destinada a programação de macros e criação de interfaces. Essa API oferece um conjunto de referências, ou bibliotecas. Cada uma delas permite

um conjunto de comandos. Para as aplicações desenvolvidas neste trabalho, foi necessário habilitar quatro novas referências para que elas se tornassem utilizáveis, destacadas na Figura 23. As demais marcadas já iniciam habilitadas.

Figura 23 - Referências padrão e adicionadas no SolidWorks

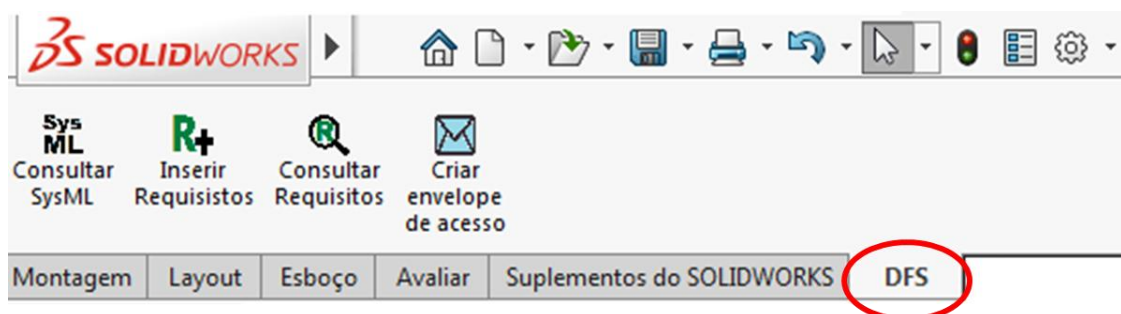


Referências habilitadas

Fonte: O autor.

No SolidWorks uma barra de ferramentas personalizada foi criada para abrigar as quatro ferramentas desenvolvidas: Consultar SysML, Inserir Requisitos, Consultar requisitos e Criar envelope de acesso. A essa barra de ferramentas foi dado o nome de DFS, que é exibida na Figura 24.

Figura 24 - Barra de ferramentas personalizada

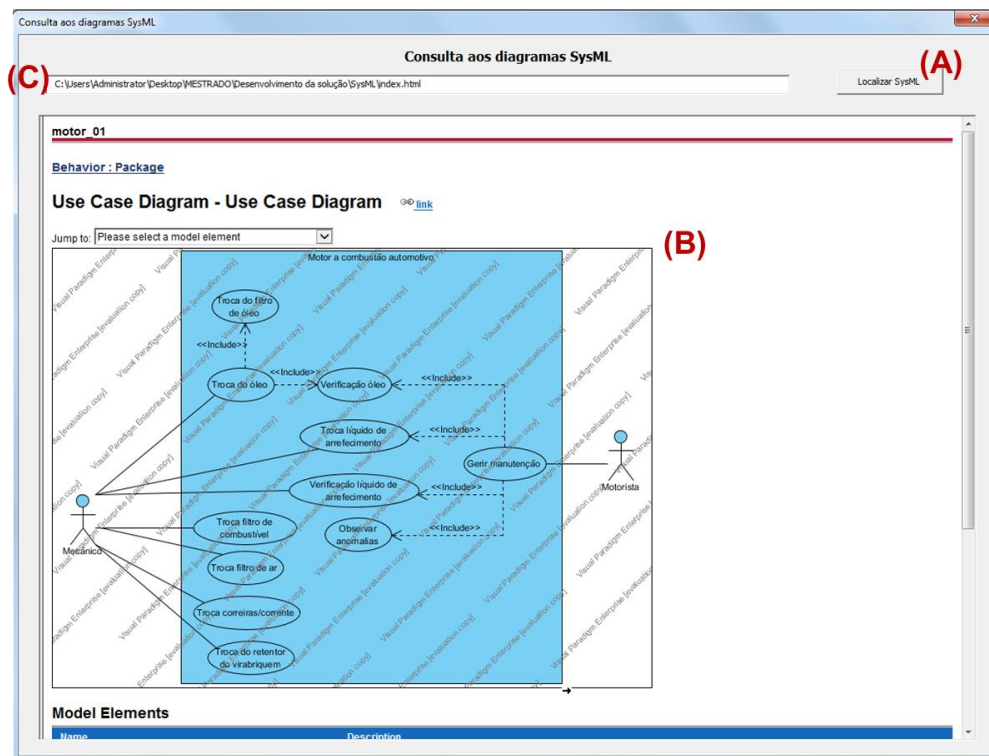


Fonte: O autor.

A primeira ferramenta programada permite a consulta aos diagramas SysML. Esses diagramas, construídos em um software específico para SysML como

o Visual Paradigm, deve ser publicado (exportado) no formato HTML. Através da ferramenta uma janela é aberta, conforme a Figura 25. Nela o usuário deverá localizar o arquivo HTML em (A) e então o diagrama será aberto na área destinada (B). O endereço do arquivo apresentado é exibido em (C). O código em VBA desta aplicação é exposto no Apêndice C.

Figura 25 - Ferramenta de consulta aos diagramas SysML



Fonte: O autor.

A vantagem da leitura do formato HTML é a manutenção de todas as transições entre os diagramas, como o rastreamento de um bloco ou requisito, por exemplo. Ao abrir o arquivo HTML será exibido o diagrama de pacote, e a partir deste, todos os demais poderão ser acessados. Essa navegação dentro dos diagramas SysML é similar a uma navegação na internet, através de hiperlinks. Contudo, qualquer edição nesses diagramas devem ser realizadas no software no qual foram construídos e uma nova publicação será necessária.

A segunda ferramenta, Inserir requisitos, permite o cadastro de novos requisitos no banco de dados. Com ela uma janela será aberta como a apresentada na Figura 26. Observa-se que esta interface é dividida em três partes. Na primeira delas, Criar novo requisito (A), o usuário deverá digitar o novo requisito e selecionar a

sua origem (fonte). Ao clicar em "Salvar" esse requisito será salvo, mas continuará com seus campos preenchidos para servir de referência para os processos seguintes. Na segunda parte uma classificação deverá ser escolhida e associada a este requisito em (B). Por fim, um produto poderá ser associado ao requisito em (C), junto com a prioridade que este requisito possuirá no projeto deste produto. O código em VBA desta aplicação é apresentado no Apêndice C. As *queries* para a comunicação com o banco de dados foram implementadas através da linguagem SQL (*Structured Query Language*).

Figura 26 - Ferramenta para inserir requisitos

Fonte: O autor.

Para cada requisito, mais de uma classificação ou produto poderão ser associados. Para isso, basta repetir os passos para a associação, deste que o requisito esteja preenchido em seu campo em (A). Todas essas caracterizações dos requisitos, como origem, classificação, produto e prioridade, devem ser cadastradas diretamente no banco de dados nas suas respectivas tabelas, sendo aqui apenas selecionados e associados ao novo requisitos cadastrado. Ao final de cada etapa, seja para salvar ou associar, uma mensagem confirmará a operação.

A terceira ferramenta, Consultar requisitos, exibe os requisitos do banco de dados. Essa ferramenta, junto com a consulta ao SysML, serão as principais guias do

projetista, permitindo que as diretrizes que ele deverá seguir no projeto sejam fornecidas de modo organizado e com fácil acesso para consulta.

A consulta aos requisitos se dará por uma janela conforme a apresentada na Figura 27. Ela oferecerá diversos filtros em (A) para delimitar a consulta. Ao clicar em "Consultar" em (B) todos os requisitos cadastrados que obedeçam aos filtros escolhidos serão listados em (C) junto com as suas características. Caso nenhum filtro seja aplicado, todos os requisitos do banco de dados serão exibidos. O Apêndice C traz as linhas de código em VBA desta aplicação, utilizando também as *queries* SQL para consulta ao banco de dados.

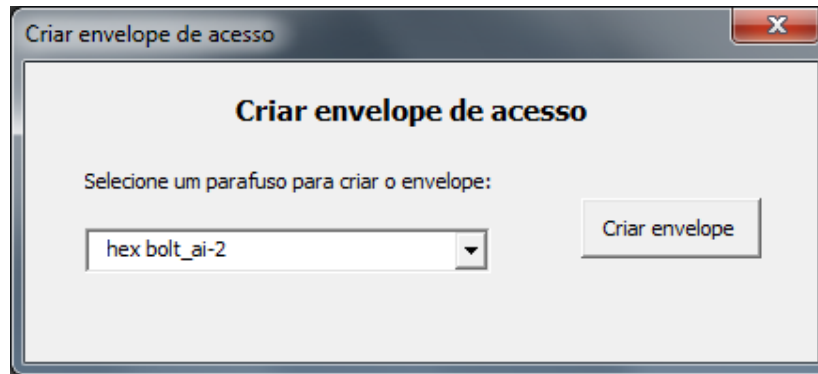
Figura 27 - Ferramenta para consulta de requisitos

Fonte: O autor.

A quarta ferramenta construída tem a função de criar um envelope de acesso. O envelope de acesso é um volume que deve ser reservado no projeto para que seja possível a utilização da ferramenta adequada para, por exemplo, a fixação de um parafuso. Essa ferramenta foi desenvolvida para ser utilizada em parafusos sextavados. Outros elementos de fixação que utilizam outras ferramentas poderiam ser incorporadas com base em um estudo prévio do envelope de acesso necessário.

Diferente das demais ferramentas, essa exige que o projeto já possua ao menos uma primeira versão concebida. Ao acionar a criação de um envelope, uma janela será aberta conforme a apresentada na Figura 28. Nessa interface todos os parafusos sextavados incluídos na montagem pela biblioteca de projetos do SolidWorks denominada *ToolBox* serão listados no campo para seleção de um parafuso.

Figura 28 - Ferramenta para criar envelope de acesso



Fonte: O autor.

Ao clicar em Criar envelope, automaticamente uma nova peça será criada com as medidas da reserva de espaço necessária. Essa peça será inserida na montagem e posicionada junto ao parafuso escolhido. O posicionamento ocorrerá entre os planos da nova peça e do parafuso selecionado, portanto, pode necessitar um melhor ajuste pelo projetista para direcionar o lado de acesso ao envelope.

Adicionalmente, a nova peça receberá a propriedade de envelope oferecida pelo SolidWorks. Essa propriedade permite que a peça seja considerada para análise de interferência, mas que seja ignorada, por exemplo, em listas de componentes ou propriedades de massa. Uma peça com essa propriedade possui, por padrão, uma tonalidade verde e transparente. O resultado dessa ferramenta poderá ser melhor entendido na seção de demonstração do resultado. Por fim, uma mensagem informará o final da execução da ferramenta. O código em VBA desta ferramenta também está incluso no Apêndice C.

4.2 DEMONSTRAÇÃO

Seguindo o método DSR, após o desenvolvimento do artefato, se dá a demonstração do resultado. Devido ao método ser proposto para as fases iniciais do desenvolvimento, a sua demonstração foi baseada em um cenário limitado a essas fases, e não ao desenvolvimento completo de um produto. Para isso, o contexto de aplicação do método para demonstração foi o desenvolvimento de um motor a combustão automotivo, e foi realizado pelo próprio autor. Ao final, o resultado foi apresentado a um conjunto de profissionais para avaliação (seção 4.3).

4.2.1 *Backbone* de dados

Conforme a proposta do método, um banco de dados foi desenvolvido para cumprir o papel do *backbone* de dados. O seu desenvolvimento já foi apresentado na seção 4.2.1. Para demonstrar o método ao desenvolvimento do motor, esse banco de dados foi utilizado para armazenamento dos requisitos levantados na primeira etapa. Esses requisitos poderão ser consultados no sistema CAD para apoiar o desenvolvimento, conforme será demonstrado na subseção 4.2.4.

Um relatório extraído diretamente do Access da tabela Requisitos possuindo os requisitos atribuídos ao motor a combustão é apresentado no Apêndice D.

4.2.2 Primeira etapa: levantamento dos requisitos de servicibilidade

De acordo com a recomendação do método, os requisitos de servicibilidade devem ser buscados na literatura, em normas, pelo conhecimento da empresa com base em projetos passados e pela voz dos clientes através do método QFD. Como o cenário de aplicação é hipotético, e não direcionado a alguma empresa, o trabalho não dispôs de um histórico de conhecimento. Assim, as fontes de requisitos foram os autores consultados na literatura, o manual MIL-HDBK-470A (1997) e os requisitos obtidos a partir da aplicação do método QFD.

Uma das classificações utilizadas pelo MIL-HDBK-470A (1997) para as diretrizes de projeto é de acordo com o tipo de equipamento. Dentre os equipamentos listados está o motor a gasolina e diesel, cujas diretrizes foram todas reescritas como requisitos para servicibilidade para motores a combustão, cenário da demonstração. Tanto o manual MIL-HDBK-470A (1997), quanto o DOD-HDBK-791 (1988) ainda trazem requisitos genéricos que devem ser avaliados se são aplicáveis ou não para o produto em desenvolvimento. Da mesma forma acontece com a literatura consultada, sendo observado ainda que diversos autores possuem como referência ambos manuais do Departamento de Defesa Americano.

Do autores consultados, observou-se uma abordagem diferenciada por Patton (2005) que poderia enriquecer os requisitos obtidos a partir dos manuais citados. Portanto, desse autor surgiram novos requisitos. Ainda na literatura, Lida (2005) oferece conceitos ou resultados de estudos que direcionam o projeto para o

bem estar humano, classificados em ergonomia física e cognitiva. Assim, outros requisitos foram extraídos dessa consulta.

Outra fonte de requisitos foi a voz dos clientes através da realização da primeira matriz do QFD, também chamada de Casa da Qualidade. Conforme proposto pelo método, para a servicibilidade os clientes ouvidos no QFD devem ser os operadores do serviço. Para o caso em estudo, foram consultados 19 mecânicos de automóveis do setor de serviços de 10 concessionárias de Curitiba-PR, autorizadas de diversas marcas. Foram ouvidos apenas mecânicos de autorizadas para considerar que as possíveis dificuldades encontradas por eles não se devem por erro de procedimento de serviço. Esses profissionais responderam um questionário para avaliar as principais atividades de manutenção em um motor. A primeira parte do questionário foi com perguntas estimuladas possuindo respostas de 1 a 5, e a segunda parte para responder de forma espontânea as dificuldades para realização dos serviços e seus motivos. O questionário aplicado é apresentado no Apêndice E, juntamente com as respostas obtidas.

No QFD, as respostas espontâneas serviram de base para a qualidade exigida, ou requisitos do cliente. Já nas respostas estimuladas, a média para cada serviço foi utilizada para definir o grau de importância, visto que maior o valor, maior seria a sua dificuldade. As características técnicas para atender essas exigências foram inseridas no topo das colunas. A matriz do QFD foi preenchida de acordo com o grau de relação entre a qualidade exigida e a característica da qualidade. A partir daí, preencheu-se os pesos absolutos e relativos que auxiliaram na priorização dos requisitos daí oriundos. O resultado do QFD é apresentado no Apêndice F.

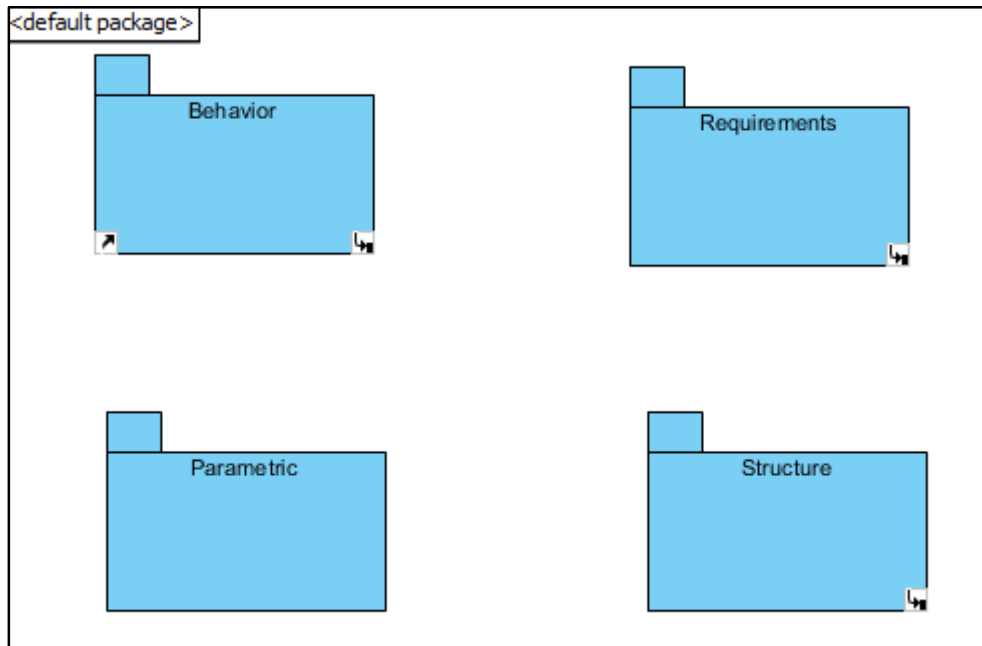
Todos os requisitos provenientes dos manuais, livros e QFD foram caracterizados de acordo com as classificações apresentadas no Quadro 5. Esses requisitos foram cadastrados no banco de dados para serem disponibilizados para as demais fases do desenvolvimento.

4.2.3 Segunda etapa: Criação do SysML

A criação do SysML iniciou com o planejamento de quais diagramas seriam utilizados para representar o sistema. No caso em estudo, o sistema é a realização de serviço em motores a combustão automotivo. Um diagrama de pacotes foi criado para organizar os diagramas que seriam desenvolvidos, dividindo-os nas quatro

classificações dos diagramas SysML: *Structure*, *Behavior*, *Requirements* e *Parametrics* (Figura 29). Cada um desses pacotes exerce a função de uma pasta para acessar os demais diagramas.

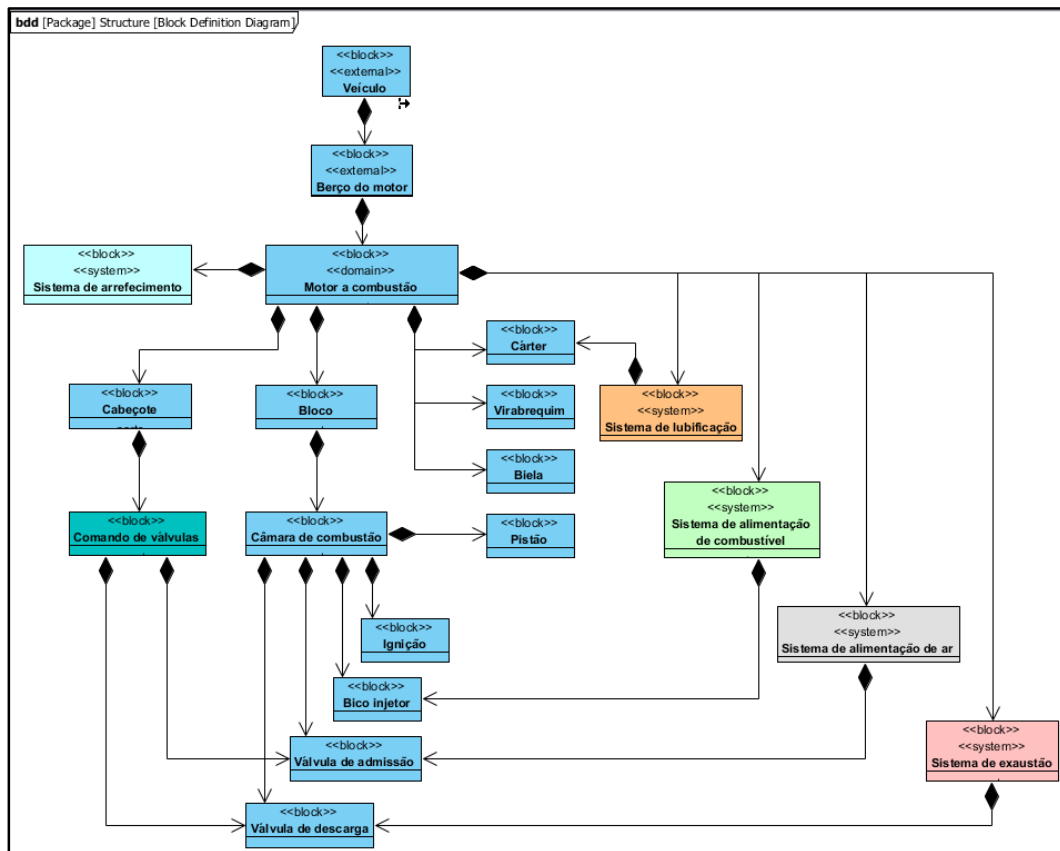
Figura 29 - Diagrama de pacotes



Fonte: O autor.

Na sequência, primeiramente o domínio do modelo foi definido com a criação de um diagrama de definição de blocos, do tipo *Structure*, apresentado na Figura 30. O domínio foi representado por um bloco para o motor a combustão, que por sua vez, possui outros blocos componentes ou subsistemas, como o sistema de arrefecimento, sistema de lubrificação, sistema de alimentação de combustível, sistema de alimentação de ar e sistema de exaustão. Cada um desses subsistemas podem ainda ser representados por outro diagrama de definição de bloco ou diagrama de blocos internos. Foram ainda inseridos blocos externos ao domínio, que são o berço do motor, que é a região do veículo onde ele está instalado, e o próprio veículo.

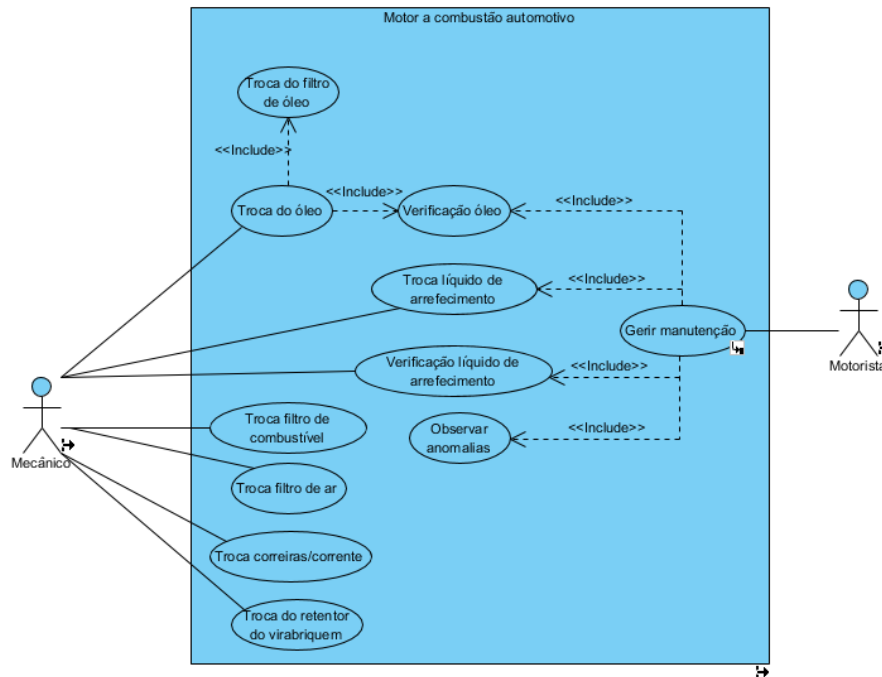
Figura 30 - Diagrama de definição de blocos



Fonte: O autor.

A seguir foram definidos os casos de uso do domínio e os atores que realizam essas interações. Com essas definições criou-se o diagrama de casos de uso (Figura 31). Um dos atores é o motorista que tem como função gerir a manutenção do motor. A gestão da manutenção inclui as verificações de óleo, líquido de arrefecimento, quilometragem, observação de anomalias, além da execução por conta própria do complemento ou troca do líquido de arrefecimento. Já todas as demais atividades de manutenção devem ser executadas pelo mecânico. Observa-se também no diagrama que a troca do filtro de óleo está condicionada com a troca do óleo. Todas essas ações executadas pelos atores correspondem aos serviços, alvo da representação pelo SysML, e poderão adiante orientar os projetistas no projeto do produto.

Figura 31 - Diagrama de casos de uso



Fonte: O autor.

As ações do diagrama de casos de uso podem ser melhor apresentadas por um diagrama de sequência, como o apresentado na Figura 32. Nele, a interação entre os blocos e os atores podem ser representadas por mensagens, a exemplo, o motorista verifica o nível do óleo no motor, que lhe fornece uma indicação. Essas mensagens são sequenciadas verticalmente, de cima para baixo, e quando inseridas em quadros pode significar que podem ocorrer em paralelo quando possuem o cabeçalho "Par", ou de forma alternativa quando inseridas em quadros com cabeçalho "Alt".

Na Figura 32, as ações do primeiro quadro são da gestão da manutenção pelo motorista. Sempre haverá um retorno do motor ou veículo sobre a normalidade para operação ou não. De forma paralela essas ações podem ser preventivas partindo do motorista ou do motor no caso da apresentação de algum problema. Na sequência, o quadro inferior traz as ações de manutenção (ou serviços). Observa-se que o motorista pode trocar o líquido de arrefecimento se essa for a necessidade, ou ele levará o veículo ao mecânico, que poderá executar qualquer dos serviços de forma alternativa.

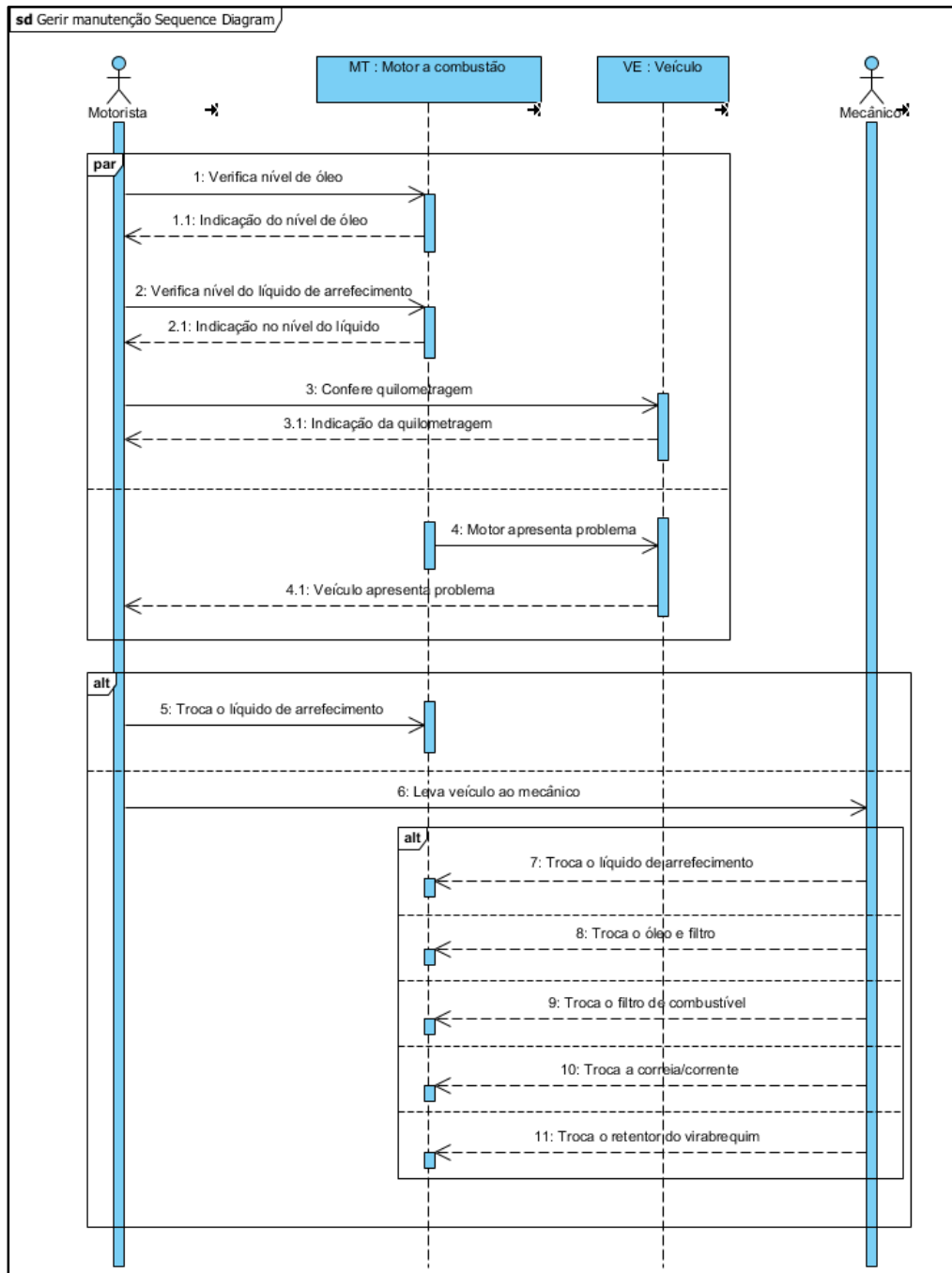
Cada ação do diagrama de sequência pode ser detalhada passo-a-passo por meio de um diagrama de atividade. A troca do óleo e filtro tem o seu diagrama de

atividade exposto na Figura 33. Observa-se que todas as atividades necessárias para a execução desse serviço são posicionadas na forma de um fluxograma. As atividades estão inseridas dentro de um quadro que representa quem as realiza. Com exceção do esgotamento de óleo do reservatório que ocorre por gravidade no sistema de lubrificação, as demais atividades são executadas pelo mecânico. A consulta a esse diagrama poderá levar o projetista a entender como o serviço será executado.

Por fim, os requisitos de servicibilidade devem ser inseridos em um diagrama de requisitos. Criou-se um diagrama de requisitos para representar as suas classificações para depois associa-las aos diagrama específicos para cada serviço. A Figura 34 revela como esses requisitos foram hierarquizados. Já a Figura 35 apresenta o diagrama de requisitos para a troca de óleo e filtro. Da facilidade para troca de óleo e filtro derivam diversos outros requisitos que podem ter relações com atividades, blocos ou requisitos de outros diagramas. Os requisitos externos inseridos são os que representam a sua classificação e vieram do diagrama de requisitos que os hierarquizam.

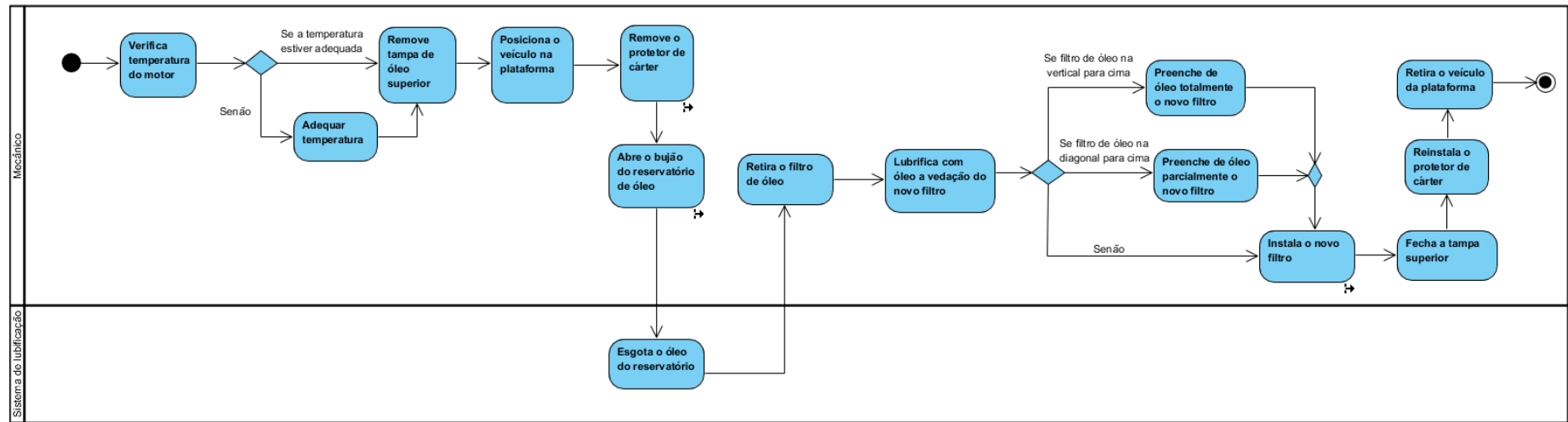
Cada tipo de serviço, ou seja, cada ação inserida no diagrama de casos de uso, pode possuir um diagrama de requisitos específico para melhorar a sua apresentação visual, que poderia ser comprometida com um diagrama muito extenso. Todas as relações existentes entre blocos, casos de uso, mensagens do diagrama de sequência, atividades ou requisitos, permitem a navegação entre os diferentes diagramas.

Figura 32 - Diagrama de sequência



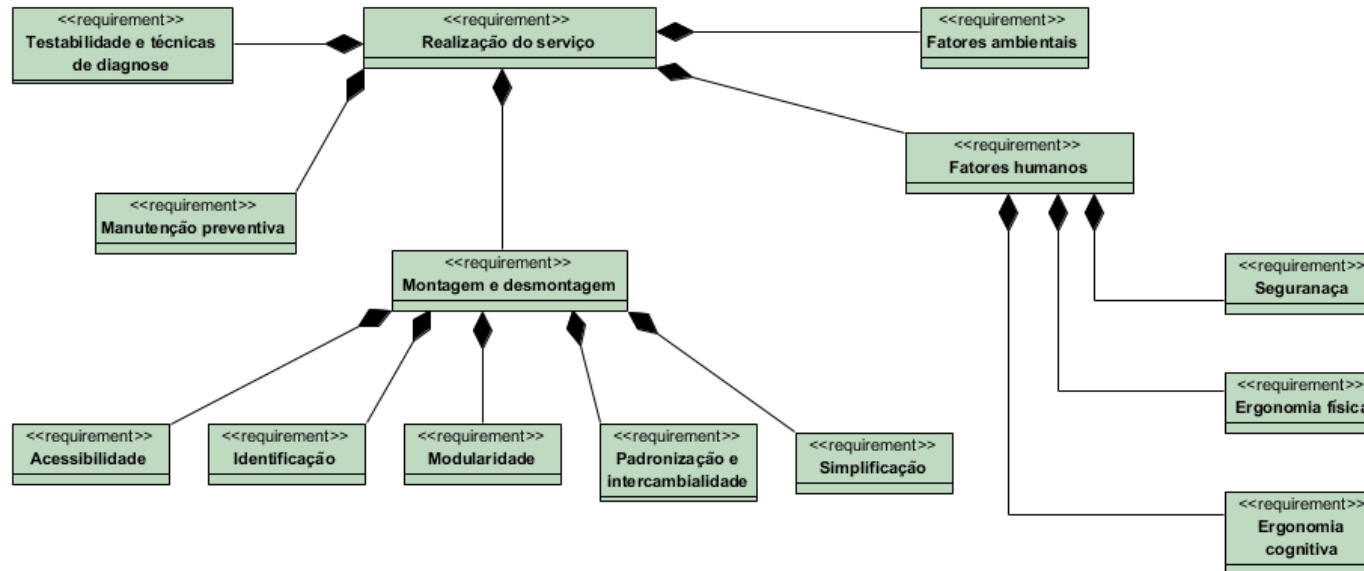
Fonte: O autor.

Figura 33 - Diagrama de atividade



Fonte: O autor.

Figura 34 - Diagrama de requisitos para hierarquização



Fonte: O autor.

4.2.4 Terceira etapa: Acompanhamento dos requisitos no CAD

Nesta etapa as ferramentas desenvolvidas auxiliarão o projetista a incorporar os requisitos de servibilidade ao projeto. Na primeira ferramenta utilizada para consultar o SysML, ao localizar o arquivo em HTML, o usuário poderá navegar entre os diagramas construídos. A Figura 25 na seção 4.1.4 apresenta a ferramenta com uma consulta sendo realizada ao diagrama de casos de uso.

Caso surjam novos requisitos, estes poderão ser cadastrados por meio da segunda ferramenta oferecida, através da janela também já apresentada na Figura 26. Já a consulta aos requisitos poderá ser executada por meio de alguns filtros. A Figura 36 mostra o resultado de uma consulta aos requisitos pertencentes ao motor a combustão e com a classificação de acessibilidade.

Para demonstrar a criação do envelope, utilizou-se como modelo um projeto parcial de um veículo de baixa de competição estudantil. Esse veículo possui apenas quatro parafusos sextavados em sua montagem, que estão localizados no motor. Esses parafusos foram incluídos no conjunto a partir da biblioteca *Toolbox* do SolidWorks. Devido a isso a sua nomenclatura é padronizada, o que facilita a sua localização na árvore do projeto. Ao iniciar a ferramenta, esses parafusos são oferecidos ao usuário como opções para criação do envelope, conforme Figura 37. Para demonstração do resultado foi selecionado o parafuso *hex bolt_ai-2*. A Figura 38 retrata a localização desse parafuso na montagem (A) e na árvore do projeto (B).

Figura 36 - Consulta aos requisitos

Consulta de Requisitos

CONSULTA DE REQUISITOS

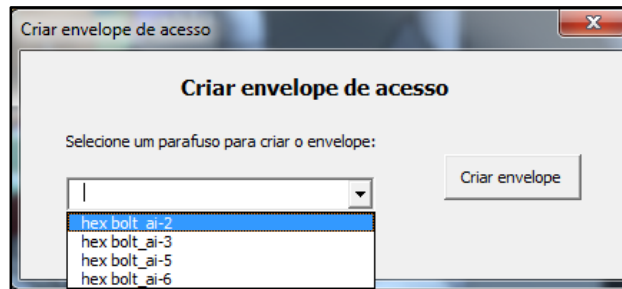
Produto: Motor a combustão
Classificação: Acessibilidade
Origem:
Grau de prioridade:

Consultar

Código	Requisito	Prioridade	Classificação	Origem	Produto
22	O componente mais importante deve ter posição de destaque, de modo a ser facilmente manipulado.	5	Acessibilidade	LIDA	Motor a combustão
23	O componente mais utilizado deve ser posicionado para ter fácil alcance e manipulação.	5	Acessibilidade	LIDA	Motor a combustão
49	Pontos de testes devem ser acessíveis com equipamentos comuns.	4	Acessibilidade	PATTON	Motor a combustão
52	As aberturas devem possuir tamanho adequado.	4	Acessibilidade	PATTON	Motor a combustão
56	Áreas de manutenção frequentes devem possuir melhor acesso.	4	Acessibilidade	PATTON	Motor a combustão
67	Forneça acesso a toda montagem do motor para veículos terrestres, de modo que não seja necessário içar ou rastejar sob o veículo.	3	Acessibilidade	MIL-HDBK-470A	Motor a combustão
70	Não use conceitos de remoção do motor que exijam o levantamento ou a elevação do veículo.	3	Acessibilidade	MIL-HDBK-470A	Motor a combustão
72	A distância entre o motor e o seu entorno deve garantir que os envelopes de acesso a linhas, conexões, fiação e ajustes acomodem a mão masculina de 75 percentil.	5	Acessibilidade	MIL-HDBK-470A	Motor a combustão
73	A distância entre o ventilador de refrigeração e o núcleo do radiador deve garantir que os envelopes de acesso não exijam a remoção do núcleo.	3	Acessibilidade	MIL-HDBK-470A	Motor a combustão
77	Fornecer um envelope de acesso claro e visível aos filtros de combustível e óleo.	5	Acessibilidade	MIL-HDBK-470A	Motor a combustão
81	Não localize as baterias no compartimento do motor. Nos casos em que isso não é possível: - A estrutura de suporte da bateria deve ser de um material que é impermeável ao	4	Acessibilidade	MIL-HDBK-470A	Motor a combustão
85	Projete todos os acessórios, conectores e encaixes das proteções para serem totalmente visíveis e diretamente acessíveis aos mantenedores.	4	Acessibilidade	MIL-HDBK-470A	Motor a combustão
86	Janela de acesso para uso das duas mãos para troca da correia ou corrente.	5	Acessibilidade	QFD	Motor a combustão
87	Fixação das abraçadeiras das mangueiras voltadas ao reparador.	5	Acessibilidade	QFD	Motor a combustão
89	Janela de acesso para operação das chaves.	5	Acessibilidade	QFD	Motor a combustão
90	Desmontar poucas peças para acessar correia ou corrente (Número máx. de peças a remover).	4	Acessibilidade	QFD	Motor a combustão
93	Janela de acesso para um braço para rosquear o filtro de óleo com uma mão.	3	Acessibilidade	QFD	Motor a combustão
96	Acesso da mão para encaixar o filtro de combustível.	3	Acessibilidade	QFD	Motor a combustão
98	Respeitar envelope de acesso para fixações e acoplamentos do motor no berço.	3	Acessibilidade	QFD	Motor a combustão

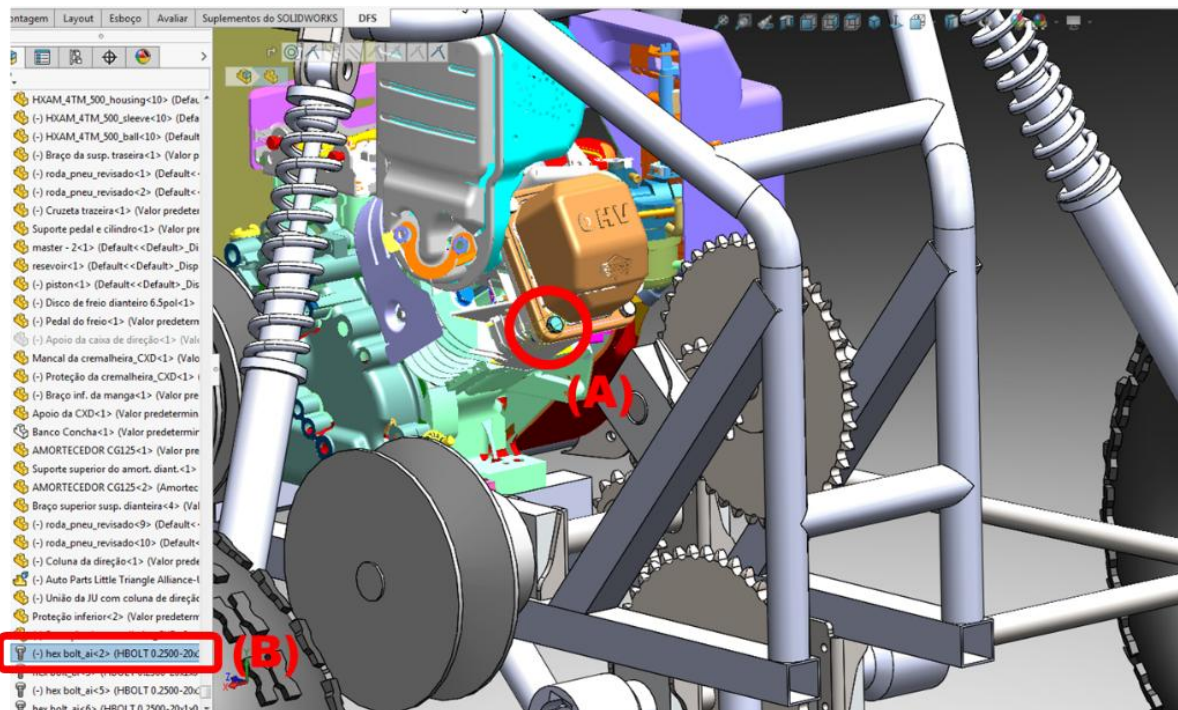
Fonte: O autor.

Figura 37 - Janela de início da ferramenta para criar envelope



Fonte: O autor.

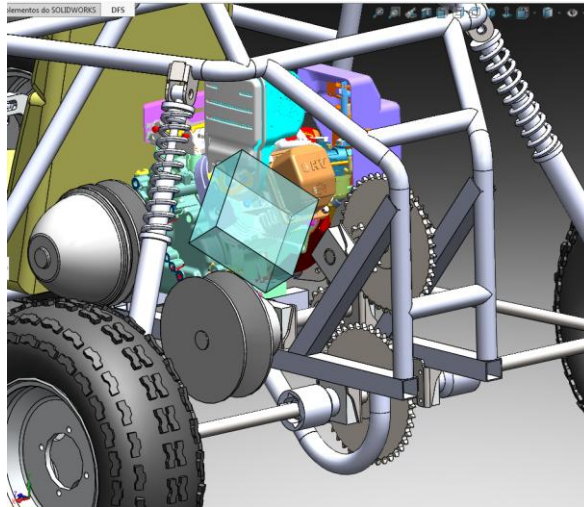
Figura 38 - Localização do parafuso selecionado para criação do envelope



Fonte: O autor.

Após a escolha do parafuso, ao clicar em Criar envelope, uma nova peça é criada, inserida no conjunto, posicionada no parafuso e receberá a propriedade de envelope. Uma mensagem informará a conclusão da execução da ferramenta. O resultado final é apresentado na Figura 39.

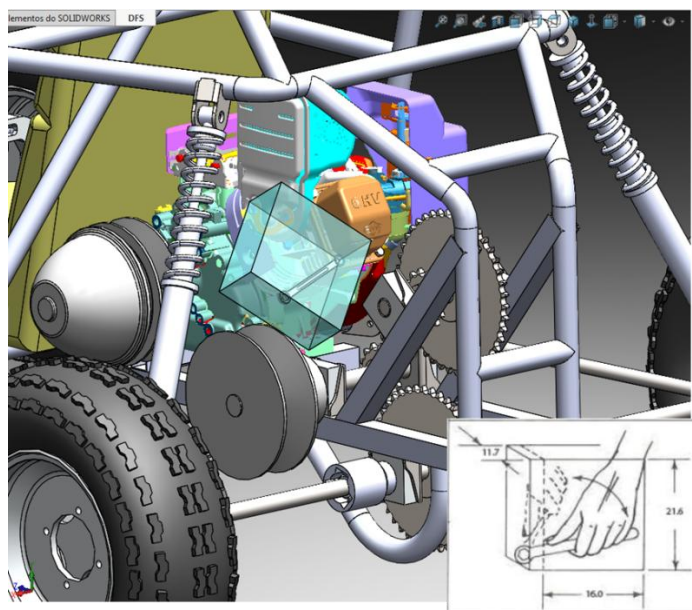
Figura 39 - Resultado do envelope criado



Fonte: O autor.

Na Figura 40 foi adicionada a ferramenta que será utilizada para fixação desse parafuso para auxiliar na compreensão da solução, juntamente com um recorte da Figura 17 com as dimensões do espaço necessário para uso de ferramentas. Entretanto, entende-se ser necessário um estudo mais detalhado para diversas dimensões de ferramentas encontradas em normas. Esses dados poderão ser armazenados na forma de requisitos no banco de dados e utilizados na construção do envelope.

Figura 40 - Envelope criado com a ferramenta inserida



Fonte: O autor.

Vale ressaltar que a nova peça é posicionada através dos planos do parafuso, portanto, a sua posição pode não estar conforme desejado, pois será imprevisível a posição angular do parafuso em torno do seu eixo. Caso o envelope seja inserido em uma posição inadequada, será necessário que o usuário realize um ajuste de sua localização. Isso significa que a ferramenta não identifica o espaço vazio para inclusão do envelope de acesso. Isso caberá ao usuário. Ela apenas servirá para validar a reserva desse espaço, uma vez que a sobreposição entre o envelope e alguma peça do conjunto será indicada ao utilizar a ferramenta para detecção de interferência oferecida pelo software CAD.

4.3 AVALIAÇÃO

A avaliação ocorreu através de um questionário respondido por profissionais envolvidos com o desenvolvimento de produtos em empresas de médio e grande porte localizadas na região de Curitiba-PR.

Inicialmente um vídeo de apresentação foi elaborado para facilitar a comunicação com os envolvidos. Este vídeo teve a duração de 9 minutos e conteve uma breve introdução ao tema, o objetivo do trabalho, o resultado (método desenvolvido) e a demonstração no cenário de desenvolvimento de um motor a combustão automotivo. Foi oportunizado também aos participantes, a assistir a execução das ferramentas desenvolvidas para a terceira etapa do método.

Ao final do vídeo os participantes estavam aptos a responder um questionário contendo quatro questões objetivas para avaliar o método quanto aos critérios de operacionalidade, eficiência, generalidade e facilidade de uso. Os critérios foram adotados aderindo a proposta de March e Smith (1995), que os sugerem para a avaliação de um artefato do tipo método. Cada critério possuiu uma pergunta com respostas padronizadas de 1 a 5, variando de muito ruim a muito bom, que são apresentadas a seguir.

Questão 1: Critério de operacionalidade. Como você avalia a capacidade do método em ser reproduzido ou implantado?

Questão 2: Critério de eficiência. Como você avalia a capacidade do método em auxiliar a incorporação das necessidades de serviço no projeto (*Design for Serviceability*)?

Questão 3: Critério de generalidade. Como você avalia a abrangência do método para, no início do desenvolvimento, auxiliar o projetista a melhorar a capacidade de realização de serviços no produto?

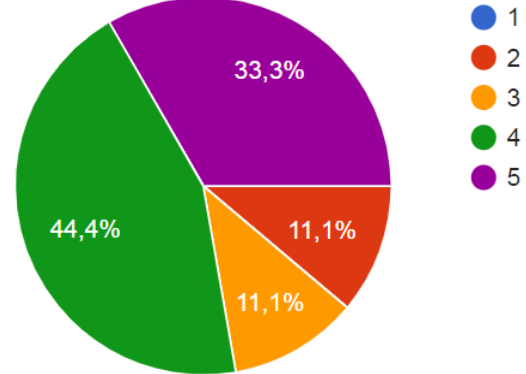
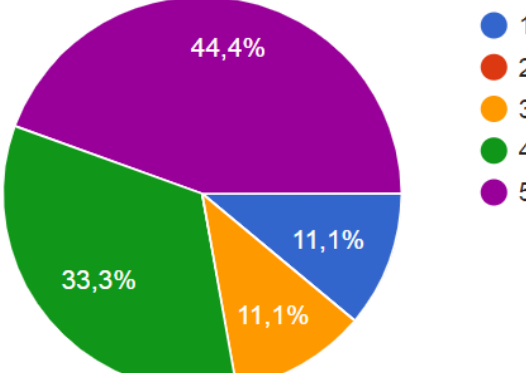
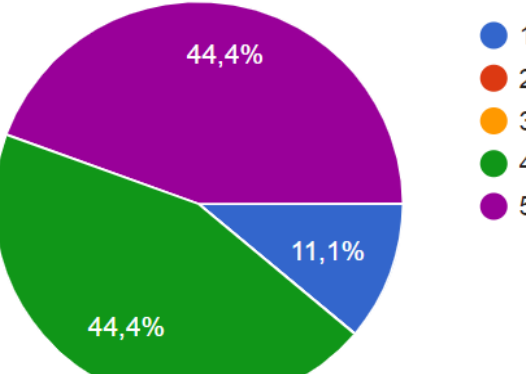
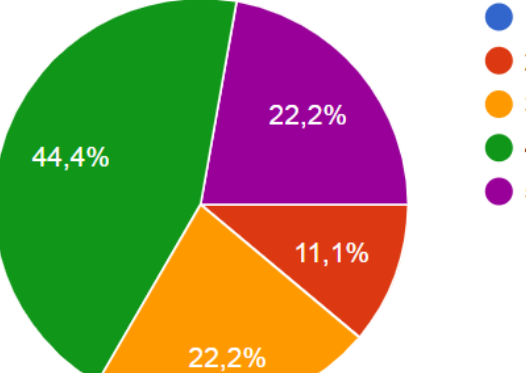
Questão 4: Critério de facilidade de uso. Considerando o devido treinamento, sobretudo para criação e consulta aos diagramas SysML, como você avalia a facilidade de utilização do método pelos profissionais envolvidos com o desenvolvimento do produto?

Foram convidados a participar da avaliação 17 profissionais de diferentes empresas, prevalecendo o segmento automotivo, seguido pelo de eletrodomésticos. O contato com esses profissionais ocorreu por e-mail, onde os links para o vídeo e questionário foram enviados. Ao final do período de avaliação, obteve-se 9 respostas, ou seja, aproximadamente 53% dos contatos realizados. Os resultados são apresentados no Quadro 6.

Para os critérios de operacionalidade e eficiência as médias das respostas obtidas foram igual a 4,0. Já para o critério de generalidade a média correspondeu a 4,11, e para o critério de facilidade de uso o resultado médio foi igual a 3,78. Nota-se que para as quatro questões pesou sobre os resultados uma resposta muito dispersa, sobretudo nos critérios de eficiência e generalidade, onde um dos avaliadores atribuiu o valor 1. Em análise de dados estatísticos, essa situação pode corresponder a um *outlier*, um valor muito disperso dos demais onde pesa a suspeita de um erro.

Uma definição de *outlier* é apresentada por Silva (2004), que o caracteriza como um elemento que desvia de um padrão do conjunto de dados ao qual ele pertence. Quando ele ocorre por erros de medição ou execução, eles podem ser identificados por processos humanos ou software, possibilitando a correção do processo. Figueira (1998) indica que o estudo do *outlier* é composto pela identificação, eliminação da sua subjetividade e, por fim, a decisão do que fazer com esses *outliers*. Uma das possibilidades mais simples é eliminá-los, o que só se justifica quando a correção do erro é inviável. Uma alternativa a eliminação é a acomodação desses *outliers* nos resultados, podendo ser atribuído um peso reduzido para não influenciar demasiadamente.

Quadro 6 - Respostas do questionário de avaliação

Questão	Respostas												
<p>Questão 1: Critério de operacionalidade. Como você avalia a capacidade do método em ser reproduzido ou implantado?</p>	 <p>Legend: 1 (blue), 2 (red), 3 (orange), 4 (green), 5 (purple)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>11,1%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>11,1%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>44,4%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>33,3%</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	Porcentagem	1	0%	2	11,1%	3	11,1%	4	44,4%	5	33,3%
Resposta	Porcentagem												
1	0%												
2	11,1%												
3	11,1%												
4	44,4%												
5	33,3%												
<p>Questão 2: Critério de eficiência. Como você avalia a capacidade do método em auxiliar a incorporação das necessidades de serviço no projeto (<i>Design for Serviceability</i>)?</p>	 <p>Legend: 1 (blue), 2 (red), 3 (orange), 4 (green), 5 (purple)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>11,1%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>11,1%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>33,3%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>44,4%</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	Porcentagem	1	11,1%	2	0%	3	11,1%	4	33,3%	5	44,4%
Resposta	Porcentagem												
1	11,1%												
2	0%												
3	11,1%												
4	33,3%												
5	44,4%												
<p>Questão 3: Critério de generalidade. Como você avalia a abrangência do método para, no início do desenvolvimento, auxiliar o projetista a melhorar a capacidade de realização de serviços no produto?</p>	 <p>Legend: 1 (blue), 2 (red), 3 (orange), 4 (green), 5 (purple)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>11,1%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>44,4%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>44,4%</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	Porcentagem	1	11,1%	2	0%	3	0%	4	44,4%	5	44,4%
Resposta	Porcentagem												
1	11,1%												
2	0%												
3	0%												
4	44,4%												
5	44,4%												
<p>Questão 4: Critério de facilidade de uso. Considerando o devido treinamento, sobretudo para criação e consulta aos diagramas SysML, como você avalia a facilidade de utilização do método pelos profissionais envolvidos com o desenvolvimento do produto?</p>	 <p>Legend: 1 (blue), 2 (red), 3 (orange), 4 (green), 5 (purple)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>11,1%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>22,2%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>44,4%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>22,2%</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	Porcentagem	1	0%	2	11,1%	3	22,2%	4	44,4%	5	22,2%
Resposta	Porcentagem												
1	0%												
2	11,1%												
3	22,2%												
4	44,4%												
5	22,2%												

Fonte: O autor.

Na avaliação deste trabalho, diversos motivos poderiam levar a uma resposta muito dispersa das demais. Um deles seria o não entendimento perfeito do trabalho. Outra hipótese poderia ser que o participante não tenha compreendido que os valores das respostas eram crescentes de muito ruim para muito bom, e não o inverso. Essa dificuldade pode ter ocorrido por essa informação ter sido apresentada apenas uma vez antes das questões, e as respostas conterem apenas os números. Por fim, esse participante pode realmente ter considerado o resultado do trabalho ruim. Para as duas primeiras situações seria possível eliminar esses dados, ficando apenas com 8 respostas. Já ao considerar a última hipótese, esse dado não pode ser eliminado. O Quadro 7 apresenta uma comparação das médias das respostas considerando e desconsiderando o dado muito disperso.

Quadro 7 - Comparação das médias considerando ou eliminando um *outlier*

Questão	Média considerando todos os dados (9 respostas)	Médias eliminando um outlier (8 respostas)
Questão 1: Critério de operacionalidade	4,00	4,25
Questão 2: Critério de eficiência	4,00	4,38
Questão 3: Critério de generalidade	4,11	4,50
Questão 4: Critério de facilidade de uso	3,78	4,00

Fonte: O autor.

Com as considerações realizadas, pode-se avançar para a análise desses resultados. O melhor resultado ocorreu para o critério de generalidade, que avaliou a abrangência do método para cumprir o objetivo proposto. Considerando o cenário de eliminação de um outlier, esse valor chegou a 90% de aprovação, ou 82,2% ao considerar todos os dados.

Paras as duas primeiras questões, que avaliaram a operacionalidade (capacidade de implantação) e eficiência, os resultados também foram considerados satisfatórios ao atingir ou ultrapassar 80% de aprovação em qualquer dos cenários apontados no Quadro 7.

Já com a quarta questão que avaliou a facilidade de uso, identificou-se o ponto de menor satisfação dos participantes. No cenário com todos os dados, o valor

médio obtido foi de 3,78, o que corresponde 75,6%, e, ao desconsiderar um outlier, essa satisfação avança para 80%.

Para além desses números, podemos destacar alguns argumentos que poderiam influenciá-los. O mais importante deles se refere a pouca utilização dos diagramas em SysML durante o desenvolvimento do produto no segmento industrial, o que pode ter levado a menor avaliação no critério facilidade de uso.

Apesar de surgirem do segmento de software, sendo uma evolução dos diagramas em UML, os diagramas em SysML apresentam grande versatilidade para representação de sistemas complexos multidisciplinares, e podem interligar no PDP as necessidades à geração de ideia conceitual. Essa é uma lacuna dentro do PDP e poderia ser ocupada por uma representação por modelos, como os diagramas em SysML.

Conforme apresentado neste trabalho e constatado na Figura 3, no início do desenvolvimento prevalece a representação de conhecimento por meio linguístico e pictórico, e as demais representações que tornam o produto mais compreensível, aparecem apenas nas fases finais do desenvolvimento. Contudo, essa representação por meio de modelos é recente e, apesar do seu papel importante, ainda é pouco compreendida e utilizada no PDP. Portanto, pode-se dizer que a leve baixa no resultado da avaliação quanto ao critério de facilidade de uso seria previsível.

Outra alegação que pode-se mencionar nesta etapa é quanto a integração do método. Embora a proposta da solução interliga as fases do desenvolvimento por meio de um backbone de dados, a criação dos diagramas em SysML exige do projetista, conhecimento em modelagem de sistemas, bem como a criação do modelo virtual em CAD, dependerá da sua capacidade inventiva. A solução é, portanto, apenas uma colaboração em busca de um projeto que ofereça a condição ideal para realização de serviços.

Certamente esses argumentos compuseram os fatores determinantes para a avaliação do resultado deste trabalho. De forma negativa, a pouca difusão dos diagramas em SysML e um possível dissabor quanto a automatização do método, apesar deste poder alicerçar novas soluções. Já de forma positiva, a disponibilidade da informação no momento correto, as poucas soluções atualmente destinadas ao DFS, bem como a rastreabilidade das decisões tomadas durante o desenvolvimento, podem ser destacados. Quantitativamente, o menor valor obtido na avaliação,

considerando todos os critérios e cenários, foi de 75,6%, valor considerado satisfatório e que demonstra um importante peso atribuído às qualidades do trabalho.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de um produto que atenda às necessidades de todo o ciclo de vida exige o conhecimento de profissionais lotados em diferentes setores da empresa, ou até mesmo fora dela. Conforme levantado em trabalhos anteriores, problemas de comunicação e a falta de armazenamento desse conhecimento prejudicam a sua integração ao desenvolvimento. De encontro com essa demanda, o presente trabalho propôs um método para apoiar os projetistas a incorporar ao projeto as necessidades para a realização de serviços, uma etapa específica do ciclo de vida do produto.

Para atingir o objetivo, o trabalho foi dividido em fases que se alinham às etapas definidas pela abordagem metodológica DSR, utilizada pela ciência do artificial para produzir um artefato para a solução de um problema. Essa abordagem apenas estrutura as etapas do desenvolvimento, cabendo ao pesquisador definir como elas serão cumpridas. Assim, o trabalho iniciou com a identificação do problema e definição dos objetivos. Para isso, a literatura foi consultada para dar um embasamento teórico às decisões. As etapas sequenciais foram o desenvolvimento da solução, onde foi construído um método, a demonstração do resultado e a sua avaliação.

O método sugere na primeira etapa, a obtenção de requisitos por diversas fontes. Uma delas é a literatura, mas esta geralmente fornece requisitos muito genéricos, o que torna indispensável a construção pela empresa de um *Know-how* próprio para possuir requisitos baseados em lições aprendidas e específicos para os seus produtos. Outra fonte que ganha importância são os clientes, que nesse contexto são os profissionais que realizam os serviços. Uma preocupação especial ao aplicar o método deve ser em configurar esse conhecimento de forma explícita. Esse conhecimento deverá ser armazenado em um *backbone* de dados para ser utilizado na construção de diagramas SysML para representação do serviço em modelos, além do acompanhamento pelo projetista no sistema CAD.

Na etapa de construção dos diagramas em SysML, o desafio é a qualificação dos projetistas para se habituarem com uma representação do produto ou serviço baseada em modelos. Dado os movimentos recentes das grandes empresas desenvolvedoras de sistemas PLM para incorporar ferramentas de representação por modelos aos seus produtos, não é absurdo idealizar a figura de um especialista em modelagem de sistemas na equipe de projeto, ou ainda, que esta

tarefa se popularize assim como outras formas de representação mais tradicionais, como modelos geométricos.

Já as ferramentas desenvolvidas para o acompanhamento no sistema CAD devem consolidar as etapas anteriores por fornecer no momento adequado as especificações que o produto deve possuir. Desta forma, o método oferece uma estruturação dos passos que devem ser seguidos pelo projetista para melhorar a capacidade de realização de serviços nos produtos. Pelo fato dessas etapas estarem encaixadas em um modelo de referência do PDP, a adoção do método pelas empresas é facilitada.

Uma grande vantagem oferecida pelo método é a possibilidade de rastrear uma decisão relacionada ao DFS. Embora o modelo geométrico no sistema CAD não esteja integrado com o método, a base consultada pelo projetista continuará disponível para consultas futuras, auxiliando na compreensão das decisões tomadas.

É relevante também observar que a utilização dos diagramas em SysML podem facilitar a transformação de uma representação linguística do produto, como por meio de requisitos, para uma representação geométrica. Contudo, a criação e a interpretação desses diagramas exigirão um conhecimento atípico dos projetistas relacionado a modelagem de sistemas, o que pode estimular a destinação de um profissional para este fim.

Quanto às limitações, o trabalho não dispensa a capacidade inventiva do projetista, pois apenas o guia para a aplicação da técnica DFS. Além disso, o método não fornece uma análise em conjunto com as demais demandas do ciclo de vida, ou seja, outros DFX's, apesar de incluir as prioridades dos requisitos. Da mesma forma, o método não é destinado a avaliar qualitativamente se o requisito utilizado é o melhor possível. Essas limitações constituem duas das quatro principais oportunidades de pesquisa deixadas pelo trabalho, apresentadas a seguir.

Oportunidade 1 - Sistema especialista: Desenvolvimento de uma aplicação dentro do sistema CAD que transforme uma descrição dos requisitos de serviço, ou sua representação em modelos SysML, em um modelo geométrico do produto. Desenvolveu-se no trabalho a construção de um envelope de acesso, mas sugere-se a automatização da concepção para diminuir o peso das decisões do projetista no sucesso do DFS, o que poderia ocorrer por meio de um sistema especialista.

Oportunidade 2 - DFS em conjunto com demais DFX's: Realizar um estudo qualitativo sobre os requisitos do DFS e como poderia ser estruturada a convivência com os demais DFX's.

Oportunidade 3 - Inserção do SysML no PDP: Analisar com maior profundidade como os diagramas SysML se encaixam nos diferentes modelos de referência do PDP, visto a sua capacidade de suprir as necessidades de diferentes etapas do desenvolvimento.

Oportunidade 4 - Reprodução do método em um PLM: Realizar de modo análogo a proposta deste trabalho, a execução do método através de um sistema PLM.

Na etapa de avaliação do método, nove profissionais envolvidos com o PDP responderam a um questionário que fundamentaram as conclusões. Observou-se que para qualquer cenário, a satisfação média mínima foi de 75,6%, ocorrida para o critério de facilidade de uso. Sobre este critério pode ter pesado principalmente uma preocupação dos avaliadores sobre a utilização dos diagramas em SysML, ainda poucos difundidos na indústria. Para os demais critérios, em qualquer cenário a satisfação atinge ou supera 80%, dados que foram considerados satisfatórios.

Desta forma, dado o objetivo proposto, pode-se concluir que o trabalho foi finalizado com êxito por oferecer um método aos projetistas para, durante as fases iniciais do desenvolvimento, incorporar aos projetos a técnica DFS, bem como pelo cumprimento de cada etapa proposta pela abordagem DSR. Além disso, destaca-se ainda a relevância da aplicação do método para auxiliar o DFS. Como muitas vezes o profissional que realiza um serviço é especialista naquela tarefa, ele acaba repetindo por diversas vezes ao dia as mesmas atividades físicas e cognitivas. Portanto, um produto melhor projetado para o serviço pode oferecer, não só um ganho de tempo ou de custos, mas também uma melhora no bem-estar humano.

REFERÊNCIAS

ABBATIELLO, Nicholas D. **The development of a design for service strategy**. 1995. 141 f. Dissertação (Master of Science in Manufacturing Engineering). University of Rhode Island, Rhode Island, 1995.

ABDUL-GHAFOUR, S.; GHODOUS, P.; SHARIAT, B.; PERNA, E.; KHOSROUSHAHI, F. Semantic interoperability of knowledge in feature-based CAD models. **Computer-Aided Design**, v. 56, n., p. 45-57, 2014.

ABRAHÃO, Júlia. **Introdução à ergonomia: da prática à teoria**. São Paulo: Blucher, 2009.

ADEDJOUMA, Morayo; DUBOIS, Hubert; TERRIER, François. Requirements exchange: from specification documents to models. In: Engineering of Complex Computer Systems (ICECCS), 2011 16th IEEE International Conference on. IEEE, 2011. p. 350-354.

ALVARENGA NETO, Rivadávia Correa Drummond. **Gestão do conhecimento em organizações: proposta de mapeamento conceitual integrativo**. São Paulo: Saraiva, 2008.

ANDERSSON, F.; HAGQVIST, A.; SUNDIN, E.; BJÖRKMAN, M. Design for Manufacturing of Composite Structures for Commercial Aircraft – The Development of a DFM Strategy at SAAB Aerostructures. **Procedia CIRP**, v. 17, n., p. 362-367, 2014.

Back, N.; Ogliari, A.; Dias, A.; & Silva, J. D. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008.

BAXTER, D.; GAO, J.; CASE, K.; HARDING, J.; YOUNG, B.; COCHRANE, S.; DANI, S. An engineering design knowledge reuse methodology using process modelling. **Research in Engineering Design**, v. 18, n. 1, p. 37-48, 2007.

BLANCHARD, B. S.; VERMA, D.; PETERSON, E. L. **Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management**. Ney York: John Wiley & Sons, v.13, 1995.

BOOTHROYD, G. Product design for manufacture and assembly. **Computer-Aided Design**, v. 26, n. 7, p. 505-520, 1994.

CANDIA, G.F.; CRUZ, G.M.A.; RODRÍGUEZ, M.I.; GALINDO, L.V. Knowledge based engineering system (KBES) for mechanic design activities. **International Journal of Current Advanced Research**, v. 5, n. 6, p. 984-991, 2016.

CHANDRASEGARAN, Senthil K. et al. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. **Computer-Aided Design**, v. 45, n. 2, p. 204-228, 2013.

CHAPMAN, C. B.; PINFOLD, M. The application of a knowledge based engineering approach to the rapid design and analysis of an automotive structure. **Advances in Engineering Software**, v. 32, n. 12, p. 903-912, 2001.

CHENG, Lin Chih et al. **QFD: planejamento da qualidade**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

CHOWDARY, B. V.; MUTHINENI, S. Selection of a Flexible Machining Centre Through a Knowledge Based Expert System. **Global Journal of Flexible Systems Management**, v. 13, n. 1, p. 3-10, 2012.

COOPER, S.; FAN, I.-S.; LI, G. **Achieving competitive advantage through knowledge-based engineering: a best practice guide**: Prepared for the Dept. of Trade and Industry by Dept. of Enterprise Integration, Cranfield University, 1999.

DASSAULT SYSTÈMES. **No Magic Acquisition Completed: Dassault Systèmes Strengthens Foothold in Systems Engineering to Facilitate New Connected Experiences**. Disponível em: <<https://www.3ds.com/press-releases/single/no-magic-acquisition-completed-dassault-systemes-strengthens-foothold-in-systems-engineering-to-fa/>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

DATE, Christopher J. **Introdução a sistemas de bancos de dados**. São Paulo: Elsevier Brasil, 2004.

DEMOLY, F.; MATSOKIS, A.; KIRITSIS, D. A mereotopological product relationship description approach for assembly oriented design. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 28, n. 6, p. 681-693, 2012.

DHILLON, B. S. **Engineering maintainability: how to design for reliability and easy maintenance**. Houston: Gulf Professional Publishing, 1999.

DOD-HDBK-791 - MILITARY HANDBOOK. **Maintainability Design Techniques**, U.S. Department of Defense, 1988.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**: Porto Alegre: Bookman, 2015.

EASTMAN, Charles M. **Design for X: concurrent engineering imperatives**. Springer Science & Business Media, 2012.

ENSSLIN, L.; *et al.* **ProKnow-C, knowledge development process-constructivist**. Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil, v10, p.2015, 2010.

FIGUEIRA, Maria Manuela Caria. **Identificação de outliers**. Millenium, 1998.
FRIEDENTHAL, S.; MOORE, A.; STEINER, R. **A practical guide to SysML: the systems modeling language**. Burlington, MA: Morgan Kaufmann, 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3 ed. São Paulo: Editora Atlas, 1991.

HAUSE, Matthew et al. The SysML modelling language. **Fifteenth European Systems Engineering Conference**, p. 1-12, 2006.

HERNANDEZ, N. Vargas et al. Development of an expert system to aid engineers in the selection of design for environment methods and tools. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 10, p. 9543-9553, 2012.

HEVNER, A.; CHATTERJEE, S. **Design research in information systems: theory and practice**. New York: Springer Science & Business Media, v.22, 2010.

HIEKATA, K.; YAMATO, H. A study on process description method for DFM using ontology. **19th CIRP Design Conference: Competitive Design**, United kingdom: Cranfield University Press, p. 210-215, 2009.

HOQUE, A. S. M.; HALDER, P. K.; PARVEZ, M. S.; SZECSI, T. Integrated manufacturing features and Design-for-manufacture guidelines for reducing product cost under CAD/CAM environment. **Computers & Industrial Engineering**, v. 66, n. 4, p. 988-1003, 2013.

IBM. **Integrating Teamcenter with Rational Rhapsody**. Disponível em: <https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSB2MU_8.1.4/com.ibm.rhp.integ.plm.doc/topics/rhp_c_dev_integrating_teamcenter_with_rhp.html>. Acesso em: 12 abr. 2019.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2005.

IMRAN, M.; YOUNG, B. The application of common logic based formal ontologies to assembly knowledge sharing. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 26, n. 1, p. 139-158, 2015.

İPEK, M.; SELVI, İ. H.; FINDIK, F.; TORKUL, O.; CEDİMOĞLU, İ. H. An expert system based material selection approach to manufacturing. **Materials & Design**, v. 47, n., p. 331-340, 2013.

IWAYA, L. H.; ROSSO JR, R. S. U.; HOUNSELL, M. D. S. A Design for Assembly application with dynamic information retrieval from case database. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 46, n. 7, p. 186-191, 2013.

JAKUBOWSKI, J.; PETERKA, J. Design for manufacturability in virtual environment using knowledge engineering. **Management and Production Engineering Review**, v. 5, n. 1, p. 3-10, 2014.

KONG, L.; JIN, C.; XU, Q.; YANG, G.; KAN, D. Development of Knowledge-Based System for Bus Body Concept Design. In: Jin, D. e Lin, S. (Ed.). **Advances in Mechanical and Electronic Engineering**: V. 1. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, p.555-561,2012.

KRETSCHMER, R.; PFOUGA, A.; RULHOFF, S.; STJEPANDI, J. Knowledge-based design for assembly in agile manufacturing by using Data Mining methods. **Advanced Engineering Informatics**, 2016.

KROGSTIE, Lars; ANDERSSON, Petter. A Case Study on Reuse of Manufacturing Knowledge-Comparing Defense Practices with Automotive & Aerospace Practices. **Procedia Cirp**, v. 3, p. 430-435, 2012.

LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane Price. **Sistemas de informação com internet**. Rio de Janeiro, LTC Editora, 1999.

LEE, S. G. et al. Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul. **Computers in Industry**, v. 59, n. 2-3, p. 296-303, 2008.

LUETZENBERGER, J.; KLEIN, P.; THOBEN, K.D. Using knowledge based engineering to support the design of smart products. 19th International Conference on Engineering Design, **ICED 2013**, Seoul: Design Society, p. 63-72, 2013.

MADHUSUDANAN, N.; CHAKRABARTI, A. Implementation and Initial Validation of a Knowledge Acquisition System for Mechanical Assembly. In: **CIRP Design**. London: Springer London, p.267-277, 2013.

MARCH, Salvatore T.; SMITH, Gerald F. Design and natural science research on information technology. **Decision support systems**, v. 15, n. 4, p. 251-266, 1995.

MIL-HDBK-470A - Military Standardization Handbook. **Designing and Developing Maintainable Products and systems**, U.S. Department of Defense, 1997.

MOSCHETO, Andre Diogo. **Desenvolvimento de um conjunto de diretrizes e ferramenta computacional para endereçar o parâmetro de manutenibilidade no PDP**. 2009. 229 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

NOYER, Arne et al. Traceability and interfacing between requirements engineering and UML domains using the standardized ReqIF format. Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD). **3rd International Conference on IEEE**, p. 1-6, 2015.

OMG. **Requirements interchange format specification**. 2016. Disponível em: <<https://www.omg.org/spec/ReqIF/About-ReqIF/>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

OWEN, Roderick; HORVÁTH, Imre. Towards product-related knowledge asset warehousing in enterprises. **Proceedings of the 4th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering**, p. 155-70, 2002.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. **Projeto na Engenharia**. 6 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PATTON, Joseph D. **Maintainability and maintenance management**. 4 ed. NC: Instrument Society of America, 2005.

- PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.
- PERUZZINI, Margherita et al. Virtual Maintenance Simulation for Socially Sustainable Serviceability. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1413-1420, 2017.
- PREMKUMAR, V.; KRISHNAMURTY, S.; WILEDEN, J. C.; GROSSE, I. R. A semantic knowledge management system for laminated composites. **Advanced Engineering Informatics**, v. 28, n. 1, p. 91-101, 2014.
- PRINCE, Stewart P.; RYAN, Robert G.; MINCER, Tom. Common API: using visual basic to communicate between engineering design and analytical software tools. **ASEE Annual Conference**, v. 10, p. 1, 2005.
- PRUSAK, L.; DAVENPORT, T. H. **Conhecimento empresarial: como as organizações gerenciam o seu capital intelectual**. 4 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.
- PTC. **PTC model-based systems engineering solution**. Disponível em: <https://www.ptc.com/~media/Files/PDFs/ALM/J6309_ALM_MBSE_DS_EN_FINAL.ashx?la=en>. Acesso em: 12 abr. 2019.
- RAMOS, A. L.; FERREIRA, J. V.; BARCELÓ, J. Model-based systems engineering: An emerging approach for modern systems. **Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on**, v. 42, n. 1, p. 101-111, 2012.
- RAMOS, L. Semantic Web for manufacturing, trends and open issues: Toward a state of the art. **Computers & Industrial Engineering**, v. 90, n., p. 444-460, 2015.
- RHEE, Seung J.; ISHII, Kosuke. Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability. **Advanced Engineering Informatics**, v. 17, n. 3, p. 179-188, 2003.
- RMF Community. **Eclipse ProR User Guide**. 2016. Disponível em: <<http://download.eclipse.org/rmf/documentation/rmf-latex/main.html>>. Acesso em: 12 abr. 2019.
- 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.
- SAPUAN, S. M.; MANSOR, M. R. Concurrent engineering approach in the development of composite products: A review. **Materials & Design**, v. 58, n., p. 161-167, 2014.
- SASSANELLI, Claudio et al. Design for Product Service Supportability (DfPSS) approach: a state of the art to foster Product Service System (PSS) design. **Procedia CIRP**, v. 47, p. 192-197, 2016.

SCHEEREN, Ismael. **Comparação entre método centrado em documentos e de engenharia de sistemas baseada em modelos**. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SETZER, V. W. Dado, informação, conhecimento e competência. **Revista de Ciência da Informação**, 1999.

SILBERSCHATZ, Abraham; SUNDARSHAN, S.; KORTH, Henry F. **Sistema de banco de dados**. São Paulo: Elsevier Brasil, 2016.

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

SILVA, Flávio Roberto. **Uma abordagem para detecção de outliers em dados categóricos**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SMITH, Elizabeth A. The role of tacit and explicit knowledge in the workplace. **Journal of Knowledge Management**, v. 5, n. 4, p. 311-321, 2001.

SMITH, Robert P. The historical roots of concurrent engineering fundamentals. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 44, n. 1, p. 67-78, 1997.

STRAUHS, F. D. R.; PIETROVSKI, E. F.; SANTOS, G. D.; CARVALHO, H. G. D.; PIMENTA, R. B.; PENTEADO, R. D. F. S. **Gestão do conhecimento nas organizações**. Curitiba: Aymarã Educação, 2012.

TERRA, J. C. C.; GORDON, C. **Portais corporativos: a revolução na gestão do conhecimento**. São Paulo: Negócio Editora, 2002.

TURBAN, Efraim; VOLONINO, Linda. **Tecnologia da Informação para Gestão: Em Busca de um Melhor Desempenho Estratégico e Operacional**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ULLMAN, David G. **The mechanical design process**. New York: McGraw-Hill, 1992.

VARGAS HERNANDEZ, N.; OKUDAN KREMER, G.; SCHMIDT, L. C.; ACOSTA HERRERA, P. R. Development of an expert system to aid engineers in the selection of design for environment methods and tools. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 10, p. 9543-9553, 2012.

VERHAGEN, Wim JC et al. A critical review of Knowledge-Based Engineering: an identification of research challenges. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 1, p. 5-15, 2012.

VON ALAN, R. H.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design science in information systems research. **MIS quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

WAHIDIN, L. S.; TAN, C. F.; KHALIL, S. N.; TAMALDIN, N.; SIVARAO; HU, J.; RAUTERBERG, G. W. M. A knowledge-based architecture framework of design for assemble system (DAEx). **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 11, n. 4, p. 2505-2507, 2016.

WOLL, R.; HAYKA, H.; STARK, R.; GEISSLER, C.; GREISINGER, C. Semantic integration of product data models for the verification of product requirements. In: (Ed.). *Concurrent Engineering Approaches for Sustainable Product Development in a Multi-Disciplinary Environment*: Springer, p.157-168, 2013.

ZANCUL, Eduardo de Senzi. **Gestão do ciclo de vida de produtos: seleção de sistemas PLM com base em modelos de referência**. 227 f. Tese. (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

ZHOU, Y.; SAITOU, K. Identification of manufacturability constraints through process simulation and data mining. In: **ASME IDETC/CIE**, v4,2014.

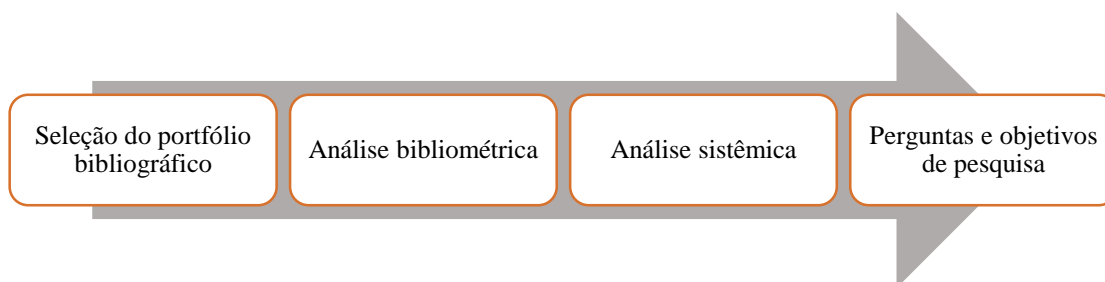
APÊNDICE A – SELEÇÃO DO PORTFÓLIO E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A1. Procedimento metodológico

O objetivo desta seção será a apresentação dos passos percorridos para se chegar ao estado da arte sobre o tema em estudo. O procedimento metodológico adotado foi o denominado *Knowledge Development Process-Constructivist* (ProKnowC), que colabora para que os pesquisadores encontrem os conteúdos mais expressivos dentro de uma extensa quantidade de informações na literatura (ENSSLIN *et al.*, 2010).

O processo ProKnow-C é dividido em quatro etapas (Figura 41). Segundo Ensslin *et al.* (2010), a primeira etapa, construção do portfólio de artigos, consiste na seleção de um banco de artigos bruto e na filtragem destes artigos. A segunda etapa é a análise bibliométrica do portfólio, na qual ocorre uma análise de quais são os periódicos e as palavras-chave mais recorrentes, além do número de vezes que cada artigo foi citado na literatura com o propósito de se identificar as publicações mais relevantes para o tema de pesquisa. No terceiro passo, análise sistêmica, é realizada a leitura integral do portfólio resultante, a fim de identificar os problemas de pesquisa, as soluções propostas pelos autores e as oportunidades de pesquisa observadas. Por fim, a última etapa do ProKnow-C é a definição da pergunta e dos objetivos de pesquisa. Entretanto, este estudo limitou-se nas três primeiras etapas do processo, não adentrando no campo de um trabalho futuro.

Figura 41 - Fases do processo ProKnow-C



Fonte: Adaptado de Ensslin *et al.* (2010)

A pesquisa por artigos foi limitada nos últimos cinco anos, mais precisamente de janeiro de 2012 a março de 2017, e ocorreu em dez bases de dados escolhidas, que são elas: ProQuest, Engineering Village, Scopus, Web of Science,

Wiley, Emerald, Springer, Science Direct, EBSCO e IEEE. Para gerir o portfólio de artigos foi utilizado o *software* EndNote, e a estruturação das análises bibliográfica e sistêmica foi realizada no *software* Microsoft Excel.

A2. Seleção do portfólio bibliográfico

A2.1 Seleção da base de artigos bruta

Para a construção do portfólio bibliográfico foram definidos primeiramente os eixos de pesquisa, que representam as áreas envolvidas com o tema explorado. Como o objetivo deste trabalho é analisar a engenharia baseada em conhecimento (KBE) aplicada ao projeto para manufatura e montagem (DFMA), observa-se que ambos, KBE e DFMA, são áreas de estudo distintas, portanto foram os dois primeiros eixos escolhidos. Ainda, pelo fato de este cenário estar inserido no Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), adotou-se este como terceiro eixo.

Na sequência, para cada eixo de pesquisa foram definidas algumas palavras-chave. Essas palavras foram adotadas após uma breve consulta na literatura para certificar os termos mais utilizados e seus possíveis sinônimos. Todas as palavras-chave adotadas são apresentadas no Quadro 8, divididas pelos três eixos de pesquisa.

A próxima etapa foi a busca por artigos nas bases de dados escolhidas, com o período limitado aos últimos cinco anos. Os resultados levaram ao total de 1.217 publicações, que compuseram a base bruta de artigos.

A2.2 Filtragem do banco de artigos

A partir da amostra obtida pela etapa de seleção do portfólio bibliográfico, as publicações foram exportadas para o *software* EndNote para facilitar o gerenciamento dos artigos. Primeiramente, foi realizada uma eliminação dos artigos duplicados, reduzindo-se a base de 1.217 para 863 publicações.

Quadro 8 - Eixos de pesquisa e palavras-chave

Eixos de Pesquisa	Palavras-chave
Projeto para manufatura e montagem (DFMA)	Design for Manufacturing and Assembly; DFMA; Design for Manufacturing; DFM; Design for assembly; DFA;DFX
Engenharia baseada no conhecimento (KBE)	Knowledge-based engineering; KBE; knowledge management; Knowledge-based systems; Expert systems; Intelligent systems; Artificial intelligence; Ontology
Processo de desenvolvimento de produto (PDP)	Product development; Product development process; PDP; New product development; NPD; Concurrent engineering

Fonte: o próprio autor

Na sequência, foi realizada uma leitura dos títulos, admitindo para a próxima fase apenas artigos cujo título apontasse uma estreita relação com o objeto de pesquisa. Restaram-se apenas 31 artigos para análise posterior. Dessa maneira, utilizando-se do *Google Scholar*, foi possível identificar o número de vezes que cada publicação havia sido citada por outros autores com o intuito de se verificar o reconhecimento científico de cada artigo. Após esta apuração, foi estabelecida a eliminação de artigos que nunca haviam sido citados, com exceção dos títulos do ano de 2016, os quais permaneceram na amostra devido ao pouco tempo para serem citados em novos trabalhos. Desta forma, 25 artigos seguiram para a etapa de análise seguinte.

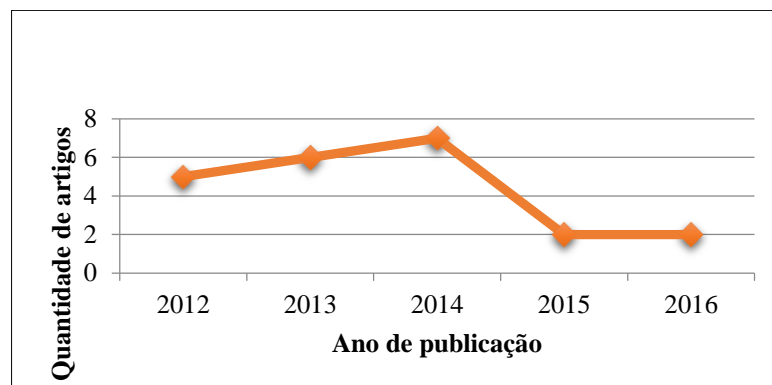
A última etapa para seleção e triagem dos artigos consistiu na leitura dos resumos das 25 publicações. Assim, concluiu-se que 3 artigos poderiam ser eliminados pois não eram relevantes ao objetivo da pesquisa, e desta forma chegou-se a um número de 22 artigos reconhecidos cientificamente e alinhados com o objetivo da pesquisa, os quais compuseram o portfólio bibliográfico.

A3. Análise bibliométrica

A análise bibliométrica assessora a interpretação e a avaliação do portfólio bibliográfico, por meio de uma análise quantitativa dos artigos pelo ano de publicação, pelo reconhecimento científico através do número de citações obtidas, e por uma análise das palavras-chave e periódicos mais recorrentes tocantes ao objeto do estudo (ENSSLIN, 2010).

Observa-se que houve um crescimento no número de publicações enquadradas com este estudo, alcançando o ponto máximo em 2014 com 7 publicações. Contudo, em 2015 e 2016 houve uma significativa redução, o que poderia alertar uma possível obsolescência do tema. Uma hipótese admissível para o fenômeno da Figura 42, é que as pesquisas com DFMA vêm decrescendo, enquanto que o interesse em KBE está no sentido oposto, servindo ainda de motivação para este estudo.

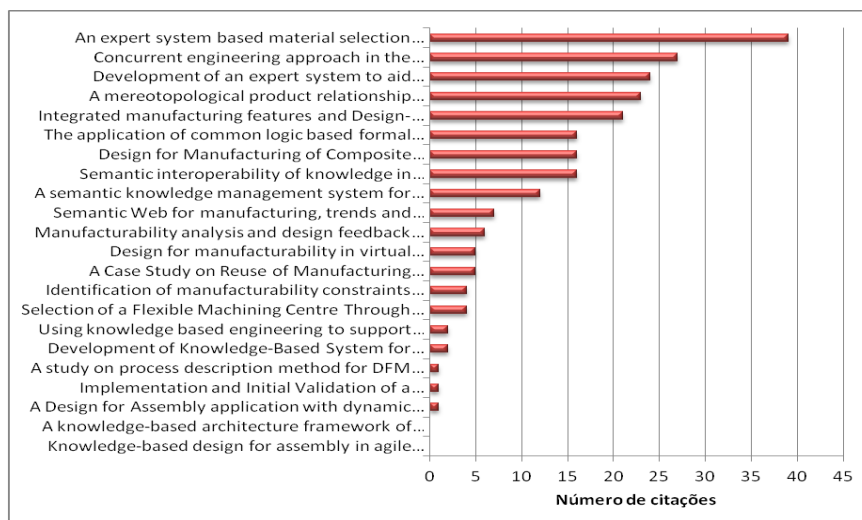
Figura 42 - Quantidade de artigos pelo ano de publicação



Fonte: o próprio autor

A próxima avaliação se referiu ao número de citações obtidas por cada artigo, retratado na Figura 43. Destaca-se o trabalho de Ipek *et. al.* (2013) com 39 citações.

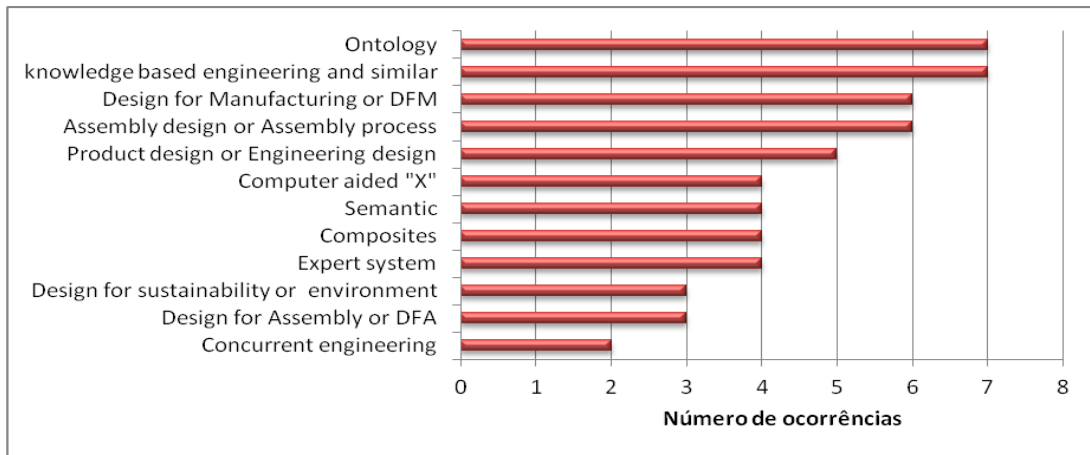
Figura 43 - Reconhecimento científico dos artigos pelo número de citações



Fonte: o próprio autor

Outra apreciação foi quanto à aderência das palavras-chave, com a observação do número de ocorrências de cada uma no portfólio. Para isso, uniram-se as palavras que poderiam ser consideradas sinônimas ou muito semelhantes. Observa-se que as palavras mais recorrentes se referem à ontologia e KBE, ambas com sete ocorrências, seguidas por DFM e palavras que aludem à montagem conforme observado na Figura 44.

Figura 44 - Aderência das palavras-chave



Fonte: o próprio autor

Para finalizar a análise bibliométrica, os periódicos ou conferências mais recorrentes foram levantados. Os que se destacaram com duas ocorrências foram: *Advanced Engineering Informatics*, *CIRP Design Conference*, *Computers & Industrial Engineering*, *IDETC/CIE ASME*, *Materials & Design* e *Procedia CIRP*. Essa análise é interessante para verificar onde são publicados mais artigos relacionados ao tema pesquisado.

Terminada as análises quantitativas, iniciou-se a análise sistêmica do portfólio bibliográfico, a qual será apresentada no Apêndice B.

APÊNDICE B – ANÁLISE SISTÊMICA

De acordo com Ensslin *et al.* (2010), a análise sistêmica é utilizada para explorar uma amostra representativa de um determinado assunto, visando identificar as oportunidades de pesquisa sobre o objeto em estudo. Após a leitura integral dos artigos realizando uma análise crítica, uma planilha foi elaborada contendo as seguintes informações extraídas de cada trabalho: objetivo, metodologia, principais resultados, recomendações futuras e oportunidades de pesquisa encontradas. A partir desses resultados, identificaram-se os problemas encontrados pelos autores, as soluções propostas e as oportunidades de pesquisa, apresentados a seguir de forma agrupada.

B1. Principais problemas de pesquisa

a) Modelos incompletos

Diversos trabalhos abordaram a dificuldade para gerir ou armazenar o conhecimento simultaneamente com as informações geométricas no sistema CAD. Demoly, Matsokis e Kiritsis (2012) abordaram a necessidade de informações relativas à montagem. Já Hoque *et al.* (2013) questionaram a impossibilidade de agregar ao CAD o modo de fabricação da peça, quais ferramentas devem ser utilizadas, dentre outras características de fabricação. O estudo de Abdul-Ghafour *et al.* (2014) apontou que a falta de informações sobre como o modelo fora construído prejudica a interoperabilidade entre sistemas. Luetzenberger, Klein e Thoben (2013) trouxeram a necessidade de integração entre uma ontologia e o sistema CAD. Os trabalhos de Jakubowski e Peterka (2014) e Zhou e Saitou (2014) questionaram que dentro do ambiente CAD há liberdade para criar qualquer geometria sem se importar sobre como a peça será fabricada, prejudicando a manufaturabilidade. Zhou e Saitou (2014) apontaram como exemplo a dificuldade de fabricação dos cantos em peças estampadas.

b) Representação do conhecimento na fabricação ou montagem

Conforme demandado por Ramos (2015), Krogstiea e Anderson (2012), Iwaya, Rosso Junior e Hounsell (2013), Hiekata e Yamato (2014), Kretschmer *et al.* (2016) e Wahidin *et al.* (2016), há necessidade de representar melhor os dados de fabricação e montagem para que estes sejam aproveitados futuramente durante novos projetos. Sem uma ferramenta de auxílio, os registros de casos anteriores ficam a mercê da lembrança dos profissionais, e muitas vezes desperdiçados. Krogstiea e

Anderson (2012) identificaram problemas semelhantes de comunicação em três empresas. Eles observaram a predominância da comunicação face a face, a pouca presença dos projetistas na produção, a distância entre os departamentos e a dificuldade de armazenar conhecimento para aproveitamento posterior.

c) Problemas específicos na fabricação

Os trabalhos de Sapuan e Mansor (2014), Anderson *et al.* (2014) e Premkumar *et al.* (2014) abordaram questões de fabricação envolvendo componentes de materiais compósitos. Devido às peculiaridades de fabricação, a manufatura de materiais compósitos predominou entre os trabalhos exclusivos para um único processo de fabricação. Para Premkumar *et al.* (2014), somou-se ainda a necessidade de integração entre as diversas ferramentas envolvidas para seleção de material, e ferramentas CAD e CAE. Já Zhou e Saitou (2014) buscaram solucionar problemas recorrentes na estampagem devido às características geométricas do produto. Jakubowski e Peterka (2014) apresentaram um caso no qual era necessário utilizar três ferramentas de usinagem para obedecer a um raio que não era importante, e se caso ele fosse alterado, apenas duas etapas com duas ferramentas eram necessárias.

B2. Objetivos e recursos propostos

a) Sistema especialista baseado em regra

A solução do problema por meio de um sistema especialista baseado em regras, e sem ontologia, foi adotada por Ipek *et al.* (2013), Chowdary e Muthineni (2012), Wahidin *et al.* (2016), Hernandez *et al.* (2012) e Iwaya, Rosso Junior e Hounsell (2013). Ipek *et al.* (2013) e Chowdary e Muthineni (2012) criaram um sistema baseado em regras *IF-THEN*, sendo que os primeiros autores o utilizaram para obter a resposta do material mais adequado e os outros para obter a máquina mais adequada para fabricação. Chowdary e Muthineni (2012) utilizaram a linguagem C, um banco de dados e uma interface de fácil operação. Outros trabalhos, como de Hernandez *et al.* (2012), Iwaya, Rosso Junior e Hounsell (2013) e Kretschmer *et al.* (2016) buscavam no sistema um conceito como resposta, e não um conhecimento explícito, como um valor mensurável ou descrito, e criaram para isso um sistema baseado em casos semelhantes. Wahidin *et al.* (2016) propuseram um sistema especialista baseado em regras para planejar a montagem denominado DAEx, e para isso adquiriram conhecimento dos especialistas por entrevistas, assim como

Anderson *et al.* (2014) e Krogstiea e Anderson (2012), e classificaram as várias concepções e técnicas de montagem.

b) Soluções com ontologia

Ontologias computacionais são capazes de modelar formalmente o conhecimento, podendo ser útil para determinada finalidade. Os trabalhos de Demoly, Matsokis e Kiritsis (2012), Abdul-Ghafour *et al.* (2014), Premkumar *et al.* (2014), Ramos (2015) e Hiekata e Yamato (2014) trouxeram essa ferramenta como solução. Tratando de DFA, Demoly, Matsokis e Kiritsis (2012) criaram uma sequência de montagem com um diagrama de Gantt e ontologia utilizando as linguagens OWL-DL e SWRL. As mesmas linguagens foram usadas por Abdul-Ghafour *et al.* (2014) para elaborar uma ontologia com interoperabilidade entre sistemas CAD, de modo que carregue dados de modelagem do objeto além dos geométricos. Premkumar *et al.* (2014) recorreram a ontologia para integrar dados de materiais e *softwares* CAD e CAE. Hiekata e Yamato (2014) empregaram uma ontologia pela linguagem RDF e a API Java, Jena, para gerar um fluxo dos processos de fabricação. Alguns trabalhos, como de Demoly, Matsokis e Kiritsis (2012), Abdul-Ghafour *et al.* (2014) e Premkumar *et al.* (2014) citaram a utilização do *software Protégé*, um editor de ontologia e *framework open-source* para a construção de sistemas especialistas.

c) Soluções integradas

Premkumar *et al.* (2014) desenvolveram um sistema chamado SLACK, que integra dados de materiais (base de dados OptiData), de CAD (CREO), de FEA (Ansys) e de um software específico para compósitos (FiberSIM). A aquisição de dados do Ansys e FiberSIM se deu por arquivos XML e dos materiais por uma planilha do Excel. Luetzenberger, Klein e Thoben (2013) elaboraram uma ontologia chamada de Pacote de Aquisição de Conhecimento (KAW) ligando o CATIA com uma ontologia, conseguindo assim reunir toda a estrutura do produto e oferecer uma saída em XML. Já o trabalho realizado por Hoque *et al.* (2013) trouxe uma abordagem diferente para modelar o produto no software CAD, no qual desenvolveram um suplemento ao Creo Elements/Pro pela ferramenta ToolKit, que partindo da geometria da matéria-prima, permite desenhar na ordem das operações e com dimensões que são atendidas pelas ferramentas utilizadas para a fabricação.

B3. OPORTUNIDADES DE PESQUISA

a) Aquisição do conhecimento

Conforme observado nos artigos do portfólio, deve-se haver uma atenção especial para adquirir um conhecimento tácito, que ao contrário do explícito, não é definido por números e palavras. Dentre as formas de aquisição utilizadas nos estudos, destacaram-se a abordagem de casos semelhantes como realizada por Iwaya, Rosso Junior e Hounsell (2013) e Kretschmer *et al.* (2016), e a coleta de entrevistas de especialistas, conforme abordado nos trabalhos de Anderson *et al.* (2014), Krogstiea e Anderson (2012) e Wahidin *et al.* (2016). Embora o emprego de casos semelhantes tenha sido para DFA, seria oportuno também fazer proveito para uma aplicação de DFM.

b) Utilização de ontologia

Ramos (2015) sugeriu mais estudos para representação do conhecimento da fabricação por meio da ontologia, considerando a complexidade e heterogeneidade deste domínio. Luetzenberger, Klein e Thoben (2013) sugeriram um maior gerenciamento de ontologias dentro do ambiente CAD. De maneira geral, observa-se a capacidade das ontologias em explicitar conceitos, sendo uma ferramenta de grande potencial para o desenvolvimento de sistemas especialistas.

c) Interface com o usuário

Nem todos os trabalhos que utilizaram ontologias apresentaram uma interface de fácil utilização. Premkumar *et al.* (2014) sugeriram que uma interface de ontologia amigável ao usuário deveria ser desenvolvida. Observa-se, portanto, que essa questão deve ser mais bem estudada para dominar as alternativas de integração de uma ferramenta visual com a ontologia. Uma alternativa surgiu do trabalho de Hiekata e Yamato (2014) que utilizaram Jena, uma API Java. Quanto a interação com o sistema, alguns autores, como Hernandez *et al.* (2012), desenvolveram uma interface onde o usuário pode responder questões ou fazer escolhas, o que se mostrou uma boa opção para operação de um sistema especialista.

d) Outras incorporações a um sistema

Conforme realizado por Premkumar *et al.* (2014), integrar dados dos materiais em um sistema de DFM pode ser útil, uma vez que certas características da fabricação dependem do material utilizado. O estudo realizado por Ipek *et al.* (2013) contribuiu tecnicamente com esse propósito voltado para a seleção de material. Sapuan e Mansor (2014) sugeriram utilizar a Teoria da Solução de Problemas Inventivos (TRIZ) na abordagem de KBE. Já o trabalho de Hoque *et al.* (2013) inspira a considerar mais informações relativas às ferramentas de usinagem em um sistema

voltado ao DFM. Observa-se ainda, a oportunidade de expandir o trabalho realizado por Hoque *et al.* (2013) voltado à usinagem para outros processos de fabricação.

e) Integração

Analisando o trabalho de Premkumar *et al.* (2014), observa-se que há maior facilidade em utilizar aplicações que forneçam saída nos formatos XML e XLS em conjunto com a ontologia. Portanto, aplicações com essa opção de formato de arquivo podem ser consideradas para uma integração com maior possibilidade de sucesso.

APÊNDICE C – CÓDIGO EM VBA DAS FERRAMENTAS

Ferramenta: Consultar SysML

- Formulário

```

Option Explicit
Dim Lg As Single
Dim Ht As Single
Dim Fini As Boolean

Dim Selecao As String

Public swApp As SldWorks.SldWorks
Public swModel As SldWorks.ModelDoc2

Private Sub UserForm1_Initialize()
Dim i As Integer, L As Integer, TB

    InitMaxMin Me.Caption
    Ht = Me.Height
    Lg = Me.Width

    Application.WindowState = xlMaximized
    Me.Height = Application.Height
    Me.Width = Application.Width
    Me.Left = Application.Left
    Me.Top = Application.Top

End Sub

'=====

Private Sub UserForm_Resize()
    Dim RtL As Single, RtH As Single
    If Me.Width < 300 Or Me.Height < 200 Or Fini Then Exit Sub
    RtL = Me.Width / Lg
    RtH = Me.Height / Ht
    Me.Zoom = IIf(RtL < RtH, RtL, RtH) * 100
End Sub

'=====

Private Sub UserForm_Terminate()
    Fini = True
End Sub

```



```

Private Sub CommandButton4_Click()
    Dim Filter As String
    Dim fileName As String
    Dim fileConfig As String
    Dim fileDispName As String
    Dim fileOptions As Long
    Set swApp = Application.SldWorks
    ' The Filter string has three filters
    ' associated with it; note the use of
    ' the | character between filters
    Filter = "SysML html Files (*.htm; *.html; *.xml)|*.htm;*.html;*.xml|*.fil|All Files (*.*)|*.*|"
    fileName = swApp.GetOpenFileName("File to Attach", "", Filter, fileOptions, fileConfig, fileDispName)
    Debug.Print fileName
    'Como cargar imagen: Me.Image1.Picture = LoadPicture(strPath & "DeerPicture.jpg")
    'Me.Image1.Picture = LoadPicture(fileName)
    WebBrowser1.Navigate (fileName)
    TextBox1.Value = fileName
End Sub

```

- **Módulo**

Option Explicit

```

Declare PtrSafe Function FindWindowA& Lib "User32" (ByVal lpClassName$, ByVal lpWindowName$)
Declare PtrSafe Function GetWindowLongA& Lib "User32" (ByVal hWnd&, ByVal nIndex&)
Declare PtrSafe Function SetWindowLongA& Lib "User32" (ByVal hWnd&, ByVal nIndex&, ByVal dwNewLong&)

```

```

Public Const GWL_STYLE As Long = -16
Public Const WS_MINIMIZEBOX = &H20000
Public Const WS_MAXIMIZEBOX = &H10000
Public Const WS_FULLSCREEN = &H70000

```

```

Public Sub InitMaxMin(mCaption As String, Optional Max As Boolean = True, Optional Min As Boolean = True _
, Optional Sizing As Boolean = True)

```

```

    Dim hWnd As Long
    hWnd = FindWindowA(vbNullString, mCaption)
    If Max Then SetWindowLongA hWnd, GWL_STYLE, GetWindowLongA(hWnd, GWL_STYLE) Or WS_MAXIMIZEBOX
    If Min Then SetWindowLongA hWnd, GWL_STYLE, GetWindowLongA(hWnd, GWL_STYLE) Or WS_MINIMIZEBOX
    If Sizing Then SetWindowLongA hWnd, GWL_STYLE, GetWindowLongA(hWnd, GWL_STYLE) Or WS_FULLSCREEN
End Sub

```

```

Sub main()

```

```

    UserForm1.Show

```

```

End Sub

```

Ferramenta: Inserir Requisitos

- Formulário

```
Private Sub Frame1_Click()

End Sub

Private Sub UserForm_Initialize()

Dim strSql_1 As String
Dim strSql_2 As String
Dim strSql_3 As String
Call ConectDB
Set rs1 = New ADODB.Recordset
Set rs2 = New ADODB.Recordset
Set rs3 = New ADODB.Recordset
Dim i As Integer

strSql_1 = "SELECT DISTINCT desc_ori FROM Origem"
strSql_1 = strSql_1 & " ORDER BY desc_ori ASC"
strSql_2 = "SELECT DISTINCT desc_cla FROM Classificacao"
strSql_2 = strSql_2 & " ORDER BY desc_cla ASC"
strSql_3 = "SELECT DISTINCT desc_prod FROM Produto"
strSql_3 = strSql_3 & " ORDER BY desc_prod ASC"

rs1.Open strSql_1, db
'limpa a combobox
Me.ComboBox1.Clear

On Error Resume Next

While Not rs1.EOF
    Me.ComboBox1.AddItem (rs1(0))
    rs1.MoveNext
Wend

rs2.Open strSql_2, db
Me.ComboBox2.Clear
While Not rs2.EOF
    Me.ComboBox2.AddItem (rs2(0))
    rs2.MoveNext
Wend

rs3.Open strSql_3, db
Me.ComboBox3.Clear
While Not rs3.EOF
    Me.ComboBox3.AddItem (rs3(0))
    rs3.MoveNext
Wend

i = 1
Me.ComboBox4.Clear
Do While i <= 5
    Me.ComboBox4.AddItem (i)
    i = i + 1
Loop
```

```
FechaDB
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton1_Click()
    Dim vBusca As String
    Dim LinhaListBox As Integer
    Dim comando As String

    ConectDB
    Set rs4 = New ADODB.Recordset
    vBusca = "SELECT DISTINCT cod_ori FROM Origem WHERE Origem.desc_ori like ('" & ComboBox1.Value & "'"")"
    rs4.Open vBusca, db
    comando = "INSERT INTO Requisito (desc_req, cod_ori) VALUES ('" & TextBox1.Value & "', '" & rs4(0) & "'" )"
    rs.Open comando, db
    MsgBox "Requisito salvo!"
    FechaDB

```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton2_Click()
    Dim vBusca As String
    Dim LinhaListBox As Integer
    Dim comando As String

    ConectDB

    Set rs5 = New ADODB.Recordset
    Set rs6 = New ADODB.Recordset
    vBusca = "SELECT DISTINCT cod_cla FROM Classificacao WHERE Classificacao.desc_cla like ('" & ComboBox2.Value & "'"")"
    rs5.Open vBusca, db
    vBusca = "SELECT DISTINCT cod_req FROM Requisito WHERE Requisito.desc_req like ('" & TextBox1.Value & "'"")"
    rs6.Open vBusca, db
    comando = "INSERT INTO Req_clas (cod_req, cod_cla) VALUES ('" & rs6(0) & "', '" & rs5(0) & "'" )"
    rs.Open comando, db
    MsgBox "Classificação associada ao requisito!"
    FechaDB

```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton3_Click()
    Dim vBusca As String
    Dim LinhaListBox As Integer
    Dim comando As String

    ConectDB
    Set rs7 = New ADODB.Recordset
    Set rs8 = New ADODB.Recordset
    vBusca = "SELECT DISTINCT cod_req FROM Requisito WHERE Requisito.desc_req like ('" & TextBox1.Value & "'"")"
    rs7.Open vBusca, db
    vBusca = "SELECT DISTINCT cod_prod FROM Produto WHERE Produto.desc_prod like ('" & ComboBox3.Value & "'"")"
    rs8.Open vBusca, db
    comando = "INSERT INTO Req_prod (cod_req, cod_prod, prioridade_req_prod) VALUES ('" & rs7(0) & "', '" & rs8(0) & "', '" & ComboBox4.Value & "'" )"
    rs.Open comando, db
    MsgBox "Produto associado ao requisito!"
    FechaDB

```

```
End Sub
```

- Módulo

```
Dim swApp As Object
```

```
Public db As New ADODB.Connection
```

```
Public rs As New ADODB.Recordset
```

```
Public CaminhoBanco As String
```

```
Sub main()
```

```
Set swApp = Application.SldWorks
```

```
UserForm1.Show
```

```
End Sub
```

```
Public Sub ConectDB()
```

```
    CaminhoBanco = "C:\Users\Administrator\Desktop\MESTRADO\Desenvolvimento da solução\VB - Macro\BD_01.accdb"  
    db.Open "Provider=microsoft.ACE.oledb.12.0 ;data Source =" & CaminhoBanco
```

```
End Sub
```

```
Public Sub FechaDB()
```

```
    Set db = Nothing
```

```
    Set rs = Nothing
```

```
End Sub
```

Ferramenta: Consultar Requisitos

- Formulário

```

Private Sub UserForm_Initialize()
Dim strSql_1 As String
Dim strSql_2 As String
Dim strSql_3 As String
Dim strSql_4 As String
Call ConectDB
Set rs1 = New ADODB.Recordset
Set rs2 = New ADODB.Recordset
Set rs3 = New ADODB.Recordset
Set rs4 = New ADODB.Recordset

strSql_1 = "SELECT DISTINCT desc_prod FROM Produto"
strSql_1 = strSql_1 & " ORDER BY desc_prod ASC"
strSql_2 = "SELECT DISTINCT desc_cla FROM Classificacao"
strSql_2 = strSql_2 & " ORDER BY desc_cla ASC"
strSql_3 = "SELECT DISTINCT desc_ori FROM Origem"
strSql_3 = strSql_3 & " ORDER BY desc_ori ASC"
strSql_4 = "SELECT DISTINCT prioridade_req_prod FROM Req_prod"
strSql_4 = strSql_4 & " ORDER By prioridade_req_prod ASC"

rs1.Open strSql_1, db
'limpa a combobox
Me.ComboBox1.Clear

On Error Resume Next

While Not rs1.EOF
    Me.ComboBox1.AddItem (rs1(0))
    rs1.MoveNext
Wend

rs2.Open strSql_2, db
Me.ComboBox2.Clear
While Not rs2.EOF
    Me.ComboBox2.AddItem (rs2(0))
    rs2.MoveNext
Wend

rs3.Open strSql_3, db
Me.ComboBox3.Clear
While Not rs3.EOF
    Me.ComboBox3.AddItem (rs3(0))
    rs3.MoveNext
Wend

rs4.Open strSql_4, db
Me.ComboBox4.Clear
While Not rs4.EOF
    Me.ComboBox4.AddItem (rs4(0))
    rs4.MoveNext
Wend

FechaDB
End Sub

```

```

Private Sub CommandButton2_Click()
    Dim vBusca As String
    Dim LinhaListbox As Integer

    LinhaListbox = 0
    ListBox1.Clear
    ListBox1.ColumnCount = 4
    ListBox1.ColumnWidths = "40;120;40;55"
    vBusca = TextBox1.Text

    ConectDB
    rs.Open "Select * from TBDados where Nome like'" & Replace(vBusca, "'", "'') & "%'" & _
        "or Idade like '" & Replace(vBusca, "'", "'') & "%'" & " or Sexo like '" & Replace(vBusca, "'", "'') & "%'", db, 3, 3
    Do Until rs.EOF
        With ListBox1
            .AddItem
                .List(LinhaListbox, 0) = rs!Codigo
                .List(LinhaListbox, 1) = rs!Nome
                .List(LinhaListbox, 2) = rs!idade
                .List(LinhaListbox, 3) = rs!Sexo

            LinhaListbox = LinhaListbox + 1
        End With

        rs.MoveNext
    Loop
FechaDB
End Sub

```

```

Private Sub CommandButton3_Click()
    Dim vBusca1, vBusca2, vBusca3, vBusca4 As String
    Dim LinhaListbox As Integer
    Dim comando1, comando2 As String

    LinhaListbox = 0
    ListBox1.Clear
    ListBox1.ColumnCount = 6
    ListBox1.ColumnWidths = "35;635;54;102;102;100"
    vBusca1 = ComboBox1.Value
    vBusca2 = ComboBox2.Value
    vBusca3 = ComboBox3.Value
    vBusca4 = ComboBox4.Value

    ConectDB
    comando2 = "SELECT Requisito.cod_req, Requisito.desc_req, Req_prod.Prioridade_req_prod, Classificacao.desc_cla, Origem.desc_ori, Produto.desc_prod FROM ((Origem INNER JOIN Requisito ON Origem.|
.[cod_ori] = Requisito.[cod_ori]) INNER JOIN (Produto INNER JOIN Req_prod ON Produto.[cod_prod] = Req_prod.[cod_prod]) ON Requisito.[cod_req] = Req_prod.[cod_req]) INNER JOIN (Classificacao INNER JOIN
Req_clas ON Classificacao.[cod_cla] = Req_clas.[cod_cla]) ON Requisito.[cod_req] = Req_clas.[cod_req] WHERE Classificacao.desc_cla like '" & Replace(vBusca2, "'", "'') & "%' and Produto.desc_prod
like '" & Replace(vBusca1, "'", "'') & "%' and Origem.desc_ori like '" & Replace(vBusca3, "'", "'') & "%' and Req_prod.prioridade_req_prod like '" & Replace(vBusca4, "'", "'') & "%' ORDER BY
Requisito.cod_req"
    rs.Open comando2, db
    Do Until rs.EOF
        With ListBox1
            .AddItem
                .List(LinhaListbox, 0) = rs(0)
                .List(LinhaListbox, 1) = rs(1)
                .List(LinhaListbox, 2) = rs(2)
                .List(LinhaListbox, 3) = rs(3)
                .List(LinhaListbox, 4) = rs(4)
                .List(LinhaListbox, 5) = rs(5)

            LinhaListbox = LinhaListbox + 1
        End With

        rs.MoveNext
    Loop
FechaDB
End Sub

```

```

Private Sub CommandButton4_Click()
    Dim vBusca3 As String
    Dim LinhaListbox As Integer
    Dim comando As String

    LinhaListbox = 0
    ListBox1.Clear
    ListBox1.ColumnCount = 3
    ListBox1.ColumnWidths = "40;120;60"
    vBusca3 = TextBox2.Text

    ConectDB
    comando = "SELECT Tabela2.Codigo_TB2, Tabela2.Nome_TB2, Tabela1.Nome FROM Tabela1 INNER JOIN Tabela2 ON Tabela1.Codigo = Tabela2.Cod_TB1 where Tabela2.Nome_TB2 like '" & Replace(vBusca3, "'", "'') & "%'"
    rs.Open comando, db
    Do Until rs.EOF
        With ListBox1
            .AddItem
                .List(LinhaListbox, 0) = rs(0)
                .List(LinhaListbox, 1) = rs(1)
                .List(LinhaListbox, 2) = rs(2)
            LinhaListbox = LinhaListbox + 1
        End With
        rs.MoveNext
    Loop
    FechaDB
End Sub

```

- **Módulo**

```

Dim swApp As Object

Public db As New ADODB.Connection
Public rs As New ADODB.Recordset
Public CaminhoBanco As String
Sub main()

Set swApp = Application.SldWorks
UserForm1.Show
End Sub

Public Sub ConectDB()
    CaminhoBanco = "C:\Users\Administrator\Desktop\MESTRADO\Desenvolvimento da solução\VB - Macro\BD_01.accdb"
    db.Open "Provider=microsoft.ACE.oledb.12.0 ;data Source =" & CaminhoBanco
End Sub

Public Sub FechaDB()
    Set db = Nothing
    Set rs = Nothing
End Sub

```

Ferramenta: Criar envelope

- Formulário

```

Dim swFeat As SldWorks.Feature
Dim swSubFeat As SldWorks.Feature

```

```

Private Sub UserForm_Initialize()

Dim i As Integer
i = 1
Dim parafuso(30) As String

Set swApp = Application.SldWorks
Set swModel = swApp.ActiveDoc
Set swFeat = swModel.FirstFeature

While Not swFeat Is Nothing
    Debug.Print swFeat.Name
    Set swSubFeat = swFeat.GetFirstSubFeature
    While Not swSubFeat Is Nothing
        Debug.Print "    " & swSubFeat.Name
        Set swSubFeat = swSubFeat.GetNextSubFeature
    Wend
    If swFeat.Name Like "*" & "hex bolt" & "*" Then
        parafuso(i) = swFeat.Name
        i = i + 1
    End If
    Set swFeat = swFeat.GetNextFeature
Wend

Me.ComboBox1.Clear
i = 1
Do While i <= 30
    If parafuso(i) = "" Then
        Exit Do
    End If
    Me.ComboBox1.AddItem (parafuso(i))
    i = i + 1
Loop

End Sub

```

```

Private Sub CommandButton1_Click()

Largura = 150 / 1000#
Altura = 75 / 1000#
Comprimento = 150 / 1000#

Call CriaEnvelope

MsgBox "Envelope criado!"

End Sub

```

- Módulo

```
' *****
Dim swApp As Object

Dim Part As Object
Dim boolstatus As Boolean
Dim longstatus As Long, longwarnings As Long
Public Largura As Double, Altura As Double, Comprimento As Double

Sub main()

UserForm1.Show

End Sub

Sub CriaEnvelope()
Set swApp = Application.SldWorks

Set Part = swApp.ActiveDoc
Dim myModelView As Object
Set myModelView = Part.ActiveView
myModelView.FrameState = swWindowState_e.swWindowMaximized

'Insere uma nova peça dentro da montagem
Dim swFaceOrPlane As Object
Dim swComponent As Component2
longstatus = Part.InsertNewVirtualPart(swFaceOrPlane, swComponent)
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Peçal^Montagem-1@Montagem", "COMPONENT", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)

'Abre a nova peça
Part.OpenCompFile
Set Part = swApp.OpenDoc6("C:\Users\Administrator\AppData\Local\Temp\swx14308\VC~~\Montagem\Peçal^Montagem.sldprt", 1, 0, "", longstatus, longwarnings)
Set Part = swApp.ActiveDoc
Set myModelView = Part.ActiveView
myModelView.FrameLeft = 0
myModelView.FrameTop = 22
Set myModelView = Part.ActiveView
myModelView.FrameState = swWindowState_e.swWindowMaximized
swApp.ActivateDoc2 "Peçal^Montagem.sldprt", False, longstatus
Set Part = swApp.ActiveDoc
Part.ClearSelection2 True
Set myModelView = Part.ActiveView
myModelView.FrameState = swWindowState_e.swWindowMaximized
'Cria o esboço
```

```

boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plano frontal", "PLANE", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)
Part.SketchManager.InsertSketch True
Part.ClearSelection2 True
boolstatus = Part.Extension.SetUserPreferenceToggle(swUserPreferenceToggle_e.swSketchAddConstToRectEntity, swUserPreferenceOption_e.swDetailingNoOptionSpecified, False)
boolstatus = Part.Extension.SetUserPreferenceToggle(swUserPreferenceToggle_e.swSketchAddConstLineDiagonalType, swUserPreferenceOption_e.swDetailingNoOptionSpecified, True)
'Cria o retângulo
Dim vSkLines As Variant
vSkLines = Part.SketchManager.CreateCornerRectangle(0, 0, 0, 2.37673227741043E-02, 3.07214285714286E-02, 0)
Part.SetPickMode
Part.ClearSelection2 True

'Insere uma medida
boolstatus = Part.Extension.SketchBoxSelect("-0.166633", "0.023193", "0.000000", "-0.165904", "0.023921", "0.000000")
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Line2", "SKETCHSEGMENT", -1.33898200830386E-02, 6.43571428571429E-03, 0, False, 0, Nothing, 0)
Dim myDisplayDim As Object
Set myDisplayDim = Part.AddDimension2(-2.62612486544672E-02, 9.35000000000001E-03, 0)
Part.ClearSelection2 True
Dim myDimension As Object
Set myDimension = Part.Parameter("D1@Esboço1")
myDimension.SystemValue = Altura
'Insere outra medida
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Line3", "SKETCHSEGMENT", -4.29004794989726E-03, 2.06324110671937E-02, 0, False, 0, Nothing, 0)
Set myDisplayDim = Part.AddDimension2(-4.76435625029251E-03, 2.69565217391304E-02, 0)
Part.ClearSelection2 True
Set myDimension = Part.Parameter("D2@Esboço1")
myDimension.SystemValue = Largura

'Faz a extrusão
Dim myFeature As Object
Set myFeature = Part.FeatureManager.FeatureExtrusion2(True, False, True, 0, 0, Comprimento, Comprimento, False, False, False, False, 1.74532925199433E-02, 1.74532925199433E-02, False, False, False,
Part.SelectionManager.EnableContourSelection = False
Part.ClearSelection2 True
False, True, True, True, 0, 0, False)

Set Part = swApp.ActiveDoc
Set myModelView = Part.ActiveView
myModelView.FrameLeft = 0
myModelView.FrameTop = 0

'Volta para a montagem
Set myModelView = Part.ActiveView
myModelView.FrameState = swWindowState_e.swWindowMaximized
swApp.ActivateDoc2 "Montagem", False, longstatus
Set Part = swApp.ActiveDoc
Set myModelView = Part.ActiveView
myModelView.FrameState = swWindowState_e.swWindowMaximized
'Transforma a peça em Envelope
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Peça1\Montagem-1@Montagem", "COMPONENT", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)
boolstatus = Part.CompConfigProperties5(2, 0, True, True, "Valor predeterminado", False, True)
boolstatus = Part.EditRebuild3()
Part.ShowNamedView2 "*Trimétrica", 8
Part.ViewZoomtofit2

```

```
'Atribui à uma variável o parafuso escolhido para posicionar o envelope
Dim escolha As String
escolha = UserForm1.ComboBox1.Value

'Faz os posicionamentos do envelope na montagem
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plano direito@Peçal^Montagem-1@Montagem", "PLANE", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane1@" & escolha & "@Montagem", "PLANE", 0, 0, 0, True, 0, Nothing, 0)
Dim swMate As Mate2
Set swMate = Part.AddMate5(0, 1, False, 4.26084999994375E-02, 0.001, 0.001, 0.001, 0.001, 0, 0.5235987755983, 0.5235987755983, False, False, 0, longstatus)
Part.ClearSelection2 True
Part.EditRebuild3
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plano frontal@Peçal^Montagem-1@Montagem", "PLANE", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane2@" & escolha & "@Montagem", "PLANE", 0, 0, 0, True, 0, Nothing, 0)
Set swMate = Part.AddMate5(0, 0, False, 0, 0.001, 0.001, 0.001, 0.001, 1.04719755120179, 0.5235987755983, 0.5235987755983, False, False, 0, longstatus)
Part.ClearSelection2 True
Part.EditRebuild3
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plano superior@Peçal^Montagem-1@Montagem", "PLANE", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane3@" & escolha & "@Montagem", "PLANE", 0, 0, 0, True, 0, Nothing, 0)
Set swMate = Part.AddMate5(0, 1, False, 0.468660178779722, 0.001, 0.001, 0.001, 0.001, 0, 0.5235987755983, 0.5235987755983, False, False, 0, longstatus)
Part.ClearSelection2 True
Part.EditRebuild3

End Sub
```

APÊNDICE D – RELATÓRIO DE REQUISITOS

Relatório de requisitos		domingo, 18 de novembro de 2018
		19:05:58
cod_req	desc_req	cod_ori
16	As ferramentas e os materiais devem ser pré-posicionados.	2
17	As cargas de trabalho com os dedos devem ser distribuídas de acordo com as capacidades de cada dedo.	2
18	Os controles, alavancas e volantes devem ser manipulados com alteração mínima da postura do corpo e com a maior vantagem mecânica.	2
19	Deve-se combinar a ação de duas ou mais ferramentas.	2
20	As peças ou conjunto devem possuir pegos que possibilite o agarro (encaixe dos dedos embaixo ou no meio) e não pega tipo pinça com as mãos.	2
21	Deve-se eliminar ou aliviar contrações estáticas da musculatura, como manter uma mão segurando para outra realizar o serviço.	2
22	O componente mais importante deve ter posição de destaque, de modo a ser facilmente manipulado.	2
23	O componente mais utilizado deve ser posicionado para ter fácil alcance e manipulação.	2
24	Os componentes de funções semelhantes entre si devem formar subgrupos, e serem mantidos em blocos.	2
25	Se houver ordenamento operacional, manter as posições na sequência do mesmo, sempre que possível.	2
26	Os componentes mais utilizados podem ser mantidos próximos entre si.	2
27	Quando o local for de pouca visibilidade, pode-se utilizar controles com discriminação pelo tato para ser reconhecidos pelo tato.	2
28	Quando utilizar controles com diferenças de tamanho, essa diferença deve ter um incremento mínimo de 20%.	2
29	A diferenciação de controles por cores é mais indicado para locais com luminosidade e pouca sujeira.	2

cod_req	desc_req	cod_ori
30	Não utilizar diferenciação de controle por texturas quando o operador pode estar utilizando luvas para o serviço.	2
31	A distância entre dois controles deve ser de pelo menos 6,3 cm para aqueles de deslocamentos verticais, e de 10,2 cm para de deslocamentos horizontais.	2
32	Os controles não podem estar posicionados de modo que possam ser movidos por acidente.	2
33	Pode-se colocar um obstáculo de modo que o controle só possa ser acionado após uma operação de desbloqueio.	2
34	Pode-se associar a ativação de um controle a uma indicação, como o acendimento de uma lâmpada.	2
35	Usar bordas (batentes) para ajudar o operador manter determinada posição ao utilizar controles.	2
36	O manejo (manuseio) fino deve ser previsto para ser realizado com as pontas dos dedos (pega com diâmetro menor), já o manejo grosso com a palma da mão (pega com diâmetro maior).	2
37	O desenho antropomorfo (anatômico) de uma pega pode ser usado quando o trabalho for de curta duração, exigir poucos movimentos relativos e haver necessidade de forças.	2
38	O acabamento superficial das pegas são preferíveis lisos para manejo fino (preciso) e áspero ou borrachoso quando necessitar maiores forças por melhorar o atrito.	2
39	Não pode haver presença de contatos "vivos" (salientes) nas pegas para não concentrar pressões nesse ponto.	2
40	Informações devem ser otimizadas para aproveitar a memória de curta duração.	2
41	As informação podem ser agrupadas para facilitar memorização.	2
42	Pode-se usar letras no lugar de números ou usá-los em conjunto para associar as letras a algum significado.	2

cod_req	desc_req	cod_ori
43	Diferenciar formas, cores, sons e códigos semelhantes entre si para facilitar a diferenciação.	2
44	A informação deve ser transmitida de forma afirmativa e ativa para facilitar a memorização, como "O botão verde liga a máquina".	2
45	O desenho de símbolos devem ser com contornos fortes, formas simples e estáveis, figura fechada, e quando possível ser simétrico.	2
46	Alarmes visuais devem possuir um símbolo indicando o perigo destinado a pessoas de qualquer língua.	2
47	Mecanismos de regulação podem ser usados para que atenda melhor características físicas extremas dos usuários.	2
48	Deve-se evitar contrariar os estereótipos já estabelecidos (como os usuários estão acostumados), como o sentido para abrir um registro, uma maçaneta, etc.	2
49	Pontos de testes devem ser acessíveis com equipamentos comuns.	3
50	Pontos de testes devem ser iluminados.	3
51	Pontos de testes devem ser claramente rotulados.	3
52	As aberturas devem possuir tamanho adequado.	3
53	A iluminação em todos pontos de serviço deve ser adequada.	3
54	Deve-se evitar movimentação de equipamentos pesados.	3
55	Deve oferecer capacidade de trabalhar em peças substituíveis sem desmontar outras.	3
56	Áreas de manutenção frequentes devem possuir melhor acesso.	3
57	Minimizar a quantidade de fixadores.	3
58	Minimizar a quantidade de fixadores.	3
59	Os fixadores devem ser fáceis de operar.	3
60	Áreas perigosas devem ser bloqueadas.	3
61	Deve haver o desligamento elétrico próximo da operação.	3

cod_req	desc_req	cod_ori
62	Deve possuir rótulos e avisos de segurança.	3
63	Áreas quentes devem ser protegidas e rotuladas.	3
64	Condutores de calor não devem ser expostos.	3
65	Deve possuir isolamento elétrico ou duplo para realizar o serviço.	3
66	Os cantos e bordas devem ser arredondados.	3
67	Forneça acesso a toda montagem do motor para veículos terrestres, de modo que não seja necessário içar ou rastejar sob o veículo.	1
68	Use parafusos de limitação de torque ou arruelas de torque como suporte de montagem do motor para eliminar a necessidade de chaves dinamométricas.	1
69	Projete pontos rígidos para elevar ou posicionar o motor durante a instalação e remoção, para ser integral ao motor e capaz de içar e suportar um motor totalmente montado.	1
70	Não use conceitos de remoção do motor que exijam o levantamento ou a elevação do veículo.	1
71	Use conceitos para remover os motores do veículo pela frente, por trás ou do lado, em vez de carregá-lo usando içamento.	1
72	A distância entre o motor e o seu entorno deve garantir que os envelopes de acesso a linhas, conexões, fiação e ajustes acomodem a mão masculina de 75 percentil.	1
73	A distância entre o ventilador de refrigeração e o núcleo do radiador deve garantir que os envelopes de acesso não exigem a remoção do núcleo.	1
74	A interface do conjunto do motor com o compartimento e a estrutura do motor deve ser projetada para garantir que todas as velas de ignição, glo-plugs e ignitores possam ser substituídos no prazo de 30 minutos decorridos.	1
75	Projetar as uniões de todas as interfaces mecânicas para serem presas e com total segurança.	1

cod_req	desc_req	cod_ori
76	Use grampos tipo "torq-set" ou equivalente em todas as interfaces da mangueira do sistema de resfriamento para eliminar as chaves dinamométricas e o potencial de erro.	1
77	Fornecer um envelope de acesso claro e visível aos filtros de combustível e óleo.	1
78	Posicione os filtros de combustível para garantir que nenhum risco de segurança exista com o combustível residual durante a mudança do filtro.	1
79	Os envelopes de acesso para filtros de combustível e filtros de óleo não devem estar próximos de tubos de escape ou linhas de retorno do sistema de resfriamento.	1
80	Qualquer faixa de transmissão única (excluindo correias dentadas) deve ser capaz de ser substituída no prazo de 30 minutos.	1
81	Não localize as baterias no compartimento do motor. Nos casos em que isso não é possível: - A estrutura de suporte da bateria deve ser de um material que é impermeável ao vazamento de ácido ou à fervura. - A estrutura de suporte da bateria deve servir como um frasco para coletar e direcionar o ácido fora do compartimento do motor.	1
82	Instale escudos simples e leves sobre as linhas de retorno do sistema de refrigeração para proteger a pessoa da mangueira ou da ruptura da linha durante a manutenção.	1
83	Incorporar sensores adequados para melhorar as capacidades de diagnóstico e prognóstico para o seguinte: - Temperatura do óleo - desvio do filtro de combustível - Pressão do óleo - Pressão do líquido de refrigeração - desvio do filtro de óleo - Nível do líquido refrigerante - Posição da válvula de bypass do resfriador de óleo - Temperatura do refrigerante - Nível de óleo - sensores de vibração - Contagem de partículas de retorno de óleo - Detector de impurezas.	1
84	Pintar compartimentos do motor de cor clara brilhante para melhorar a refletividade da luz e melhorar a detecção de vazamento de fluidos.	1

cod_req	desc_req	cod_ori
85	Projete todos os acessórios, conectores e encaixes das proteções para serem totalmente visíveis e diretamente acessíveis aos mantenedores.	1
86	Janela de acesso para uso das duas mãos para troca da correia ou corrente.	4
87	Fixação das abraçadeiras das mangueiras voltadas ao reparador.	4
88	Possuir marcações ou poka-yoke para troca da correia ou corrente.	4
89	Janela de acesso para operação das chaves.	4
90	Desmontar poucas peças para acessar correia ou corrente (Número máx. de peças a remover).	4
91	Permitir desmontagem em módulo para troca da correia ou corrente.	4
92	Desmontar poucos parafusos para acessar correia ou corrente.	4
93	Janela de acesso para um braço para rosquear o filtro de óleo com uma mão.	4
94	Fácil engate para as mangueiras.	4
95	Geometria externa do filtro de óleo que facilite fixação com as mãos.	4
96	Acesso da mão para encaixar o filtro de combustível.	4
97	Tensionador da correia deve permitir ser travado sem tensão no momento da colocação da correia.	4
98	Respeitar envelope de acesso para fixações e acoplamentos do motor no berço.	4
99	Poucos parafusos para remover o protetor do cárter.	4
100	Remoção de poucos parafusos para retirar filtro de combustível.	4
101	Existência de válvula de engate rápido entre mangueira e filtro de combustível.	4
102	Proteções com material dúctil para não quebrar com facilidade.	4
103	Possuir encaixe poka-yoke para o protetor do cárter.	4

cod_req	desc_req	cod_ori
104	Conexão de mangueiras e chicotes em bloco (manifolds).	4
105	Rigidez da conexão do reservatório do líquido de arrefecimento.	4
106	Resistência química dos materiais.	4
107	Possuir poka-yoke para encaixe inicial dos filtros.	4
108	Alertas com polímero termocrômico em peças quentes (mudar de cor pela temperatura).	4
109	Usar parafusos com dureza suficiente para o torque recomendado.	4
110	As peças não devem possuir cantos vivos.	4
111	Tampa do reservatório de arrefecimento com trava por dilatação térmica.	4
112	Filtro de óleo deve informar número de voltas após encosto.	4
113	Poucos parafusos para remover a tampa do filtro de ar.	4
114	Diferenciação entre o bujão do cárter e da transmissão.	4
115	Retirar poucas peças para substituir retentor do virabrequim.	4
116	Fixação do filtro de ar por encaixe.	4
117	Retirar poucos parafusos para substituir retentor do virabrequim.	4
118	Possuir direcionamento para a drenagem do líquido de arrefecimento.	4
119	Janela de acesso para um braço para rosquear o filtro de óleo com uma mão.	4
120	Possuir direcionamento para a drenagem do líquido de arrefecimento.	4
121	Fixação do filtro de ar por encaixe.	4
122	Deve haver uma diferenciação entre o bujão do cárter e da transmissão.	4

APÊNDICE E– QUESTIONÁRIO APLICADO E RESPOSTAS

Questionário para identificar as principais dificuldades na realização de serviços em motores

Questionário integrante de um trabalho de mestrado em Engenharia Mecânica pela UTFPR, com o objetivo de melhorar a capacidade de realização de serviços em motores.
Aluno responsável: Otávio Gobbo Junior, contato: otaviogobbo@hotmail.com, (41) 99738-9975.

Para responder, considerar motores de uma maneira geral, independente da marca.

Para as questões que solicitam "Responder de 1 a 5", responder de 1 para NENHUM(A) até 5 para MUITO(A).

Serviço	Há dificuldade de acesso para realizar o serviço? (Responder de 1 a 5)	Há dificuldade em visualizar o local do serviço? (Responder de 1 a 5)	Oferece algum risco à segurança do mecânico? Ex. Encostar em peças quentes, bater ou machucar a mão, etc. (Responder de 1 a 5)	Há dificuldade em soltar ou apertar as fixações? (Responder de 1 a 5)	Como é controlado o torque de aperto dos parafusos? Responder: 1 - aperto com chave comum, sem controlar o torque. 2 - controle do aperto pelo número de voltas (Ex.: 1/2 volta após sentir encostar). 3 - uso de torquímetro.	Devem ser observadas muitas informações para realizar o serviço? (Responder de 1 a 5)	Qual o tempo médio de realização?
Troca do líquido de arrefecimento							
Troca de óleo							
Troca do filtro de óleo							
Troca do filtro de combustível							
Troca do filtro de ar							
Troca da correia dentada (quando possuir)							
Troca da corrente (quando possuir)							
Troca do retentor do virabrequim							

Questionário para identificar as principais dificuldades na realização de serviços em motores

Serviço	De maneira geral, qual o nível de dificuldade de realização do serviço? (Responder de 1 a 5)	Quais as principais dificuldades e por quais motivos?
Troca do líquido de arrefecimento		
Troca de óleo		
Troca do filtro de óleo		
Troca do filtro de combustível		
Troca do filtro de ar		
Troca da correia dentada (quando possuir)		
Troca da corrente (quando possuir)		
Troca do retentor do virabrequim		
Retirar ou colocar o motor no veículo		

Serviço	Há dificuldade de acesso para realizar o serviço? (Responder de 1 a 5)	Há dificuldade em visualizar o local do serviço? (Responder de 1 a 5)	Oferece algum risco à segurança do mecânico? Ex. Encostar em peças quentes, bater ou machucar a mão, etc. (Resp. de 1 a 5)	Há dificuldade em soltar ou apertar as fixações? (Responder de 1 a 5)																																																																								
Troca do líquido de arrefecimento	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>8</td><td>7</td><td>3</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>42,1%</td><td>36,8%</td><td>15,8%</td><td>0%</td><td>5,3%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	8	7	3	0	1	Porcentagem	42,1%	36,8%	15,8%	0%	5,3%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>11</td><td>7</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>57,6%</td><td>36,8%</td><td>5,3%</td><td>0%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	11	7	1	0	0	Porcentagem	57,6%	36,8%	5,3%	0%	0%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>2</td><td>4</td><td>6</td><td>5</td><td>2</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>10,5%</td><td>21,1%</td><td>31,6%</td><td>26,3%</td><td>10,5%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	2	4	6	5	2	Porcentagem	10,5%	21,1%	31,6%	26,3%	10,5%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>11</td><td>4</td><td>1</td><td>3</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>57,9%</td><td>21,1%</td><td>5,3%</td><td>15,8%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	11	4	1	3	0	Porcentagem	57,9%	21,1%	5,3%	15,8%	0%
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	8	7	3	0	1																																																																							
Porcentagem	42,1%	36,8%	15,8%	0%	5,3%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	11	7	1	0	0																																																																							
Porcentagem	57,6%	36,8%	5,3%	0%	0%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	2	4	6	5	2																																																																							
Porcentagem	10,5%	21,1%	31,6%	26,3%	10,5%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	11	4	1	3	0																																																																							
Porcentagem	57,9%	21,1%	5,3%	15,8%	0%																																																																							
Troca de óleo	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>11</td><td>6</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>57,9%</td><td>31,6%</td><td>10,5%</td><td>0%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	11	6	2	0	0	Porcentagem	57,9%	31,6%	10,5%	0%	0%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>14</td><td>3</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>73,7%</td><td>15,8%</td><td>10,5%</td><td>0%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	14	3	2	0	0	Porcentagem	73,7%	15,8%	10,5%	0%	0%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>9</td><td>6</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>47,4%</td><td>31,6%</td><td>10,5%</td><td>5,3%</td><td>5,3%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	9	6	2	1	1	Porcentagem	47,4%	31,6%	10,5%	5,3%	5,3%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>8</td><td>7</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>42,1%</td><td>36,8%</td><td>15,8%</td><td>5,3%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	8	7	3	1	0	Porcentagem	42,1%	36,8%	15,8%	5,3%	0%
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	11	6	2	0	0																																																																							
Porcentagem	57,9%	31,6%	10,5%	0%	0%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	14	3	2	0	0																																																																							
Porcentagem	73,7%	15,8%	10,5%	0%	0%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	9	6	2	1	1																																																																							
Porcentagem	47,4%	31,6%	10,5%	5,3%	5,3%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	8	7	3	1	0																																																																							
Porcentagem	42,1%	36,8%	15,8%	5,3%	0%																																																																							
Troca do filtro de óleo	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>8</td><td>5</td><td>5</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>47,4%</td><td>26,3%</td><td>26,3%</td><td>0%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	8	5	5	0	0	Porcentagem	47,4%	26,3%	26,3%	0%	0%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>12</td><td>4</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>63,2%</td><td>21,1%</td><td>15,8%</td><td>0%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	12	4	3	0	0	Porcentagem	63,2%	21,1%	15,8%	0%	0%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>9</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>47,4%</td><td>21,1%</td><td>15,8%</td><td>10,5%</td><td>5,3%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	9	4	3	2	1	Porcentagem	47,4%	21,1%	15,8%	10,5%	5,3%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>11</td><td>5</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>57,9%</td><td>26,3%</td><td>10,5%</td><td>5,3%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	11	5	2	1	0	Porcentagem	57,9%	26,3%	10,5%	5,3%	0%
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	8	5	5	0	0																																																																							
Porcentagem	47,4%	26,3%	26,3%	0%	0%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	12	4	3	0	0																																																																							
Porcentagem	63,2%	21,1%	15,8%	0%	0%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	9	4	3	2	1																																																																							
Porcentagem	47,4%	21,1%	15,8%	10,5%	5,3%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	11	5	2	1	0																																																																							
Porcentagem	57,9%	26,3%	10,5%	5,3%	0%																																																																							
Troca do filtro de combustível	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>6</td><td>7</td><td>5</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>31,6%</td><td>36,8%</td><td>26,3%</td><td>5,3%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	6	7	5	1	0	Porcentagem	31,6%	36,8%	26,3%	5,3%	0%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>8</td><td>6</td><td>4</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>42,1%</td><td>31,6%</td><td>21,1%</td><td>5,3%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	8	6	4	1	0	Porcentagem	42,1%	31,6%	21,1%	5,3%	0%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>2</td><td>8</td><td>6</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>10,5%</td><td>42,1%</td><td>31,6%</td><td>10,5%</td><td>5,3%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	2	8	6	2	1	Porcentagem	10,5%	42,1%	31,6%	10,5%	5,3%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>6</td><td>8</td><td>3</td><td>2</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>31,6%</td><td>42,1%</td><td>15,8%</td><td>10,5%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	6	8	3	2	0	Porcentagem	31,6%	42,1%	15,8%	10,5%	0%
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	6	7	5	1	0																																																																							
Porcentagem	31,6%	36,8%	26,3%	5,3%	0%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	8	6	4	1	0																																																																							
Porcentagem	42,1%	31,6%	21,1%	5,3%	0%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	2	8	6	2	1																																																																							
Porcentagem	10,5%	42,1%	31,6%	10,5%	5,3%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	6	8	3	2	0																																																																							
Porcentagem	31,6%	42,1%	15,8%	10,5%	0%																																																																							
Troca do filtro de ar	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>13</td><td>5</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>68,4%</td><td>26,3%</td><td>5,3%</td><td>0%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	13	5	1	0	0	Porcentagem	68,4%	26,3%	5,3%	0%	0%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>16</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>84,2%</td><td>15,8%</td><td>0%</td><td>0%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	16	3	0	0	0	Porcentagem	84,2%	15,8%	0%	0%	0%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>16</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>84,2%</td><td>5,3%</td><td>10,5%</td><td>0%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	16	1	2	0	0	Porcentagem	84,2%	5,3%	10,5%	0%	0%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>12</td><td>4</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>63,2%</td><td>21,1%</td><td>10,5%</td><td>5,3%</td><td>0%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	12	4	2	1	0	Porcentagem	63,2%	21,1%	10,5%	5,3%	0%
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	13	5	1	0	0																																																																							
Porcentagem	68,4%	26,3%	5,3%	0%	0%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	16	3	0	0	0																																																																							
Porcentagem	84,2%	15,8%	0%	0%	0%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	16	1	2	0	0																																																																							
Porcentagem	84,2%	5,3%	10,5%	0%	0%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	12	4	2	1	0																																																																							
Porcentagem	63,2%	21,1%	10,5%	5,3%	0%																																																																							
Troca da correia dentada (quando possuir)	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>0</td><td>4</td><td>3</td><td>5</td><td>7</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>0%</td><td>21,1%</td><td>15,8%</td><td>26,3%</td><td>36,8%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	0	4	3	5	7	Porcentagem	0%	21,1%	15,8%	26,3%	36,8%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>1</td><td>6</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>5,3%</td><td>31,6%</td><td>15,8%</td><td>21,1%</td><td>26,3%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	1	6	3	4	5	Porcentagem	5,3%	31,6%	15,8%	21,1%	26,3%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>2</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>10,5%</td><td>21,1%</td><td>21,1%</td><td>21,1%</td><td>26,3%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	2	4	4	4	5	Porcentagem	10,5%	21,1%	21,1%	21,1%	26,3%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>0</td><td>4</td><td>7</td><td>5</td><td>3</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>0%</td><td>21,1%</td><td>36,8%</td><td>26,3%</td><td>15,8%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	0	4	7	5	3	Porcentagem	0%	21,1%	36,8%	26,3%	15,8%
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	0	4	3	5	7																																																																							
Porcentagem	0%	21,1%	15,8%	26,3%	36,8%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	1	6	3	4	5																																																																							
Porcentagem	5,3%	31,6%	15,8%	21,1%	26,3%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	2	4	4	4	5																																																																							
Porcentagem	10,5%	21,1%	21,1%	21,1%	26,3%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	0	4	7	5	3																																																																							
Porcentagem	0%	21,1%	36,8%	26,3%	15,8%																																																																							
Troca da corrente (quando possuir)	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>0</td><td>0</td><td>4</td><td>6</td><td>9</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>0%</td><td>0%</td><td>21,1%</td><td>31,6%</td><td>47,4%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	0	0	4	6	9	Porcentagem	0%	0%	21,1%	31,6%	47,4%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>5</td><td>7</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>5,3%</td><td>15,8%</td><td>15,8%</td><td>26,3%</td><td>36,8%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	1	3	3	5	7	Porcentagem	5,3%	15,8%	15,8%	26,3%	36,8%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>6</td><td>5</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>10,5%</td><td>10,5%</td><td>21,1%</td><td>31,6%</td><td>26,3%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	2	2	4	6	5	Porcentagem	10,5%	10,5%	21,1%	31,6%	26,3%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>0</td><td>2</td><td>7</td><td>7</td><td>3</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>0%</td><td>10,5%</td><td>36,8%</td><td>36,8%</td><td>15,8%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	0	2	7	7	3	Porcentagem	0%	10,5%	36,8%	36,8%	15,8%
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	0	0	4	6	9																																																																							
Porcentagem	0%	0%	21,1%	31,6%	47,4%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	1	3	3	5	7																																																																							
Porcentagem	5,3%	15,8%	15,8%	26,3%	36,8%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	2	2	4	6	5																																																																							
Porcentagem	10,5%	10,5%	21,1%	31,6%	26,3%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	0	2	7	7	3																																																																							
Porcentagem	0%	10,5%	36,8%	36,8%	15,8%																																																																							
Troca do retentor do virabrequim	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>6</td><td>9</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>0%</td><td>5,3%</td><td>15,8%</td><td>31,6%</td><td>47,4%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	0	1	3	6	9	Porcentagem	0%	5,3%	15,8%	31,6%	47,4%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>1</td><td>4</td><td>2</td><td>5</td><td>7</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>5,3%</td><td>21,1%</td><td>10,5%</td><td>26,3%</td><td>36,8%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	1	4	2	5	7	Porcentagem	5,3%	21,1%	10,5%	26,3%	36,8%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>4</td><td>2</td><td>5</td><td>3</td><td>5</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>21,1%</td><td>10,5%</td><td>26,3%</td><td>15,8%</td><td>26,3%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	4	2	5	3	5	Porcentagem	21,1%	10,5%	26,3%	15,8%	26,3%	<table border="1"><tr><th>Resposta</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><th>Contagem</th><td>0</td><td>1</td><td>10</td><td>4</td><td>4</td></tr><tr><th>Porcentagem</th><td>0%</td><td>5,3%</td><td>52,6%</td><td>21,1%</td><td>21,1%</td></tr></table>	Resposta	1	2	3	4	5	Contagem	0	1	10	4	4	Porcentagem	0%	5,3%	52,6%	21,1%	21,1%
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	0	1	3	6	9																																																																							
Porcentagem	0%	5,3%	15,8%	31,6%	47,4%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	1	4	2	5	7																																																																							
Porcentagem	5,3%	21,1%	10,5%	26,3%	36,8%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	4	2	5	3	5																																																																							
Porcentagem	21,1%	10,5%	26,3%	15,8%	26,3%																																																																							
Resposta	1	2	3	4	5																																																																							
Contagem	0	1	10	4	4																																																																							
Porcentagem	0%	5,3%	52,6%	21,1%	21,1%																																																																							

Serviço	Como é controlado o torque de aperto dos parafusos? Responder: 1 - chave comum. 2 - controle número de voltas. 3 - uso de torquímetro.	Devem ser observadas muitas informações para realizar o serviço? (Responder de 1 a 5)	Qual o tempo médio de realização?	De maneira geral, qual o nível de dificuldade de realização do serviço? (Responder de 1 a 5)
Troca do líquido de arrefecimento				
Troca de óleo				
Troca do filtro de óleo				
Troca do filtro de combustível				
Troca do filtro de ar				
Troca da correia dentada (quando possuir)				
Troca da corrente (quando possuir)				
Troca do retentor do virabrequim				

Questionário – Respostas espontâneas

Troca líquido de arrefecimento

Cuidado com temperatura do líquido e eliminação de bolhas.

Perigo caso motor esteja quente.

Ponto de acesso para drenagem do líquido.

Localização dos componentes (abraçadeiras etc). Alguns conectores poderiam estar voltado para o reparador e não para o montador.

Remover mangueira sem danificar o reservatório.

Localização para retirar fluido e a sangria.

Temperatura e cuidado para soltar mangueira, presilhas, abraçadeiras para não quebrar.

Motor quente.

Posição das conexões.

Troca de óleo

Atenção para apertar o bujão.

Remover protetor do cárter e alguns modelos de filtro de óleo.

Cuidado com motor quente e localização do bujão.

Levantar o veículo para acessar o bujão.

Tirar o protetor do cárter.

Remover protetor do cárter.

Troca do filtro de óleo

Acesso. (2)

Remoção da chapa de proteção

Difícil acesso para alguns veículos.

Motor quente e localização do filtro.

Posição do filtro de óleo.

Troca do filtro de combustível

Espirrar combustível no olho na hora da desmontagem.

Acesso e sistema de fixação.

Geralmente são de engate rápido, o que facilita.

Combustível nos olhos.

Pressão da linha de combustível e localização do filtro.

Levantar veículo para acessar o filtro.

Ir combustível no olho.

Acesso.

Lugar que fica o filtro.

Troca do filtro de ar

Localização dos filtros.

Vários parafusos para abrir a caixa do filtro. As vezes retirar a caixa para abrir em bancada.

Soltar os parafusos.

Troca da correia dentada (quando possuir)

Espaço para trabalho, colocação e uso de ferramentas especiais

Quantidade de peças a retirar e sincronismo da correia.

Remover muitas peças.

Seguir procedimentos do fabricante.

Aperto correto e tensão na correia.

Questionário – Respostas espontâneas

Acesso difícil, risco se o serviço for **MAU** feito.
 Retirada de muitas peças e colocação da correia nova e tensor.
 Capas plásticas podem quebrar e parafusos **torx** costumam espanar.
 Acesso e conferência do ponto.
 Local apertado.
 Abrir a capa de metal. Acesso e visibilidade.
 Sincronizar correia.

Troca da corrente (quando possuir)

Acesso
 Desmontagem maior do motor.
 Tirar tampo do motor.
 Apertos e tensão da corrente.
 Acesso difícil.
 Difícil realizar a troca com o motor no local para alguns veículos.
 Acesso e conferência do ponto.
 Muitos procedimentos.
 Acesso e visibilidade.

Troca do retentor do virabrequim

Retirar motor e cambio
 Retirada da transmissão.
 Cuidado para não danificar o retentor.
 Remover o câmbio para o traseiro e as polias para o dianteiro.
 Remoção do câmbio e fixação do motor.
 Remover o retentor antigo e fragilidade da peça na montagem.
 Cuidado para remoção do retentor velho para não danificar assento.
 Acesso e colocação do retentor.
 Muitos procedimentos.
 Retirada da capa seca para acesso.
 Tirar motor e câmbio.

Retirada, movimentação e instalação do motor

Retirar com o cambio
 Posicionamento correto das peças, ex. chicotes, mangueiras.
 Ter cuidado com as mangueiras ao soltar e fixar os parafusos.
 Trabalhoso. Cuidado com chicotes e mangueiras.
 Suporte adequado para remoção.
 Necessita de espaço em torno.
 Atenção com chicotes e mangueiras.
 Acesso ao motor e cuidado com chicotes e mangueiras.
 Espaço pequeno em alguns modelos.
 Dificuldade de acesso.
 Pouco espaço.
 Não danificar chicotes ou mangueiras.

