

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

**MODELO ONTOLÓGICO PARA DETERMINAÇÃO DE PLANEJAMENTO DE
TESTES CONSIDERANDO O PERFIL DE USO DE PRODUTOS: UM CASO
APLICADO EM MOTORES DE ARRANQUE DE TRATORES AGRÍCOLAS**

LUCAS BARBOZA ZATTAR PAGANIN

CURITIBA

2017

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

**MODELO ONTOLÓGICO PARA DETERMINAÇÃO DE PLANEJAMENTO DE
TESTES CONSIDERANDO O PERFIL DE USO DE PRODUTOS: UM CASO
APLICADO EM MOTORES DE ARRANQUE DE TRATORES AGRÍCOLAS**

LUCAS BARBOZA ZATTAR PAGANIN

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

Orientador: Prof. Milton Borsato, Dr.

CURITIBA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

P129m Paganin, Lucas Barboza Zattar
2017 Modelo ontológico para determinação de planejamento de testes considerando o perfil de uso de produtos : um caso aplicado em motores de arranque de tratores agrícolas / Lucas Barboza Zattar Paganin.-- 2017.
103 f. : il. ; 30 cm

Texto em português com resumo em inglês
Disponível também via World Wide Web
Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, 2017
Bibliografia: f. 85-90

1. Confiabilidade (Engenharia). 2. Produtos novos. 3. Projeto de produto. 4. Ciclo de vida do produto. 5. Tratores agrícolas – Projeto e construção. 6. Engenharia mecânica – Dissertações. 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 CRB9/1429

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 313

A Dissertação de Mestrado intitulada: **Modelo Ontológico para Determinação de Planejamento de Testes Considerando o Perfil de Uso de Produtos: Um Caso Aplicado em Motores de Arranque de Tratores Agrícolas**, defendida em sessão pública pelo Candidato **Lucas Barboza Zattar Paganin**, no dia 30 de novembro de 2017, 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

Dr. Eng. Pablo Yugo Yoshiura Kubo - Volvo do Brasil

Prof. Dr. José Aguiomar Foggiatto - UTFPR

Prof^a. Dr^a. Carla Cristina Amodio Estorilio - 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

PAGANIN, Lucas Barboza Zattar. **MODELO ONTOLÓGICO PARA DETERMINAÇÃO DE PLANEJAMENTO DE TESTES CONSIDERANDO O PERFIL DE USO DE PRODUTOS: UM CASO APLICADO EM MOTORES DE ARRANQUE DE TRATORES AGRÍCOLAS**, 2017, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Manufatura – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 103 p.

RESUMO

As transformações que as indústrias vêm passando são uma representação de um novo período industrial também conhecido como Indústria 4.0. Neste cenário de inovações, os conceitos relacionados à Manufatura Inteligente fazem com que haja uma busca constante pela captura do conhecimento visando aprimorar a eficiência de produtos e processos. Portanto, alterações no projeto de produtos voltadas para a melhoria da confiabilidade devem ser realizadas nas etapas iniciais do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) para que os impactos técnicos e econômicos sejam reduzidos. É neste contexto que a abordagem *Design for Reliability (DfR)* surge como o conjunto de atividades que tem como intuito garantir a confiabilidade de um produto durante todas as etapas do seu ciclo de vida. Analisando as pesquisas mais recentes acerca do assunto e informações fornecidas por uma empresa de maquinários agrícolas, observou-se que em nenhum caso houve uma implementação do *DfR* nas etapas iniciais do PDP para determinação do plano de testes a partir do perfil de uso de algum produto. Dessa forma, estabeleceu-se o objetivo desta pesquisa de acordo com a elaboração de um método, baseado em um modelo ontológico, que permita a determinação do plano de testes eficaz e adequado às características de uso dos produtos. Para que esse método fosse desenvolvido, a abordagem metodológica *Design Science Research (DSR)* foi adotada. Dessa maneira, seis etapas tiveram de ser percorridas: 1) identificação do problema e motivação; 2) definição dos objetivos e solução; 3) projeto e desenvolvimento; 4) demonstração; 5) avaliação e 6) comunicação dos resultados. A solução reproduzida atende as necessidades dos usuários por ser um método eficiente e de simples execução, bem como aprimora a confiabilidade dos produtos ao longo do ciclo de vida. Este trabalho pode ser aplicado no processo de criação de diversos produtos trazendo vantagens significativas para empresas.

Palavras-chave: *Design for Reliability*, Processo de Desenvolvimento de Produtos, Modelo Ontológico, Ciclo de Vida de Produtos, *Design Science Research*.

PAGANIN, Lucas Barboza Zattar. **ONTOLOGICAL MODEL FOR DETERMINATION OF TEST PLANNING CONSIDERING THE PRODUCT USAGE PROFILE: A CASE APPLIED IN STARTING MOTORS OF AGRICULTURAL TRACTORS**, 2017, Master's Degree Dissertation in Manufacturing Engineering – Post-Graduate Program in Mechanical and Materials Engineering, Federal University of Technology – Paraná, Curitiba, 103 p.

ABSTRACT

The transformations that the industries are currently facing represent a new industrial period also known as Industry 4.0. In this scenario of innovations, concepts related to Smart Manufacturing make a constant search for knowledge capture to improve the efficiency of products and processes. Therefore, changes in product design aiming the improvement of reliability should be undertaken from the early stages of the New Product Development process (NPD) to reduce technical and economical impacts. It is in this context that the Design for Reliability (DfR) approach emerges as the set of activities that aims to ensure the reliability of a product during all stages of its life cycle. Analyzing the most recent research on the subject and some information provided by an agricultural machinery company, it was not observed any case of implementation of DfR in the initial stages of the NPD to determine the test plan taking into consideration the product usage profile. Thence, the main goal of this research was established according to the elaboration of a method, based on an ontological model, which allows the determination of the more appropriate test plan considering the usage characteristics of products. In order to develop this method, the methodological approach Design Science Research (*DSR*) was adopted. In this way, six stages had to be covered: 1) problem identification and motivation; 2) definition of objectives and solution; 3) design and development; 4) demonstration; 5) evaluation and 6) communication of results. The final solution meets users' needs by being an efficient and easy-to-run method, as well as by enhancing products' reliability throughout their lifecycle. This work can be applied in the process of creating several products bringing significant advantages to companies.

Keywords: Design for Reliability, New Product Development, Ontological Model, Product Life Cycle, Design Science Research.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Da primeira Revolução Industrial até a Indústria 4.0	20
Figura 2 - Processo de Desenvolvimento de Produtos	22
Figura 3 - Curva da banheira	27
Figura 4 - Representação das propriedades da linguagem OWL	31
Figura 5 - Critérios para a condução de um método <i>DSR</i>	38
Figura 6 - Método para aplicação do <i>DSR</i>	39
Figura 7 - Etapas do método 101.....	42
Figura 8 - Dimensões para avaliação de ontologias baseado na ISO 9126 (2000)	47
Figura 9 - Potenciais problemas em taxonomias de ontologias	51
Figura 10 - Resumo das atividades realizadas pelo método 101	56
Figura 11 - Mapa mental dos conceitos relacionados ao domínio da ontologia	59
Figura 12 - Taxonomia de classes do modelo de ontologia proposto no editor Protégé 5.2.060	
Figura 13 - Representação gráfica gerada pelo plug-in OWLViz.....	61
Figura 14 - Exemplo de propriedade de objeto – <code>hasTest</code>	62
Figura 15 - Exemplo de propriedade de dados – <code>hasMaximumTemperatureValue</code> ...	63
Figura 16 - Definição da Subclasse <code>ClimateClassification</code> - <code>Subtropical</code> ... 64	
Figura 17 - Descrição da classe <code>Scenarios</code>	64
Figura 18 - Representação de um indivíduo da classe <code>Scenarios</code> - <code>Scenario1_SugarCaneSaoPaulo</code>	65
Figura 19 - Representação de uma interação que o equipamento pode ter com o ambiente – <code>ExposureToDust</code>	66
Figura 20 - Representação do teste de umidade	66
Figura 21 - Representação de um indivíduo da classe <code>StarterMotorTractor</code> - <code>StarterMotorTractor2</code>	67
Figura 22 - Resultado de busca de motor de arranque a partir da interação com o ambiente	70
Figura 23 - Identificação do motor de arranque mais apropriado a partir do seu uso.....	71
Figura 24 - Identificação do motor de arranque indicado para cada cenário	72
Figura 25 - Identificação da interação e testes que um trator recebe a partir do produto final da cultura.....	73
Figura 26 - Identificação do tipo de local para teste de umidade e os procedimentos para o teste	74

Figura 27 - Verificação da taxonomia do modelo ontológico.....	76
Figura 28 - Metodologia para seleção da amostra de artigos	94
Figura 29 - Estratégia para implementação de <i>DfR</i>	99

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Número de publicações por base de pesquisa	93
Gráfico 2 - Número de publicações por ano	95
Gráfico 3 - Análise das palavras chave nos artigos da amostra.....	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ferramentas para o <i>DfR</i>	28
Quadro 2 - Comparação entre as principais ferramentas para desenvolvimento de ontologias	32
Quadro 3 - Critérios para se avaliar uma ontologia	46
Quadro 4 - Critérios para avaliação em cada uma das dimensões	48
Quadro 5 - Cenários hipotéticos para criação da ontologia	57
Quadro 6 - Descrição dos locais para teste de umidade	67
Quadro 7 - Questionário utilizado para avaliação do modelo ontológico.....	80
Quadro 8 - Questionário respondido pelo representante da empresa.....	103

LISTA DE ACRÔNIMOS

CVP	Ciclo De Vida Do Produto
DFMEA	Design para Análise do Modo e Efeito de falha (do inglês <i>Design Failure Mode and Effect Analysis</i>)
DfR	Design para Confiabilidade (do inglês <i>Design for Reliability</i>)
DfX	Design para X (do inglês <i>Design for X</i>)
DL	Lógica Descritiva (do inglês <i>Description Logics</i>)
DSR	Pesquisa em Ciências de Projeto (do inglês <i>Design Science Research</i>)
FMEA	Análise do Modo e Efeito de falha (do inglês <i>Failure Modes and Effects Analysis</i>)
FTA	Análises de Árvore de Falhas (do inglês <i>Fault Tree Analysis</i>)
HALT	Ensaio de Vida Altamente Acelerados (do inglês <i>Highly Accelerated Life Testing</i>)
IA	Inteligência Artificial
IE	Máquina de Inferência (do inglês <i>Inference Engine</i>)
ISO	Organização Internacional de Normalização (do inglês <i>International Organization for Standardization</i>)
MTTF	Tempo Médio até a Falha (do inglês <i>Mean Time to Failure</i>)
NPD	Desenvolvimento de Novos Produtos (do inglês <i>New Product Development</i>)
OWL	Linguagem de Semântica Web (do inglês <i>Web Ontology Language</i>)
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
QFD	Desdobramento da Função Qualidade (do inglês <i>Quality Function Deployment</i>)
RDF	Modelo padrão para Intercâmbio de Dados na Web (do inglês <i>Resource Description Framework</i>)
SSL	Iluminação de Estado Sólido (do inglês <i>Solid State Lighting</i>)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS	16
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 INDÚSTRIA 4.0.....	19
2.2 O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	21
2.3 <i>DESIGN FOR RELIABILITY</i>	26
2.4 ONTOLOGIAS.....	29
2.5 A CAPTURA DE CONHECIMENTO PARA MELHORIA DA CONFIABILIDADE...	34
3 ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	36
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	36
3.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	37
3.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	39
3.3.1 Identificação do Problema e Motivação.....	39
3.3.2 Definição dos Resultados Esperados.....	41
3.3.3 Desenvolvimento da Solução	42
3.3.4 Demonstração da Solução	44
3.3.5 Avaliação da Solução	45
3.3.6 A Ferramenta ODEval.....	50
3.3.7 Comunicação e Divulgação dos Resultados.....	51
3.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E DEFINIÇÃO DOS RESULTADOS ESPERADOS	54
4.2 DESENVOLVIMENTO DO MODELO ONTOLÓGICO.....	54
4.2.1 Ferramentas Computacionais para o Desenvolvimento de Ontologias.....	54
4.2.2 A Construção do Modelo Ontológico pelo Método 101	55
4.2.3 Determinação do Domínio e do Escopo da Ontologia.....	56

4.2.4	Elaboração de Lista de Termos Importantes para a Ontologia	58
4.2.5	Definição de Classes e Hierarquias	59
4.2.6	Definição das Propriedades e Características das Classes e Criação de Instâncias	62
4.2.7	Demonstração da Solução Proposta	68
4.2.8	Buscas Realizadas (<i>Queries</i>)	69
4.3	AVALIAÇÃO DO ARTEFATO DESENVOLVIDO	74
5	CONCLUSÃO.....	82
	REFERÊNCIAS.....	85
	APÊNDICES.....	92
	APÊNDICE A - REVISÃO BIBLIOMÉTRICA	92
	APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO.....	103

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a crescente competitividade, o design e o desenvolvimento de produtos mais complexos, o uso de processos de manufatura mais sofisticados e o aumento no foco dado à satisfação dos consumidores fizeram com que os estudos em confiabilidade dos produtos recebessem mais destaque. De acordo com Yadu e Bhimgonda (2016), confiabilidade pode ser definida como “a probabilidade de que um componente, dispositivo, sistema ou processo irá operar sem falhas para um dado período de tempo, se utilizado corretamente em um ambiente previamente especificado”. A falta de confiabilidade em um produto tem uma série de consequências indesejadas em termos de segurança, competitividade, custo de manutenção e reparo, reputação da marca, entre outras. Sendo assim, a confiabilidade de um produto está intimamente associada à sua qualidade, e esta pode ser dimensional; operacional; temporal (confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade) e comercial.

De acordo com Yang et al. (2011), as atividades voltadas para confiabilidade devem ser considerada nas fases iniciais e durante todo o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). Para isso a abordagem *Design for Reliability (DfR)* surge como alternativa para auxiliar na identificação de problemas associados à prototipagem e testes, e, por conseguinte, reduzindo o custo de ciclo de vida, o índice de falhas em campo e o tempo de comercialização de produtos. Crowe e Freinberg (2001, p.14) definem o *DfR* como o conjunto de práticas que tem como objetivo a melhoria da confiabilidade de um produto e que englobam desde compreensão dos requisitos do produto e as necessidades dos clientes até o monitoramento da confiabilidade do produto já desenvolvido.

Pode-se dizer que estudos relacionados a *Design for Reliability* se tornarão mais presentes nos próximos anos já que melhorias em confiabilidade trazem vantagens competitivas para as empresas (YANG et al., 2011). Levando-se em consideração a importância que tem sido dada à confiabilidade de produtos nas últimas décadas, as vantagens da adoção do *DfR* nos estágios iniciais de desenvolvimento de produtos e a escassez de publicações na área, espera-se que tal assunto receba ainda mais relevância em um futuro próximo.

Notavelmente, o campo de pesquisa voltado para o *DfR* está em desenvolvimento (POPOVIC et al., 2012). No entanto, embora existam diversas pesquisas disponíveis sobre as mais variadas aplicações, ainda há muitas oportunidades de pesquisa neste tema a serem exploradas. Yang et al. (2011) realizam a implementação da abordagem *DfR* juntamente com os fornecedores e agentes envolvidos nas etapas iniciais de desenvolvimento de microeletrônicos para garantia da confiabilidade desses produtos. Embora diversos testes

tenham sido realizados com a finalidade de se reduzir o índice de falhas, não se buscou determinar o plano de testes de acordo com o perfil de uso dos produtos. Outro trabalho similar é o de Popovic et al. (2012), o qual tem o intuito alcançar a melhoria da confiabilidade em um sistema de transmissão de veículos. Nesse trabalho, os conceitos relacionados a *DfR*, FMEA e QfD são implementados nas etapas iniciais do PDP. Apesar da identificação das possíveis falhas a partir dos componentes críticos dos veículos, tais informações foram utilizadas somente na análise matemática das falhas para previsão da confiabilidade.

No estágio inicial de design de um produto, vários fatores que podem estar ligados à confiabilidade devem ser considerados, como por exemplo a escolha dos materiais, peças e componentes do produto como características de uso como condições climáticas e de uso a que o produto será exposto. No entanto, tais fatores possuem uma complexidade significativa, o que torna difícil atribuir seus pesos e importâncias para o cálculo da previsão da confiabilidade. Em outras palavras, diversas incertezas existem nas etapas preliminares do PDP, tornando a tarefa de estimar a confiabilidade mais difícil. Portanto, os modelos tradicionais de previsão de confiabilidade podem não ser adequados para produtos quando ainda houver um grande número de incertezas, particularmente nos estágios iniciais de design (LI et al., 2013).

Raheja e Gullo (2012) afirmam que a procedência da maioria das falhas em um produto é incompleta, ambígua e pouco definida. Além disso, os mesmos autores afirmam que devido a funções e requisitos ausentes nas especificações de determinados itens, certos componentes se tornam críticos para o funcionamento normal de um produto, uma vez que podem ocasionar falhas a qualquer momento. Os componentes críticos estão associados ao perfil de uso e operação do produto. Portanto, a elaboração de um plano de testes adequado às condições de uso garante que as funções e requisitos necessários para que não haja falhas sejam identificados e incluídos no item.

Os componentes críticos que podem estar ligados à confiabilidade de um produto precisam ser estudados, compreendidos e levados em consideração no momento da determinação do design de um produto e da elaboração das atividades voltadas para o *DfR*. Tais elementos podem ser de natureza interna (e.g. peças, dispositivos e até mesmo softwares que influenciem no funcionamento do produto) ou de natureza externa (e.g. condições ambientais nas quais o produto será utilizado, umidade, clima, iluminação e outros). Dessa maneira, uma investigação mais detalhada dos componentes de um produto, bem como das suas interações com o meio ao qual eles serão submetidos e o perfil de uso do produto, pode ocasionar uma melhoria significativa em sua confiabilidade e otimizar seu processo de design, manufatura e planejamento de testes (BRALLA, 1996, p.170).

Com o intuito de se aplicar a abordagem *DfR* ao longo do ciclo de vida de um produto, Geiger e Sarakakis (2016) afirmam que o tipo e o processo de coleta de dados para análise precisam ser esclarecidos nas etapas iniciais do PDP. Tais fontes de dados podem estar associadas à compreensão do perfil de uso do produto em campo ou em testes e ao conhecimento de especificações a respeito do produto. Portanto, o estudo da interação entre os componentes críticos e o perfil de uso relacionados a um produto nas etapas iniciais do PDP garante com que a abordagem *DfR* seja implementada, resultando na melhoria da confiabilidade do produto.

Contudo, a partir da Revisão Bibliométrica (Apêndice A) do tema nos últimos anos, percebeu-se a carência de trabalhos que realizassem uma análise dos componentes críticos de um produto para determinação da sua confiabilidade em sua fase de desenvolvimento. A análise dos componentes individuais que constituem um produto pode ser uma ferramenta útil para encontrar a natureza das falhas. Tal estudo poderia acarretar em um aumento na probabilidade de um item ou sistema de desempenhar o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais pré-determinadas. Porciuncula et al. (2016) realizam um estudo similar, no qual se avalia como cada estado operacional de componentes específicos influencia na estimativa de confiabilidade de equipamentos automáticos. Outro trabalho que realiza uma análise neste sentido é o de Hadi et al. (2012), o qual encontrou seis fatores críticos que afetam a confiabilidade dos subsistemas de uma escavadeira.

Atualmente, as indústrias têm passado por diversas transformações, nas quais o mundo real e virtual tem se combinado seguindo o princípio de Internet das Coisas. Tal fato tem estimulado uma nova era industrial conhecida como Indústria 4.0. Nesse novo contexto industrial, a produção é altamente flexível e customizável e as fábricas estão relacionadas aos conceitos de Manufatura Inteligente (SHROUF; ORDIERES; MIRAGLIOTTA, 2014). Segundo Jazdi (2014), as indústrias automobilísticas aplicam com veemência os conceitos de Manufatura Inteligente e Inteligência Artificial, uma vez que são indústrias altamente automatizadas, modernas e onde eficiência e segurança são fatores importantes no processo produtivo.

Trappey et al. (2017), afirmam que uma das maneiras de se implementar os conceitos de Internet das Coisas e Manufatura Inteligente é por meio de ontologias. Essas ferramentas podem ser utilizadas para o gerenciamento das informações e para transmissão e processamento de protocolos, já que ontologias são utilizadas para representação do conhecimento dentro de um domínio. É devido a este motivo que o presente trabalho está incluído no Programa de Manufatura Inteligente do Grupo de Estudos em Ciclo de Vida do Produto (GECVP) da

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, o qual visa, dentre outros objetivos, direcionar o planejamento e o projeto de produtos a partir da captura de conhecimento.

Após reuniões e entrevistas com representantes de uma empresa de máquinas agrícolas localizada em Curitiba, percebeu-se a ausência de um conhecimento aprofundado acerca da dificuldade em se planejar testes para avaliação da confiabilidade de produtos, a partir do perfil previsto de utilização dos mesmos em campo. Tal fato corrobora com a lacuna descrita na Revisão Bibliométrica. Observou-se que, em nenhum dos trabalhos ocorreu o desenvolvimento de um modelo ontológico para a investigação dos componentes críticos com a finalidade de se determinar o planejamento de testes para um produto.

Observando esse contexto, o presente trabalho de pesquisa objetiva responder a seguinte questão:

Como determinar o planejamento de testes de um produto, a partir das características externas e de uso às quais ele estará submetido, para melhoria de sua confiabilidade?

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver um modelo ontológico, e respectivo método de aplicação, que permita capturar o conhecimento existente e, a partir deste, inferir a respeito dos testes necessários para contribuir para a melhoria da confiabilidade de componentes críticos em produtos, levando em consideração o perfil de utilização dos mesmos e outras informações relevantes.

A proposta deste trabalho tem como intuito desenvolver um modelo ontológico que possa auxiliar as equipes voltadas para o PDP na definição do planejamento de testes e implementação dos princípios do *DfR* logo nas etapas iniciais do processo de criação. Para isso, informações relacionadas aos fatores externos e de uso dos produtos são investigadas e modeladas em um editor de ontologias.

O método proposto é aplicável e passível de avaliação em um ambiente real de manufatura, principalmente em uma empresa multinacional de maquinários agrícolas localizada em Curitiba. Por meio de informações fornecidas pela empresa, estabeleceu-se que um componente específico (i.e., motores de arranque) seria o foco de estudos desta pesquisa.

Os objetivos específicos desta pesquisa estão relacionados ao cumprimento e resultados obtidos em cada uma das etapas da abordagem *Design Science Research (DSR)*. Um maior detalhamento dessa abordagem é apresentado no Capítulo 3.

1.2 JUSTIFICATIVA

Determinar a confiabilidade de um produto com precisão é uma tarefa que exige um estudo aprofundado de todas as suas características e do meio ao qual ele estará submetido. Tudo isso deve-se ao fato de que, na maioria dos casos, a falha de um componente pode implicar no desempenho de outros – como uma reação em cadeia – fazendo com que o sistema deixe de funcionar. Além disso, as características e condições de uso variam de local para local e, assim, as intempéries que podem desgastar os componentes em um ambiente não necessariamente irão o realizar em outro. Assim, a compreensão dos principais fatores externos e de uso que podem comprometer o funcionamento de um produto é fundamental para o desenvolvimento de itens mais confiáveis.

O modelo proposto por esse trabalho pretende auxiliar as equipes de PDP em suas etapas preliminares. Sabe-se que os atributos relacionados à confiabilidade de produtos não são ou são pouco estudados e compreendidos pelas equipes que atuam em sua criação. Isso faz com que o plano de testes e a escolha de materiais, componentes e design do novo produto seja, em muitas situações, baseada em dados empíricos ou pouco fundamentados. Dessa maneira, propõe-se um método ontológico que possa indicar com mais precisão quais os testes e procedimentos devem ser implementados em um determinado produto para garantia de sua confiabilidade levando-se em consideração informações externas e de uso do item.

Para que o método proposto seja efetivamente implementado, é necessária a análise das características climáticas do ambiente para o qual o produto é projetado e informações técnicas e de uso relacionadas ao item. Além disso, deve-se haver uma compreensão do perfil e das características dos testes que podem estar ligados ao produto. Isso faz com que as empresas estejam mais bem preparadas para atender consumidores localizados em diferentes ambientes, sem comprometer a confiabilidade da manufatura e a imagem da instituição.

Com base em uma análise das publicações relacionadas ao assunto nos últimos anos, percebe-se que em nenhum caso houve a proposição de um modelo de ontologia para implementação dos princípios do *DfR* nas etapas iniciais do PDP. Isso torna este trabalho relevante e inédito no meio industrial e acadêmico, visto que, após a sua conclusão, poderá ser adaptado e implementado por diversas empresas. Além disso, a pesquisa torna-se uma referência para outras iniciativas relacionadas ao desenvolvimento e à aplicação de ontologias relacionadas a *DfR* ao longo do PDP.

1.3 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho tem o objetivo de desenvolver um método voltado para a elaboração de um plano de testes eficaz a partir do perfil de uso de um produto. No entanto, as delimitações dessa pesquisa devem ser destacadas. Primeiramente, a implementação desse teste em um cenário real de desenvolvimento de um produto (dentro de uma organização), juntamente com equipes relacionadas ao PDP e à Manufatura não é objetivo dessa pesquisa. Além disso, é importante ressaltar que a validação do método a partir de análises estatísticas e matemáticas não foram realizadas. Cabe destacar também que este trabalho não tem o intuito de instruir os possíveis usuários do método nos procedimentos para criação de uma ontologia nem na realização de buscas no modelo (o uso da linguagem SPARQL). Finalmente, salienta-se que o artefato desenvolvido é passível de adequações e melhorias de acordo com o contexto do produto e da organização em que ele pode vir a ser executado.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. No primeiro capítulo encontra-se uma contextualização do problema que será investigado, os objetivos a serem alcançados na realização da pesquisa, bem como a justificativa do tema em questão. O capítulo seguinte reúne os fundamentos teóricos imprescindíveis ao entendimento do trabalho proposto. O Capítulo 3 contém uma descrição dos aspectos metodológicos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, com um detalhamento de todas as etapas. No capítulo 4 ocorre a apresentação dos resultados obtidos. Nesse capítulo é possível se perceber de que maneira este trabalho pode contribuir para a determinação do planejamento de testes e melhoria da confiabilidade de motores de arranque. Tal contribuição é realizada por meio do desenvolvimento do método proposto, bem como sua demonstração e avaliação. O último capítulo apresenta as considerações finais e conclusões a respeito deste projeto de pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para garantir a confiabilidade de um produto, é necessário que atividades voltadas a *Design for Reliability* sejam implementadas desde as primeiras etapas do Processo de Desenvolvimento de Produtos. Tais atividades, aliadas a um planejamento de testes eficiente, garantem com que o produto desenvolvido seja confiável ao longo de todo seu ciclo de vida. Para que um planejamento de testes eficiente seja elaborado, é necessário que todo conhecimento acerca das especificações e do uso de um produto seja considerado. Portanto, Ontologias são consideradas ferramentas úteis para determinação dos testes mais adequados visando à melhoria na confiabilidade. Observando esse contexto, pode-se afirmar que o uso de modelos ontológicos auxiliando a implementação de atividades relacionadas a *DfR* nas primeiras etapas de desenvolvimento de um produto faz com que as empresas estejam inseridas nos conceitos de Manufatura Inteligente, a qual é uma das características da nova era industrial denominada Indústria 4.0.

2.1 INDÚSTRIA 4.0

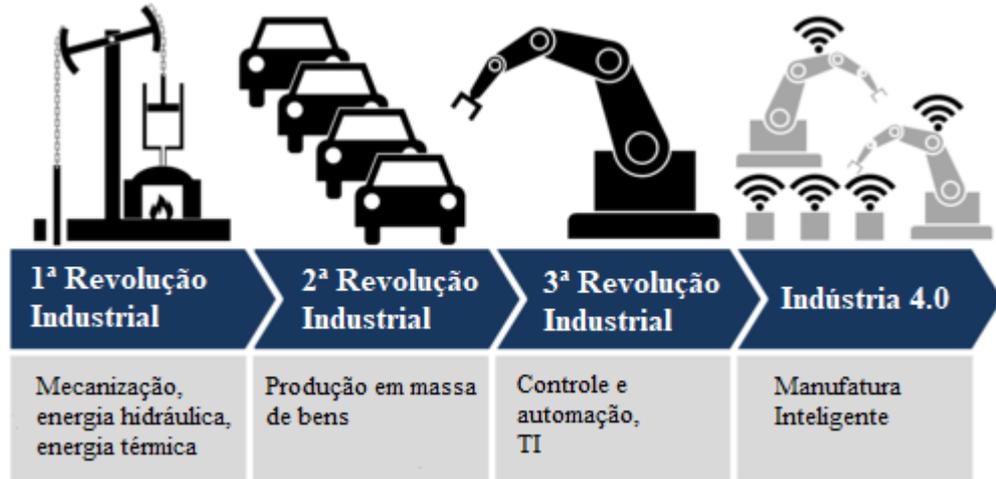
A primeira Revolução Industrial teve seu início marcado pela introdução de equipamentos de manufatura mecânica e pelo uso de energia hidráulica e térmica. A produção em massa de bens, no entanto, foi a principal característica da segunda Revolução Industrial.

Desde 1970, têm ocorrido a terceira Revolução Industrial, marcada pelo crescente uso de sistemas de controle e automação dos processos de manufatura e pela implementação dos conceitos de tecnologia da informação. A quarta Revolução Industrial, ou a Indústria 4.0, por sua vez, é a tendência atual para automação e tecnologias de manufatura. Abrange ferramentas denominadas de sistemas cyber-físicos, internet das coisas, computação em nuvens e computação cognitiva, que compõem um ambiente de manufatura inteligente (KAGERMANN et al., 2013). A Figura 1 sumariza as principais características de cada uma das revoluções industriais.

Segundo Jazdi (2014), o uso de sistemas cyber-físicos juntamente com a internet das coisas é a característica central da Indústria 4.0. A integração de cyber tecnologias – que faz com que os produtos estejam habilitados à internet – permite que serviços inovadores em diagnósticos, manutenção e operações sejam realizados a um custo viável e de maneira eficiente. Assim, o principal intuito das Indústrias 4.0 é a emergência de fábricas digitais

caracterizadas por redes inteligentes, mobilidade, flexibilidade, integração dos consumidores e novos modelos inovadores de negócio (WAHLSTER, 2012).

Figura 1 - Da primeira Revolução Industrial até a Indústria 4.0



Fonte: O próprio autor

A manufatura inteligente é uma característica importante da Indústria 4.0, uma vez que indústrias inteligentes devem ser capazes de produzir itens customizados e em pequenos lotes de maneira eficiente e satisfatória. Para que isso ocorra, deve-se haver uma alta interconexão e integração da empresa com *Big Data* (WANG et al., 2016). Conforme uma pesquisa realizada pela Sociedade Americana para Qualidade (do inglês *American Society for Quality*) em 2014, 82% das organizações que afirmam ter implementado os conceitos de manufatura inteligente registraram ganho de eficiência na produção; 49% apresentaram uma redução no número de produtos defeituosos; além disso, 45% alcançaram aumento na satisfação dos consumidores (AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY, 2014).

As indústrias inteligentes fornecem aos usuários produtos e serviços conectados à internet. Assim, dados oriundos de produtos inteligentes são coletados e analisados, com o objetivo de se desenvolver produtos que atendam mais as necessidades e os comportamentos dos usuários. Informações úteis e importantes podem ser inferidas a partir desse banco de dados para auxiliar na melhoria e no desenvolvimento de produtos. Além disso, por meio de processos de manufatura e engenharia inteligentes, é possível desenvolver novos produtos com mais qualidade e confiabilidade (SHROUF, 2014; LEE; BAGHERI; KAO, 2015).

Observando o contexto da Manufatura Inteligente e da Indústria 4.0, observa-se que aperfeiçoamentos no Processo de Desenvolvimento de Produtos devem ocorrer nos próximos anos, com o intuito de se criar produtos mais eficientes e modernos. Dessa maneira, faz-se necessário que práticas e ferramentas eficientes para a melhoria de produtos sejam

implementadas nos estágios adequados do seu ciclo de vida. É neste contexto que ontologias, como a produzida neste trabalho, podem ser utilizadas no PDP para orientar na escolha das melhores atividades voltadas para *Design for Reliability*, com a finalidade de se criar produtos mais confiáveis e eficientes.

2.2 O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

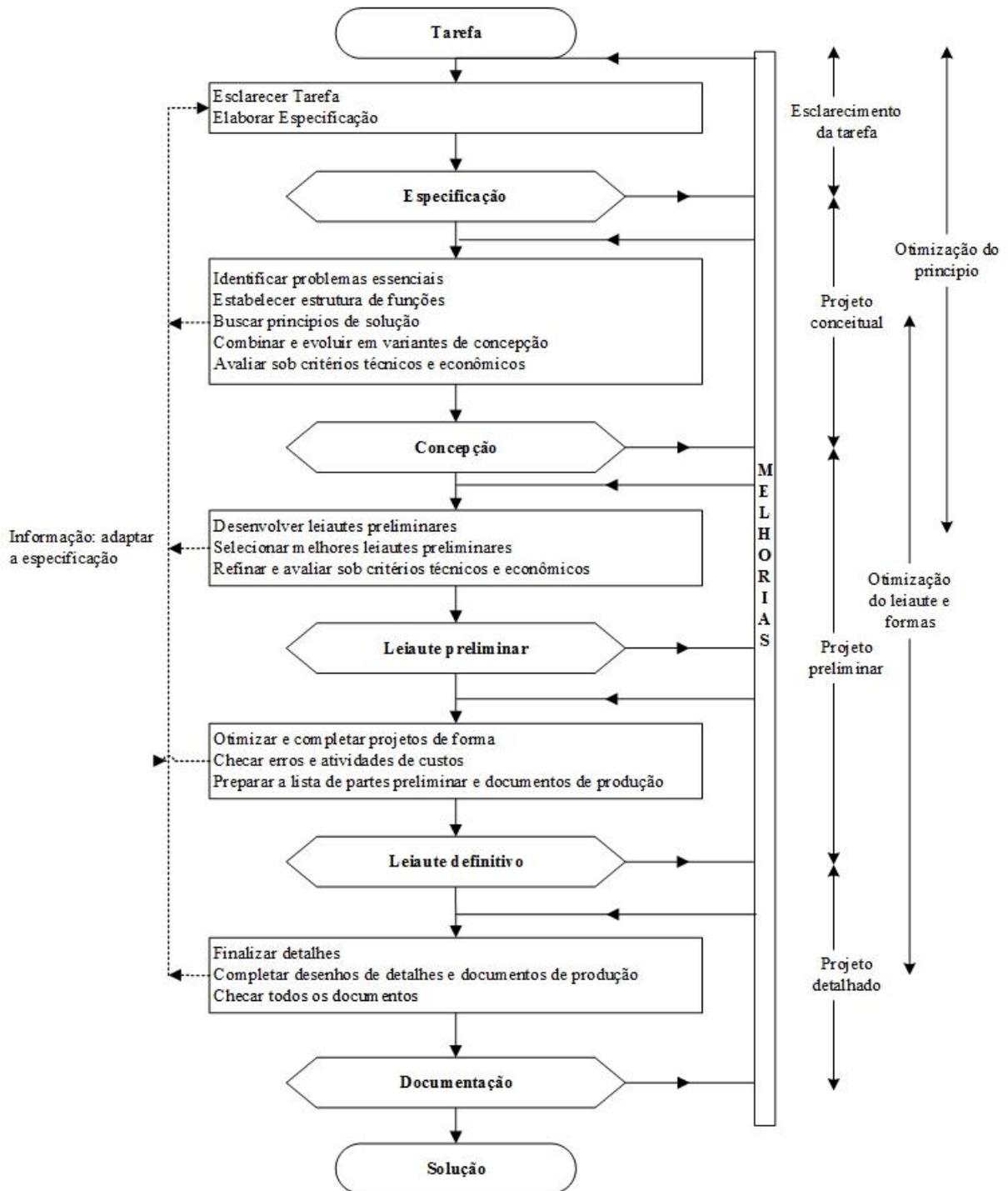
O Processo de Desenvolvimento de Produtos pode ser definido como o conjunto de atividades que busca obter um projeto de produto que atenda os anseios dos usuários e de processo de produção plausível para o departamento de manufatura. É concebido a partir das necessidades do mercado e das tecnologias disponíveis, levando em consideração as estratégias competitivas e de produto da empresa (ROZENFELD et al., 2006, p.3).

O PDP deve abranger todo o planejamento e gerenciamento do portfólio de produtos (i.e., produtos já existentes, que estão sendo lançados e em fase de descontinuidade) e do portfólio de projetos (i.e., projetos em fase de planejamento, em andamento e já concluídos), em compatibilidade com as estratégias da empresa. Também compreende a especificação de todos os recursos e procedimentos ligados à manufatura, o que abrange a compra de máquinas, equipamentos, ferramentas e, quando necessário, a construção de novas unidades de produção. Além disso, o produto desenvolvido envolve não somente o bem físico, como também todo tipo de informação associada a seu uso e manutenção. Assim sendo, o PDP interfere também na garantia dessas informações e, conseqüentemente, da qualidade do produto (ROZENFELD et al., 2006, p.11).

Pahl e Beitz (2013, p.15) definem o fluxo de trabalho adotado durante o processo de design de produto dividido em fases, conforme pode ser observado na Figura 2. Para esta pesquisa, escolheu-se essa visão de PDP para a realização de análises. A primeira fase do fluxo de trabalho proposto pelos mesmos autores refere-se à coleta de informações sobre os requisitos a serem considerados e sobre o levantamento das limitações e requisitos.

A fase seguinte, de especificações, configura-se quando ocorre a elaboração do design conceitual do produto. Essa fase do PDP é subdividida em diversas etapas que precisam ser seguidas para a obtenção de um design conceitual de sucesso. Essas etapas, por sua vez, incluem a identificação de problemas essenciais, por meio de abstração; o estabelecimento das estruturas de função, pela busca de princípios de solução e suas combinações; além da elaboração de um conceito de solução.

Figura 2 - Processo de Desenvolvimento de Produtos



Fonte: Pahl e Beitz (2013, p.16)

O método desenvolvido no presente trabalho é aplicado nas duas primeiras etapas, a de Esclarecimento da tarefa e Projeto conceitual, uma vez que nessas etapas há maior facilidade e menor custo para implementação de atividades voltadas para a melhoria da qualidade e confiabilidade de um produto. Como pode-se perceber na Figura 2, as duas primeiras etapas

estão voltadas para a otimização do princípio proposto a partir das especificações. Nessas etapas o produto é ainda uma abstração e, portanto, quaisquer alterações no seu projeto acarretam em menores consequências técnicas e econômicas quando comparadas a alterações realizadas nas fases posteriores.

As fases subsequentes, de concepção e de leiaute preliminar, integram o detalhamento de design (ou *embodiment*). Partindo-se do conceito de um produto técnico, o design é desenvolvido de acordo com critérios específicos, incluindo aspectos econômicos. O detalhamento delimita o leiaute definitivo, que, por sua vez, precede a produção.

Conforme Rozenfeld et al. (2006, p.11), há inúmeros obstáculos para a previsão de aspectos do ciclo de vida do produto nas primeiras fases do processo que define do projeto do mesmo. Dessa maneira, Bralla (1996, p.24-26) afirma que, com o objetivo de auxiliar os projetistas a avaliar com mais eficácia os impactos do ciclo de vida relacionados às suas decisões acerca do projeto, empresas (e.g. AT&T e os laboratórios da Bell) e pesquisadores (e.g. Meerkamm (1994) e Huang (1996, p.1)), desenvolveram a abordagem *Design for X (DfX)*, em que o X pode receber diversos significados. Meerkamm (1994) define que a escolha do X deve levar em consideração algumas condições e aspectos associados à estratégia e às condições da empresa, aos avanços tecnológicos no mercado e à natureza de uso da ferramenta no PDP.

A abordagem *DfX* pode ser apresentada de diferentes maneiras e compreende diversas áreas de conhecimento – que devem ser levadas em conta ao longo do ciclo de vida do produto. Essa abordagem tem como intuito atender a finalidades das áreas de qualidade, manufatura, produção, meio ambiente e, no caso deste projeto, de confiabilidade. Para a implementação do *DfX*, podem ser utilizados procedimentos, regras, diretrizes ou até mesmo softwares que realizem tipos específicos de análises – e que possibilitem estimar custos, manufaturabilidade, desempenho e confiabilidade, o que é utilizado pelos projetistas na tomada de decisões.

Dessa maneira, Bralla (1996, p.24) define o *DfX* como a abordagem baseada em conhecimento voltada para o PDP que maximiza todas as características desejáveis dos produtos e que minimiza os custos associados à produção e ao ciclo de vida.

A aplicação da abordagem *DfX*, principalmente nas etapas iniciais do PDP, permite a tomada fundamentada de decisões que têm significativo efeito sobre os custos de um produto. Isso porque é aplicada num momento em que a utilização dos recursos para o desenvolvimento de produto ainda se encontra em etapa inicial. Além da influência orçamentária, tais decisões irão determinar aspectos ligados à funcionalidade, geometria e propriedades, definindo-se o desempenho e competitividade ao longo do Ciclo de Vida do Produto (ROZENFELD et al., 2006, p.269).

O Ciclo de Vida do Produto (CVP) é um conceito sistemático de gerenciamento e desenvolvimento de produtos e de suas informações relacionadas. Dessa maneira, o CVP está ligado ao controle do processo produtivo (PDP, produção e marketing) e ao controle das informações ao longo do ciclo de vida do produto (desde sua ideia inicial até o descarte) (SAAKSVUORI; IMMONEM, 2001, p.44).

Saaksvuori e Immonem (2001, p.2) definem ainda o CVP como um conceito de negócio holístico que inclui – além de itens e documentos – análise de resultados, especificações de testes, informações referentes a meio ambiente, padrões de qualidade, requisitos de engenharia e procedimentos de manufatura, dados voltados para a performance dos produtos, fornecedores dos componentes, etc.

Karniel e Reich (2011, p.3) afirmam que a principal contribuição do CVP é permitir a transmissão de informações de maneira rápida e precisa aos seus usuários, possibilitando o compartilhamento e o reuso de dados entre organizações participantes dos projetos de desenvolvimento. Com este acesso às informações, os usuários têm a possibilidade de responder rapidamente aos problemas que venham a surgir durante o ciclo de vida de um produto. O CVP torna-se, assim, um estimulador de inovações.

O CVP pode proporcionar soluções para diferentes tipos de problemas. O principal ponto de atenção em um sistema de CVP está na área de planejamento, design e funções de engenharia de uma indústria de manufatura. No entanto, o desenvolvimento e a evolução da aplicação de um sistema de CVP – por meio das necessidades das redes de indústrias nesta era da informação – têm aumentado sua aplicação em vendas, marketing e especialmente, no pós-venda. Dessa maneira, o CVP estabelece conexões entre os parceiros de uma indústria principal em todo o processo e em toda a cadeia de suprimentos (SAAKSVUORI; IMMONEM, 2001, p.40).

De acordo com Stark (2005, p.17), um usuário de um determinado produto acredita que aquele item possui uma “vida”, do momento em que ele é adquirido e começa a ser utilizado até o momento em que tem seu uso encerrado e passa para o descarte. Sob o ponto de vista do usuário:

- Primeiramente, há uma ideia da concepção do produto;
- Em seguida, seus detalhes são definidos;
- O produto, então, é manufaturado e destinado ao uso;
- Em seguida, passa a ser utilizado por alguém que o adquiere;

- Finalmente, tem sua vida útil encerrada e pode ser reciclado, reutilizado ou somente descartado.

No entanto, para as empresas de manufatura, as duas últimas fases são diferentes. Enquanto o usuário desfruta de um bem adquirido, as empresas devem providenciar suporte e assistência para a manutenção do mesmo. Por último, o produto deixa de ser utilizado e as companhias voltam-se às atividades de pós-uso – até deixarem de manufaturar determinado item.

De acordo com Saaksvuori e Immonem (2001, p.7), a palavra **produto** tem diversos significados e implicações durante o CVP. Há o produto físico individual, que chega às mãos do consumidor, como também a descrição e o projeto daquele bem de consumo, desenvolvido por uma empresa. Dessa maneira, o CVP gerencia, de forma integrada, as partes, os produtos e o portfólio desses bens.

Portanto, quando uma empresa tem uma ideia para um novo artigo, o CVP busca guiar a ocorrência das atividades conceituais do bem específico. Incumbe-se de desenvolver suas partes (modificando partes já existentes ou criando novas), testar protótipos, introduzir o novo produto no mercado e aposentar os já existentes.

Ao longo do CVP, há diversas atividades relacionadas a especificações, design, custo, desenvolvimento, testes, manufatura, lançamento, operações, manutenção, reciclagem e eliminação. Essas atividades que constituem o ciclo de vida variam de uma empresa para outra, bem como em sua importância umas diante das outras (STARK, 2005, p.19).

Atualmente, os consumidores esperam cada vez mais artigos melhores e que apresentem propriedades mais avançadas. Por esse motivo, os bens e seus respectivos processos produtivos têm se tornado mais complexos. Assim, é necessário aumentar a qualidade e a confiabilidade dos produtos para a sobrevivência das empresas em meio à competição mercadológica, a qual se encontra elevada a âmbito internacional. Essa melhoria na qualidade requer um planejamento detalhado e um PDP em que as informações sejam efetiva e confiavelmente utilizadas (SAAKSVUORI; IMMONEM, 2001, p.3).

Confiabilidade é a habilidade de o produto ou o processo realizarem a suas funções em um ambiente definido, em um dado período de tempo. Para se melhorar a capacidade e economizar recursos, a confiabilidade e a manutenção devem ser formalizadas concomitantemente durante o processo de design de produtos e devem ser avaliadas e medidas tanto como a performance (STARK, 2005, p.21). De acordo com Bralla (1996, p.119), capacidade de um processo estável é a sua capacidade de alcançar as especificações, relacionando a sua variabilidade com a tolerância proposta.

Stark (2005, p.22) afirma que diversos métodos, técnicas, práticas ou metodologias vêm sendo implementados com o objetivo de se realizar um desenvolvimento de produtos mais eficiente. Assim, um dos maiores desafios de cada empresa é identificar a prática mais relevante para a atividade na qual deseja manter seu foco.

Dentre as práticas destacadas, encontra-se a abordagem *DfR*, apresentada a seguir. Em relação ao CVP, *DfR* pode ser definido como uma forma de melhorar a confiabilidade de um produto ou processo. Essa técnica inclui atividades de planejamento, medições, análises e, assim, realiza recomendações para mudanças, buscando-se melhorar a confiabilidade do objeto em questão.

2.3 DESIGN FOR RELIABILITY

O mercado atual demanda confiabilidade para a aceitação de novos produtos, e alcançar esse desafio requer a atuação de um time de engenharia que dê suporte ao PDP em todas as suas etapas. Assim, a equipe voltada para confiabilidade deve executar três atividades fundamentais, que estão ligadas entre si: atividades ligadas a *Design for Reliability*, verificação da confiabilidade e análise física dos produtos (CROWE; FREINBERG, 2001, p.14).

Bralla (1996, p.138) define confiabilidade como sendo “a probabilidade de que um produto irá operar satisfatoriamente durante um período de tempo e em condições pré-definidas”. A definição de confiabilidade é mais complexa que a definição de qualidade, uma vez que há uma dimensão temporal e uma previsão das condições de operação esperadas.

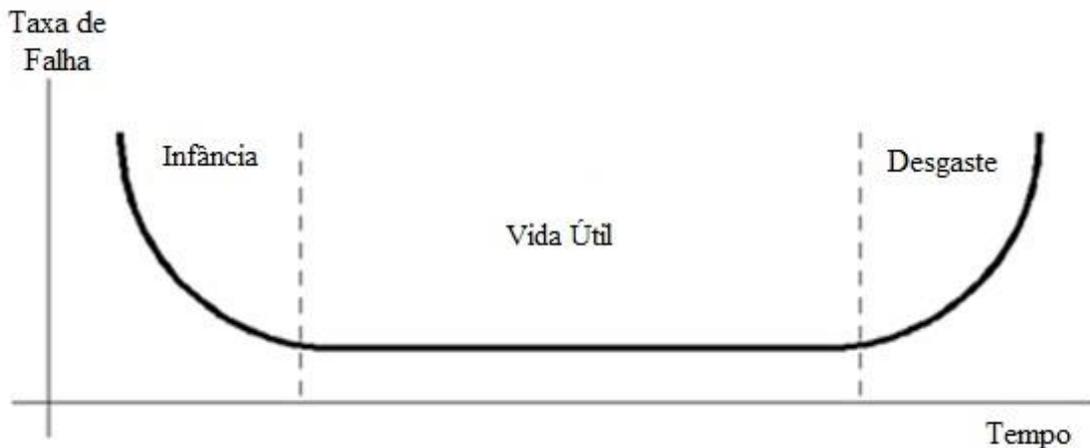
Assim, produtos podem ter qualidade sem confiabilidade se eles operam bem e possuem os atributos desejáveis quando novos. Entretanto, produtos não podem possuir confiabilidade sem qualidade, já que eles devem operar bem inicialmente (isto é, terem alta qualidade) e também manter a operação completa em um longo período de tempo para serem considerados confiáveis.

O tempo médio para falhas (ou *Mean Time to Failure – MTTF*) é uma outra medida para confiabilidade. Esse parâmetro é a média de tempo de vida para uma população de produtos. É também o tempo médio durante o qual se pode esperar que um determinado produto funcione, até que alguns componentes falhem, tornando-o inoperante (BRALLA, 1996, p.168).

Um outro conceito importante que deve ser considerado é a chamada **curva de banheira** (ou *bathtub curve*), a qual ilustra as diferentes taxas de falha durante a vida de um produto. Em um produto típico, o índice de falhas é alto no início da vida útil devido a problemas de manufatura e defeitos em componentes. Na sequência, há tipicamente um período no qual o

índice de falhas é baixo, quando falhas aleatórias podem ocorrer. Mais tarde, há o período em que o índice de falhas volta a subir, e isso não ocorre aleatoriamente (BRALLA, 1996, p.168). A curva da banheira pode ser verificada na Figura 3.

Figura 3 - Curva da banheira



Fonte: Bralla (1996, p.168)

Dessa maneira, o principal objetivo do *DfR* é identificar e propor melhorias para funções críticas em um sistema. O produto deve ser projetado de tal forma que o número de falhas deve ser nulo para todo o tempo de vida esperado. Em casos específicos, como no de sistemas redundantes, falhas são aceitáveis. Algumas falhas são toleradas, por exemplo, em sistemas aeroespaciais, desde que o sistema funcione pelo menos pelo tempo estimado da missão e que os componentes com falhas sejam substituídos antes da missão seguinte (RAHEJA; GULLO, 2012, p.2).

A primeira intervenção no CVP quanto à confiabilidade é a abordagem *DfR*, a qual é um conjunto de atividades utilizado em determinadas etapas do PDP. Sua aplicação se inicia na fase de idealização do CVP e continua até a sua obsolescência. A abordagem *DfR* é adotada para promover uma melhoria na confiabilidade por utilizar o conhecimento da natureza das falhas para solucionar potenciais problemas (CROWE; FREINBERG, 2001, p.14). Portanto, um ambiente ideal para o PDP está ligado à Engenharia Simultânea, a qual possui como principais objetivos a melhoria da qualidade, redução de custos, aumento da flexibilidade, produtividade e eficiência e, conseqüentemente, melhoria da confiabilidade. Tais objetivos são alcançados por meio do trabalho cooperativo entre equipes de funções diversificadas para se considerar todos os fatores que podem interferir no funcionamento de um produto, processo ou sistema, desde a sua concepção até o descarte (HUANG, 1996, p.130).

Desenvolver um produto confiável é verdadeiramente um processo de Engenharia Simultânea. Todas as disciplinas de design devem fazer parte do desenvolvimento para garantir um produto robusto que atenda às necessidades dos consumidores. Uma visão de Engenharia de Confiabilidade associada a diferentes ferramentas pode auxiliar na melhoria do PDP (CROWE; FREINBERG, 2001, p.17). Um resumo das ferramentas que podem ser utilizadas é descrito no Quadro 1.

Quadro 1 - Ferramentas para o *DfR*

Ferramenta	Importância	Funções	Vantagens
Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)/ Benchmarking	Garantir que a confiabilidade seja integrada com o design de produto.	<ul style="list-style-type: none"> Identificar especificações dos consumidores para design Identificar como, a gravidade e a probabilidade de falhas ocorrerem 	Maior retorno por esforço gasto quando a engenharia concorrente é corretamente aplicada.
Benchmarking competitivo	Auxiliar a abordagem de <i>DfR</i> garantindo que todos os aspectos importantes de design sejam incorporados.	<ul style="list-style-type: none"> Avaliação dos competidores 	Garantir que o estado-da-arte dos itens do produto sejam adotados.
Modelagem de previsão da confiabilidade	Estimar o MTTF dos produtos.	<ul style="list-style-type: none"> Compreender a viabilidade do projeto, analisando se objetivos voltados para confiabilidade suprem as necessidades dos consumidores Direcionam e auxiliam na determinação de adaptações para garantir que o melhor design seja adotado 	Resulta em excelentes estudos comparativos.
Física de falhas	É crítico para a habilidade dos engenheiros de confiabilidade no processo de design.	<ul style="list-style-type: none"> Compreender as propriedades dos materiais, processos e tecnologias usadas no design e como essas propriedades podem interagir e ocasionar falhas durante o ciclo de vida do produto Compreender as condições de uso e mau uso e as condições de interação dos componentes com o ambiente 	Auxilia a equipe de design a trabalhar com as limitações inerentes na abordagem de design selecionada.
Estudos de Design	São frequentemente associadas com o PDP por ser um processo de desenvolvimento por etapas completo.	<ul style="list-style-type: none"> Identificam as capacidades Definem as habilidades de o design alcançar os requisitos para o fim de vida dos produtos Providenciam os dados necessários para o cálculo acurado do MTTF 	Oferece as informações necessárias para desenvolver uma plataforma de testes com zero defeitos, demonstrando a habilidade de se alcançar as necessidades dos consumidores.

Fonte: Crowe e Freinberg (2001, p.17)

Uma outra ferramenta que pode auxiliar na implementação de atividades voltadas para *DfR* é o uso de ontologias. Tal ferramenta pode auxiliar na captura de conhecimento e, por meio de um editor de ontologias e máquinas de inferência, informações úteis e válidas sobre o assunto podem ser obtidas a fim de se identificar as melhores práticas que devem ser adotadas para melhoria da confiabilidade no PDP. Dessa maneira, os fatores relevantes no PDP são considerados juntamente com os princípios voltados para a confiabilidade, com o intuito de se

gerar mais conhecimento sobre o domínio. O uso de ontologias com este propósito não foi observado nas pesquisas sobre este assunto nos últimos anos, como se pode constatar na Revisão Bibliométrica apresentada no Apêndice A. Os principais conceitos e definições a respeito de ontologias são descritos a seguir.

2.4 ONTOLOGIAS

O termo **ontologia** pode ser utilizado com sentidos divergentes em diferentes grupos. A discordância mais radical aparece entre o sentido filosófico – mais tradicional e reconhecido – e o sentido computacional – que tem emergido recentemente entre os engenheiros (STAAB; STUDER, 2009, p.1). Ontologias têm sido amplamente utilizadas em Engenharia do Conhecimento desde 1990, com o intuito de atender as necessidades associadas ao compartilhamento e reuso de informações.

No sentido computacional, ontologias buscam capturar o conhecimento consensual sobre um determinado assunto de maneira genérica e formal, fazendo com que tais informações sejam compartilhadas e reutilizadas por softwares e por pessoas (CORCHO et al., 2004). Gruber (1993) define ontologias como “uma especificação explícita da conceptualização”. Já Gangemi et al. (2005) definem o termo ontologia como “um diagrama cujos nós e arcos representam conceitos”. Esse diagrama é uma representação de metadados que englobam termos agrupados em categorias, taxonomias e axiomas (BILGIN et al., 2014).

Uma ontologia define um vocabulário comum para pesquisadores que necessitam compartilhar informações sobre um determinado domínio, incluindo definições de conceitos básicos e suas relações. Para Noy e McGuinness (2001), os principais objetivos para a criação de ontologias são:

- Compartilhar um conhecimento comum sobre um domínio entre pessoas ou softwares;
- Permitir o reuso de conhecimentos sobre um domínio;
- Tornar explícitas algumas premissas e considerações sobre um domínio;
- Separar o conhecimento sobre um domínio do conhecimento operacional;
- Analisar o conhecimento sobre um domínio.

O uso de ontologias tem se tornado cada vez mais importante em áreas relacionadas a gestão do conhecimento, integração da informação, sistemas de informação cooperativos e comércio eletrônico. Assim, para que uma ontologia seja efetivamente utilizada, é necessário

que o modelo seja especificado em alguma linguagem não ambígua, tornando seu processamento passível por máquinas e humanos (STAAB; STUDER, 2009, p.2).

Um conjunto de linguagens importante para o desenvolvimento de ontologias é o *Description Logics (DL)*. Conforme Baader et al. (2009, p. 21–43), *DL* são as linguagens de representação do conhecimento que podem ser usadas para representar um domínio de maneira estruturada e compreensível. O nome *Description Logics* é motivado pelo fato de as características importantes de um domínio estarem relacionadas a conceitos descritivos organizados semanticamente de maneira formalmente lógica. Além disso, os sistemas em *DL* são capazes de realizar várias inferências que deduzem conhecimentos implícitos do conhecimento explicitamente representado.

Uma vez que as linguagens *Description Logics* possuem uma semântica bem definida e uma forte capacidade de realizar inferências, elas devem ser consideradas para a construção de ontologias mais complexas. A adequação de *DL* como linguagens para desenvolvimento de ontologias pode ser comprovada por sua utilização como fundamento de diversas linguagens de ontologia da Web, como a linguagem OWL (BAADER, 2009, p. 21–43).

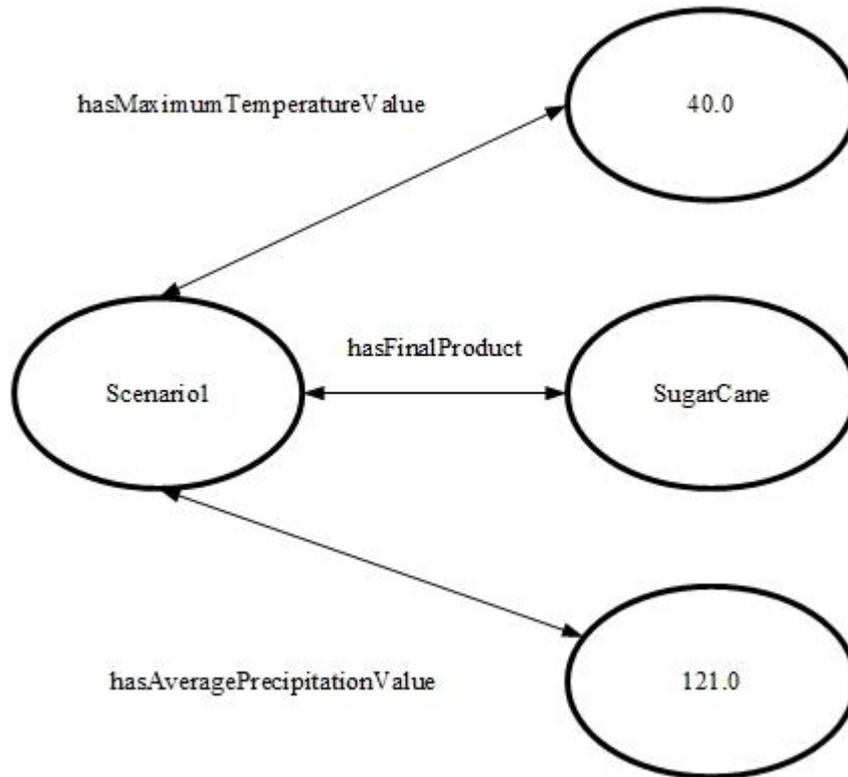
Dentre várias linguagens para representação de ontologias, há a RDF (*Resource Description Framework*) e a OWL (*Web Ontology Language*). Devido ao fato da RDF ser mais limitada a uma hierarquia de subclasses e propriedades, a linguagem OWL é utilizada nas situações em que o número de características de caso de uso para as ontologias na Web exigem mais expressividade que a RDF pode oferecer. Assim, OWL é a linguagem de ontologias que tende a ser mais aceita e padronizada pela Web semântica (STAAB; STUDER, 2009, p.91).

A linguagem OWL tem como objetivo apoiar um raciocínio mais efetivo e oferecer uma linguagem lógica mais robusta que a RDF. Porém, esses dois requisitos são, de certa maneira, incompatíveis. Portanto, a linguagem OWL é subdivida em três diferentes linguagens, em que cada uma é direcionada a satisfazer aspectos distintos desse conjunto de requisitos incompatíveis. A primeira delas é a OWL Full, compatível sintática e semanticamente com a linguagem RDF. Há também a OWL DL (*Description Logics*), a qual busca restringir a maneira na qual as construções são realizadas para assegurar que a linguagem corresponda a uma descrição lógica bem estudada. E por último há a OWL Lite, a qual restringe ainda mais os limites estabelecidos pela OWL DL, facilitando sua compreensão pelos usuários e sua implementação mais simples (STAAB; STUDER, 2009, p.93).

Outro aspecto que deve ser destacado com relação à OWL é que, nessa linguagem, há somente dois tipos de propriedades. As propriedades de objetos (*Object properties*) estão relacionadas às instâncias das classes, associando objetos a outros objetos. Já as propriedades

de dados (*Datatype properties*) relacionam os objetos e valores de dados (STAAB; STUDER, 2009, p.95). A Figura 4 representa as propriedades de dados e objetos sendo relacionadas a um objeto, conforme proposto pela linguagem OWL. Pode-se perceber que, neste exemplo, o objeto *Scenario1* está relacionado tanto a outro objeto (*SugarCane*) como a valores de dados (40.0 e 121.0).

Figura 4 - Representação das propriedades da linguagem OWL



Fonte: O próprio autor

Para o processo de criação de uma ontologia, é necessário o uso de ferramentas para a representação e edição dos modelos. As principais ferramentas disponíveis são OntoStudio, Apollo, TopBraid Composer Free Edition, Swoop e o Protégé, as quais cobrem uma ampla variedade de processos de desenvolvimento de ontologias. Uma comparação entre os editores de ontologia disponíveis é realizada no Quadro 2. Neste trabalho, a ferramenta escolhida foi a Protégé 5.2.0, disponibilizada gratuitamente pela Stanford University na internet (<https://protege.stanford.edu/>).

O Protégé tem sido utilizado ao longo dos últimos anos para aquisição do conhecimento e para a construção de ontologias sobre um determinado domínio. Esta ferramenta possui um modelo extensivo de conhecimento que permite aos usuários redefinir os princípios representativos. Além disso, possui uma interface customizável capaz de se adaptar a diferentes

linguagens formais e uma arquitetura de *plug-ins* eficiente e capaz de se integrar a outros aplicativos. Essas características fazem do Protégé uma ferramenta altamente extensível e de fácil uso, uma vez que é possível adaptar as ferramentas de aquisição de instâncias com uma interface customizada (MUSEN et al., 2003).

Quadro 2 - Comparação entre as principais ferramentas para desenvolvimento de ontologias

Ferramenta Computacional	Características	Disponibilidade	Mecanismo de Inferência	Ferramentas Gráficas
Apollo	<ul style="list-style-type: none"> Permite que o usuário modele as ontologias com primícias básicas como classes, instâncias, funções e relações; Base de conhecimento consiste de uma organização hierárquica das ontologias; Ontologias podem ser criadas a partir de outras ontologias preexistentes; Não suporta visualização gráfica. 	Código aberto	Não possui	Não possui
OntoStudio	<ul style="list-style-type: none"> Suporta o desenvolvimento de ontologias por meios gráficos; Ontologias são gerenciadas em um servidor central mas podem ser acessadas e modificadas por vários usuários; Reconhece diversas linguagens para criação das ontologias. 	Licença do Software	Ontobroker	Possui
Protégé	<ul style="list-style-type: none"> Plataforma livre mais utilizada pelos usuários; Possui uma variedade de ferramentas que facilita a construção e aplicação dos modelos desenvolvidos; Apresenta um conjunto variado de modelagem de conhecimento que estrutura a criação, visualização e manipulação de ontologias em vários formatos; Permite a definição de classes, hierarquias, restrições de valores, relações entre classes e propriedades entre as relações; Pode ser customizada de acordo com as necessidades do usuário; Permite a construção de ontologias grandes de maneira eficiente. 	Código aberto	PAL, RACER, FACT, FACT++, F-Logic e Pellet	Possui
Swoop	<ul style="list-style-type: none"> Proporciona um ambiente de múltiplas ontologias; Indivíduos e relações entre várias ontologias podem ser comparados, editados e incorporados; Não segue uma metodologia para construção de ontologias. 	Código aberto	Pellet e RDF-like	Possui

Quadro 2 - Comparação entre as principais ferramentas para desenvolvimento de ontologias
(Continuação)

Ferramenta Computacional	Características	Disponibilidade	Mecanismo de Inferência	Ferramentas Gráficas
TopBraid Composer Free Edition	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser encontrada em três versões: a Gratuita (com poucas ferramentas), a Padrão (que inclui ferramentas gráficas) e a versão Maestro (que possui todas as ferramentas de busca); • Possui vários mecanismos de inferência; • Possui interoperabilidade com diversas linguagens semânticas. 	Licença do Software	WOL, Rule, OWLIM, Pellet, Jena, Oracle e SPARQL	Possui

Fonte: Adaptado de Alatrish (2013)

Para que o Protégé possa realizar as devidas inferências, é necessário o uso de alguma máquina de inferência (IE – do inglês *Inference Engine*). Conforme Akerkar e Sajja (2010, p.36), um mecanismo de inferência é um programa capaz de manipular o conhecimento existente de acordo com as necessidades para tomar decisões sobre ações a serem realizadas utilizando técnicas padrões de combinação e busca para conclusões. Assim, a IE examina os fatos e regras existentes e realiza inferências adicionando novos conhecimentos quando necessário. Além disso, as máquinas de inferência decidem a ordem nas quais as inferências são realizadas.

No Protégé os *reasoners* são as máquinas de inferência capazes de derivar novas informações a partir da ontologia existente. Para o Protégé 5.2.0, estão disponíveis os *reasoners* ELK 0.4.3, Hermit 1.3.8.413, Ontop 1.18.1, Pellet, Pellet (Incremental), Jcel e Fact++. Neste trabalho, o *reasoner* utilizado foi o Pellet, o qual, de acordo com Horridge (2011), é mais completo e capaz de inferir relações mais complexas. Já Sirin et al. (2007) afirmam que o Pellet apresenta um ótimo desempenho para a linguagem OWL, além de incorporar diversas características que otimizam e permitem uma inferência mais eficiente na presença de classes enumeradas e indivíduos.

Existem diversos métodos para a construção de ontologias, dos que partem de rascunhos aos que utilizam e adaptam ontologias já existentes para a criação de novas. Além disso, há também diversos critérios e métodos para avaliação de ontologias, os quais levam em consideração os aspectos de uso do modelo como a sua estrutura em taxonomias (SERRA; GIRARDI; NOVAIS, 2014). O método 101 foi utilizado para a construção da ontologia desta

pesquisa, e este será melhor detalhado na seção 3.3.3. Já os critérios e ferramentas adotadas para avaliação desta ontologia, também serão apresentados na seção 3.3.5.

Diversas funcionalidades justificam a construção de uma ontologia. Uma funcionalidade muito importante no contexto da Web semântica é a resposta a buscas (*queries*), uma vez que isso faz com que os usuários e aplicativos possam interagir com as ontologias e os dados (KOLLIA; GLIMM; HORROCKS, 2011). Segundo Staab e Studer (2009, p.304), as *queries* são questões de competência que um especialista poderá querer submeter a uma base de conhecimentos relacionada ao domínio, com o objetivo de atender a uma determinada tarefa.

Muitas linguagens de buscas podem ser utilizadas no contexto de ontologias. Tais linguagens podem ser classificadas em duas categorias: as linguagens de busca baseadas em RDF (RDQL, SeRQL, SPARQL), cuja linguagem semântica é baseada no tríplice: sujeito, predicado, objeto, e as linguagens de busca baseadas em OWL DL (DIG *ask queries*, nRQL), as quais possuem uma linguagem semântica clara, mas não são suficientemente potentes em casos gerais (SIRIN; PARSIA, 2007). A linguagem de buscas SPARQL possui uma interface com ontologias em OWL, sendo mais expressiva e podendo ser implementada sem muita dificuldade. No Protégé, o *plug-in Snap-SPARQL* é a estrutura que permite trabalhar com a linguagem SPARQL e OWL (HORRIDGE; MUNSEN, 2016).

Observando as vantagens que a implementação de modelos ontológicos pode trazer para o desenvolvimento de novos produtos, pode-se afirmar que os processos de manufatura se tornam mais conectados e relacionados a informações que anteriormente não seriam consideradas. Assim, a implementação de métodos de ontologia no contexto das empresas coloca-as em um ambiente de manufatura inteligente, uma vez que todas as informações passam a ser interligadas com o intuito de se criar produtos mais confiáveis e processos mais eficientes. Essas características traduzem os principais conceitos da nova era industrial, a Indústria 4.0, a qual está diretamente ligada ao tema deste trabalho.

2.5 A CAPTURA DE CONHECIMENTO PARA MELHORIA DA CONFIABILIDADE

Considerando-se os princípios da Indústria 4.0, conclui-se que a captura de conhecimento no contexto do PDP é importante para a elaboração de produtos, processos e sistemas mais eficientes. Todas informações relacionadas ao item em desenvolvimento recebem uma maior importância pela possível influência que tais fatores podem exercer em sua operacionalidade. Dessa maneira, atividades que resultam na melhoria da confiabilidade de um produto têm recebido uma maior importância no contexto das empresas, uma vez que a busca

por produtos mais eficientes e com mais qualidade é uma realidade no contexto da Manufatura Inteligente.

As atividades voltadas para melhoria da confiabilidade de um produto devem ser consideradas desde as primeiras etapas do seu ciclo de vida. Assim, quando o produto é ainda uma abstração, as informações relacionadas ao uso, ao processo produtivo e às matérias primas devem ser analisadas para que se crie um produto mais confiável. É neste contexto que as atividades voltadas para *Design for Reliability* são implementadas nas etapas iniciais do Processo de Desenvolvimento de Produtos.

Dentre diversas atividades que podem ser executadas para a melhoria da confiabilidade de produtos, o uso de modelos ontológicos é um método eficaz para a captura de conhecimento. Assim, informações relevantes relacionadas ao contexto de desenvolvimento e uso da manufatura são consideradas e analisadas, a fim de se estabelecer as melhores práticas que resultarão em um produto mais confiável.

Neste trabalho, um método baseado em um modelo ontológico foi desenvolvido para ser implementado nas etapas iniciais do PDP. Tal método leva em consideração informações relacionadas ao perfil de uso de motores de arranque com o intuito de se estabelecer o plano de testes mais adequado ao item, garantindo-se, assim, a devida confiabilidade. Para que este método fosse criado, foi adotada a abordagem *Design Science Research*, a qual é recomendada para pesquisa prescritivas como esta. Assim, o próximo capítulo apresenta mais detalhes a respeito dos aspectos metodológicos adotados para o desenvolvimento e avaliação da solução proposta.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta uma caracterização dos aspectos metodológicos e um detalhamento dos procedimentos adotados neste projeto.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Um trabalho de pesquisa pode ser definido como uma investigação sistemática cujo tema central é normalmente o desenvolvimento ou o refinamento de teorias e, em alguns casos, a solução de problemas (GOUGH et al., 2012, p. XIII). As razões que motivam alguém a conduzir uma pesquisa são oriundas de uma lacuna identificada na teoria ou alguma demanda que exista na prática. Dessa maneira, uma pesquisa com um caráter teórico é geralmente conhecida por pesquisa pura e seu principal objetivo é alcançar um progresso científico abstrato. Já uma pesquisa de natureza prática é conhecida por ser uma pesquisa aplicada e seu principal interesse é que os resultados obtidos sejam utilizados para ajudar profissionais a resolverem problemas que ocorram nos seus trabalhos diários (SAUNDERS et al., 2012, p.549). Este projeto de pesquisa é de natureza aplicada, ou seja, busca resolver problemas relacionados à confiabilidade, que são experimentados na indústria de manufatura.

Uma das maneiras de se caracterizar uma pesquisa é em relação aos objetivos pretendidos com o estudo. Assim, uma pesquisa Descritiva tem o intuito de se compreender e descrever determinados fenômenos. Em pesquisas dessa natureza, valores reais são analisados para o desenvolvimento de teorias ou hipóteses. Todavia, pesquisas de caráter Prescritivo têm como objetivo a proposição de soluções e melhorias para um problema, buscando-se aprimorar a performance do objeto de estudos. Nessas pesquisas, artefatos são criados a partir de dados que não são necessariamente verdadeiros (HEVNER; CHATTERJEE, 2010, p.46). Portanto, observando-se os objetivos propostos por esta pesquisa, pode-se concluir que este trabalho é de caráter prescritivo, uma vez que tem por finalidade o desenvolvimento de um novo artefato (método) que serve para a melhoria de um processo já existente.

Dresch, Lacerda e Junior (2015) propõem que para pesquisas de natureza prescritiva, a abordagem *Design Science Research (DSR)* seja adotada como método de pesquisa pois essa abordagem é focada na resolução de problemas. Corroborando com Dresch, Lacerda e Junior (2015), March e Storey (2008) afirmam que a partir do entendimento de um problema, o *DSR* pode ser utilizado para construir artefatos que permitam a modificação de situações para condições melhores ou desejáveis.

3.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Para a execução deste projeto de pesquisa, foi adotada a abordagem *Design Science Research (DSR)* como metodologia para desenvolver as etapas da pesquisa. De acordo com Dresch, Lacerda e Junior (2015), o *DSR* estabelece e operacionaliza a pesquisa quando o objetivo desejado é um artefato ou uma recomendação. Além disso, uma pesquisa com base em *DSR* pode ser executada em ambiente acadêmico ou organizacional.

Vaishnavi e Kuechler (2011) consideram o *DSR* como nova ideia ou conjunto de técnicas que permitem o desenvolvimento da pesquisa em diversas áreas. Assim, Çag˘das e Stubkjær (2011) afirmam que o *DSR* é um processo rigoroso de design de artefatos para resolver problemas, avaliar o que foi desenvolvido ou o que está funcionando e, assim, comunicar os resultados. Portanto, o *DSR* é um método de pesquisa focado na resolução de problemas (MARCH; STOREY, 2008).

Hevner e Chatterjee (2010, p.5) afirmam que o princípio fundamental de *DSR* é que o conhecimento e o entendimento de um problema de design e sua solução são adquiridos na construção e na aplicação de um artefato.

Sendo assim, a definição de artefato é bem ampla. Simon (1996, p.5) define artefato como algo que seja artificial ou construído por seres humanos como oposição a algo que ocorra naturalmente. Tais artefatos devem fornecer melhorias em soluções já existentes para um determinado problema ou mesmo providenciar uma primeira solução. Assim, artefatos podem ser:

- Construções (vocabulário e símbolos);
- Modelos (abstrações e representações);
- Métodos (algoritmos e práticas);
- Instâncias (implementações e protótipos de sistemas);
- Melhores teorias de design.

A aplicação do *DSR* pode reduzir significativamente a lacuna existente entre teoria e prática, uma vez que esse método não é orientado somente para a solução de problemas, mas também produz conhecimento que serve como referência para a melhoria de teorias.

Para que ocorra a aplicação da abordagem *DSR*, Hevner et al. (2010, p.181) definem sete critérios que devem ser considerados pelos pesquisadores. Esses critérios são essenciais, uma vez que *DSR* demanda a criação de um novo artefato a ser avaliado e divulgado. Tais critérios são demonstrados na Figura 5.

Figura 5 - Critérios para a condução de um método *DSR*.

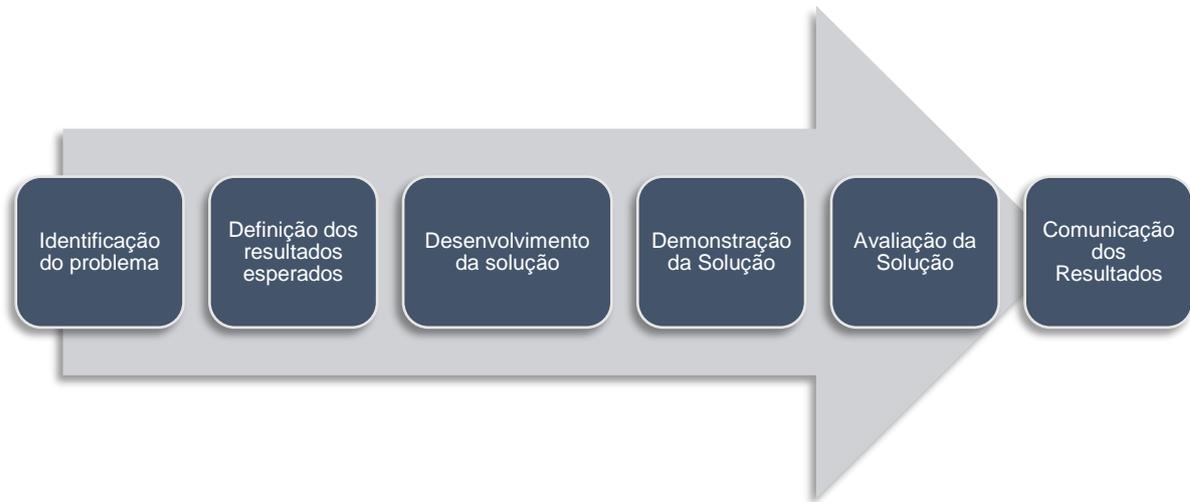
1. Design de um artefato	•Uma pesquisa desenvolvida com o método <i>DSR</i> deve produzir um artefato viável na forma de uma construção, modelo, método ou instância.
2. Relevância do problema	•O propósito do <i>DSR</i> é desenvolver soluções que resolvam problemas importantes e relevantes para organizações.
3. Avaliação do design	•A utilidade, qualidade e eficácia do artefato deve ser rigorosamente demonstrada via métodos de avaliação bem executados.
4. Contribuição da pesquisa	•Uma pesquisa conduzida por meio do método <i>DSR</i> deve fornecer uma contribuição clara e verificável nas áreas específicas de desenvolvimento dos artefatos e apresentar uma fundamentação clara de design e/ou metodologias de design.
5. Rigor da pesquisa	•A pesquisa deve ser baseada na aplicação de métodos rigorosos, tanto na construção como na avaliação dos artefatos.
6. Design como um processo de pesquisa	•A busca por um artefato efetivo requer o uso de meios que estejam disponíveis para alcançar os propósitos desejados, enquanto satisfaça as regras que governam o ambiente no qual o problema esteja sendo estudado.
7. Comunicação da pesquisa	•Uma pesquisa conduzida por meio do método <i>DSR</i> deve ser apresentada tanto para uma audiência que seja mais orientada para tecnologia como para outra mais orientada para gestão.

Fonte: Hevner et al. (2010, p.181)

3.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Peppers et al. (2007) propõem um fluxograma para conduzir uma pesquisa baseada em *DSR*, como mostra a Figura 6. A explicação para cada etapa dessa abordagem será apresentada a seguir.

Figura 6 - Método para aplicação do *DSR*



Fonte: Peppers et al. (2007)

3.3.1 Identificação do Problema e Motivação

A primeira etapa da abordagem *DSR*, é quando acontece a identificação do problema e os pontos que motivam a pesquisa. A identificação do problema deste trabalho científico ocorreu, primeiramente, após a realização de uma Revisão Bibliométrica (Apêndice A) a respeito dos temas *Design for Reliability*, *Product Development* e *Failure Analysis*. Assim, percebeu-se a ausência de métodos relacionados a *DfR* que pudessem ser implementados na etapa de *Leiaute preliminar* do PDP, uma vez que, de acordo com Pahl e Beitz (2013, p.42), é nessa etapa que os projetistas devem realizar avaliações do item desenvolvido em relação aos aspectos técnicos e econômicos. Além disso, em nenhum dos métodos aferidos houve uma abordagem mais aprofundada da influência dos fatores externos de uso do produto em sua confiabilidade ou dos testes que devem ser realizados na etapa de *Leiaute preliminar* (levando-se em consideração as especificações determinadas nas etapas anteriores). Percebeu-se, então, a relevância desta pesquisa para aplicação nas indústrias de manufatura.

Dessa maneira, após a identificação da falta de publicações sobre esse assunto na literatura, iniciou-se a procura por uma empresa na qual fosse possível a realização da pesquisa.

Definiu-se, então, que o projeto de pesquisa seria realizado a partir de informações fornecidas por uma empresa do setor de máquinas agrícolas localizada em Curitiba. A empresa é uma multinacional reconhecida no mercado pela qualidade, tecnologia e confiabilidade dos seus produtos.

Diversos equipamentos agrícolas são desenvolvidos para atender as necessidades de pequenos, médios e grandes produtores rurais: de tratores de variadas potências a colheitadeiras de grãos de diversos portes, além de pulverizadores e equipamentos agrícolas em geral. Dentro da empresa, há uma forte preocupação com a segurança e a confiabilidade dos produtos desenvolvidos, o que pode ser percebido pelos diversos manuais e especificações existentes em todos os departamentos.

Para dar início ao diagnóstico dos problemas existentes dentro da empresa, foram realizadas reuniões e entrevistas com colaboradores que atuam em áreas como a de Engenharia do Produto e a de Manufatura. Corroborando com o que havia sido identificado pela Revisão Bibliométrica (Apêndice A), percebeu-se a ausência de métodos que realizassem uma análise mais detalhada da influência dos fatores externos na confiabilidade e qualidade dos produtos.

Notou-se que os testes de confiabilidade existentes nos manuais da empresa eram realizados em todos os equipamentos do gênero sem se observar as condições particulares de uso do produto. Portanto, testes que possivelmente poderiam ser desconsiderados acabavam sendo levados a efeito, sem se estabelecer a importância de cada teste de acordo com as condições externas às quais os equipamentos eram submetidos ou com informações ligadas ao uso nas atividades agrícolas.

Um outro aspecto que foi relevante nas discussões está relacionado a falhas associadas aos motores de arranque de uma determinada linha de tratores. Percebeu-se que a elaboração de um plano de testes mais eficaz para tais equipamentos seria capaz de aprimorar a sua confiabilidade a fim de reduzir o índice de falhas. Dessa maneira, esse equipamento foi considerado foco de estudo desta pesquisa.

Um manual contendo uma descrição de todos os testes de confiabilidade que são realizados no processo de manufatura foi fornecido pela empresa. A partir desse manual, foi possível compreender as principais características técnicas e de uso relacionadas ao motor de arranque. Tais informações foram importantes para o entendimento do problema e para a construção da solução. Em posse desses documentos, uma análise das deficiências associadas ao planejamento de testes para esses motores foi realizada para que os objetivos desta pesquisa fossem elaborados.

3.3.2 Definição dos Resultados Esperados

Esta etapa consiste na elaboração dos objetivos esperados para a resolução do problema. Portanto, em consonância com os objetivos geral e específicos, definiu-se os resultados esperados a partir desta pesquisa. O artefato desenvolvido neste projeto constitui um método, representado por uma ontologia, o qual pode ser utilizado para facilitar a análise e avaliação dos principais fatores que influenciam o plano de testes e a confiabilidade dos motores de arranque de uma determinada linha de tratores.

Este método deve ser aplicado nas etapas iniciais do PDP, em consonância com a implementação de *DfR*, buscando-se a criação de produtos mais confiáveis por um menor custo. O método desenvolvido, se aplicado corretamente, deverá ser capaz de auxiliar as equipes voltadas ao PDP na resolução de problemas de confiabilidade, trazendo assim benefícios econômicos e para a imagem da empresa. Dessa maneira, a análise das condições externas e de uso às quais um trator tende a ser submetido permite a determinação dos principais testes que devem ser realizados no produto para garantir sua confiabilidade.

As equipes voltadas ao PDP têm demonstrado grande preocupação com a confiabilidade dos produtos. Assim, diversos testes são realizados para um mesmo maquinário. Entretanto, em algumas situações, testes são realizados somente para se atender ao protocolo da empresa ou seguem o empirismo de projetistas, enquanto outros testes mais importantes deixam de ser realizados. Um dos fatores para que isso aconteça é devido à falta de conhecimento sobre as condições externas e de uso aos quais o produto é submetido. Dessa forma, algumas implicações ligadas à não garantia da confiabilidade, além de despesas excessivas com testes dispensáveis, podem ocorrer nas etapas iniciais do PDP.

A escolha pela elaboração de um modelo ontológico apoia-se no fato de que este método pode ser facilmente implementado no ambiente industrial. Além disso, devido à possibilidade de se reutilizar ontologias já existentes, há uma contínua iteração de informações, o que torna o método mais completo e as inferências mais complexas. Um outro fator que justifica a opção pela ontologia como método é que muitas informações não são claramente associadas a outras. Dessa maneira, por meio das informações obtidas pelas máquinas de inferência do software Protégé 5.2.0, é possível se chegar a conclusões com mais precisão.

De acordo com Gruninger e Fox (1995), a proposta de uma nova ontologia ou extensão de uma ontologia já existente deve descrever um cenário – e o conjunto de soluções para os problemas contidos no cenário. Isso é essencial para dar sentido aos objetos em uma ontologia, especialmente para os casos em que existem diferentes objetos que exercem funções diferentes

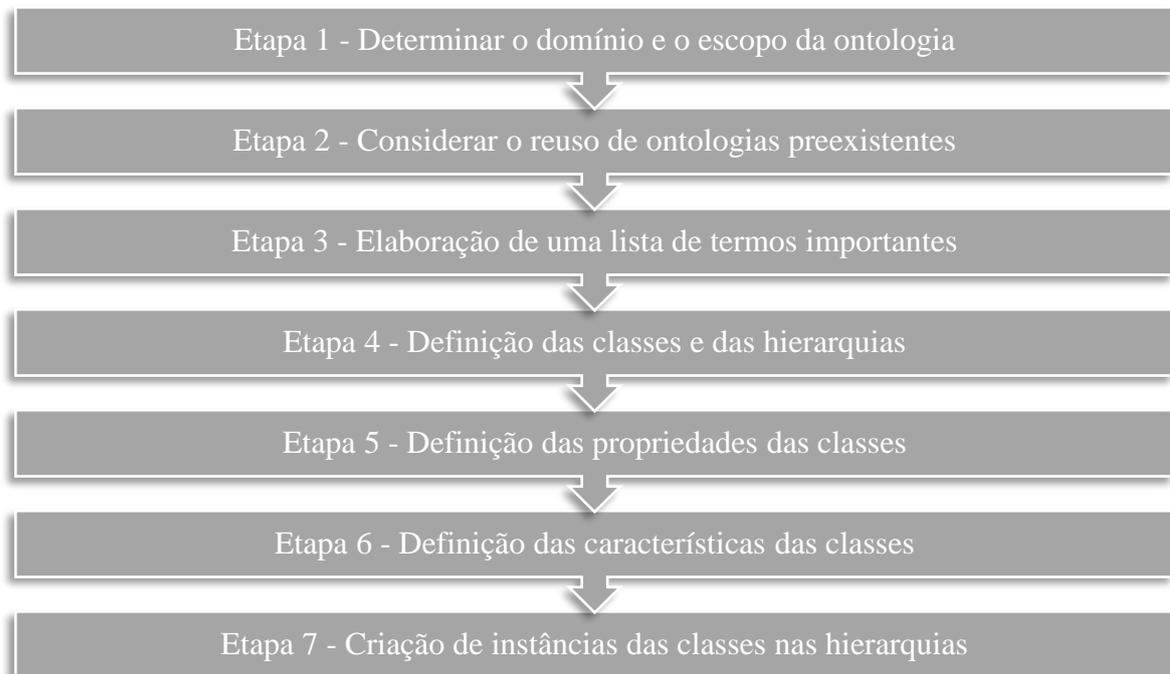
na mesma ontologia. Assim, a demonstração de um cenário permite o entendimento dos motivos e aplicações da ontologia.

Por esse viés, nesta etapa houve a busca e a descrição de cenários que pudessem ser representados na ontologia, para que os objetivos inicialmente propostos pudessem ser compreendidos com mais facilidade. Além disso, algumas questões de competência foram propostas para a solução dos problemas identificados, com o intuito de guiar e dar início a etapa de desenvolvimento. A definição das questões de competência representa também a primeira etapa do Desenvolvimento da Solução representado na sequência.

3.3.3 Desenvolvimento da Solução

Para o desenvolvimento do modelo desta pesquisa, foi utilizado o método 101 proposto por Noy e McGuinness (2001), o qual é composto por sete etapas. A Figura 7 representa as etapas que devem ser seguidas para construção de um modelo ontológico a partir do método utilizado.

Figura 7 - Etapas do método 101



Fonte: Adaptado de Noy e McGuinness (2001)

A primeira etapa consiste em determinar o domínio e o escopo da ontologia. Essa determinação pode ocorrer pela resposta de questões como: o que o domínio da ontologia vai cobrir? Para que a ontologia será utilizada? Para quais tipos de questões as informações obtidas

na ontologia vão trazer respostas? Quem utilizará tal ontologia? As respostas podem mudar ao longo do processo de desenvolvimento da ontologia, no entanto, essas questões auxiliam na limitação do escopo do modelo a qualquer momento.

Conforme Gruninger e Fox (1995), outra maneira de determinar o domínio e escopo da ontologia é por meio das questões de competência, as quais são a base de conhecimento que o modelo deve ser capaz de responder. Tais questões de competência foram desenvolvidas entre as etapas de Definição dos Resultados Esperados e Desenvolvimento da Solução, uma vez que para se definir os resultados esperados com a criação do artefato, deve-se também estabelecer o domínio e o escopo que ele deve abranger. Segundo Staab e Studer (2009, p.230), questões de competência são buscas (*queries*) que um especialista poderá querer submeter a uma base de conhecimentos relacionada ao domínio, com o objetivo de atender a uma determinada tarefa.

Considerar o reuso de ontologias preexistentes é a segunda etapa do método 101. Deve-se considerar que algum trabalho similar possivelmente já tenha sido desenvolvido, o qual pode estar disponível em formato eletrônico e pode ser importado para o editor de ontologia utilizado. Existem bibliotecas de ontologias desenvolvidas acessíveis para o público na internet e na literatura.

A terceira etapa fundamenta-se na elaboração de uma lista de termos que devem estar presentes nas definições e que auxiliem o usuário no entendimento do modelo. Assim, possíveis propriedades, características, classificações e relações entre os itens podem ser descritas. Os termos enumerados irão auxiliar nas etapas seguintes da construção da ontologia.

A etapa seguinte do método 101 baseia-se na definição das classes e das hierarquias. Existem diversas maneiras de se desenvolver uma hierarquia entre as classes. Um processo de desenvolvimento *top-down* começa com a definição de conceitos mais genéricos no domínio e a subsequente especialização dos conceitos. Já o processo de desenvolvimento *bottom-up* tem início com a definição das classes mais específicas, com o subsequente agrupamento dessas classes em conceitos mais genéricos. Há também o processo de desenvolvimento que combina o *top-down* com o *bottom-up*. Nesse caso, os conceitos mais relevantes são definidos e, a partir daí, ocorre uma generalização e especificação apropriada dos conceitos.

A quinta etapa está associada à definição das propriedades das classes – *slots*. Sabe-se que as classes sozinhas não são suficientes para fornecer as informações necessárias para responder às questões de competência estabelecidas pela primeira etapa. Dessa maneira, uma vez que as classes são definidas, faz-se necessário descrever a estrutura interna dos conceitos.

A etapa seguinte compreende a definição das características dos *slots*. As classes podem apresentar diversas características para descrever os tipos de valores, os valores permitidos, o número de valores, e outras peculiaridades que um *slot* pode possuir.

A última etapa para a construção de uma ontologia pelo método 101 respalda-se na criação de instâncias das classes nas hierarquias. Para definir uma instância individual de uma classe, é necessário (1) escolher a classe, (2) criar uma instância individual da classe, (3) estabelecer os valores relacionados aos *slots*.

Pinto e Martins (2004) propõem diferentes estágios para a criação de uma ontologia, os quais são: especificação, conceptualização, formalização, implementação e manutenção. O estágio de especificação corresponde à primeira etapa do método 101. Já no estágio seguinte, o uso de mapas mentais e diagramas de relações binárias surge como alternativa para estabelecer relações entre os termos que serão utilizados na ontologia.

No estágio de formalização, ocorre uma transformação dos conceitos descritos em um modelo formal. Conceitos são geralmente definidos sob a forma de axiomas que restringem as possíveis interpretações do significado e são organizados hierarquicamente por uma relação estruturada. Na etapa de implementação, a ontologia criada é traduzida por meio de uma linguagem de representação do conhecimento. É nessa etapa que se torna possível executar buscas (i.e., *queries*) e realizar inferências. O último estágio consiste na atualização e correção da ontologia de forma iterativa.

3.3.4 Demonstração da Solução

A quarta etapa da abordagem *DSR* consiste na demonstração da solução proposta, isto é, em demonstrar que o artefato criado pode ser utilizado para a resolução do problema.

De acordo com o que já fora apresentado, o foco deste trabalho está baseado na solução de um problema real que ocorre em uma empresa multinacional do segmento automobilístico de tratores e colheitadeiras localizada em Curitiba (PR). Essa empresa posiciona-se entre as indústrias líderes de venda no mercado em que atua e é reconhecida pela qualidade e confiabilidade de suas máquinas e equipamentos agrícolas. Por meio das etapas anteriores, definiu-se que o problema de pesquisa estava ligado à implementação do *DfR* nas etapas iniciais do PDP. Dessa maneira, estabeleceram-se os resultados esperados para a pesquisa, e, portanto, a criação de uma ontologia que auxiliasse as equipes voltadas para a criação de novos produtos na seleção dos testes de confiabilidade mais apropriados, a depender do local e das condições de uso do equipamento. Além disso, o contexto do projeto baseou-se na criação de motores de

arranque, o que foi definido como foco para a solução proposta, bem como para demonstração e avaliação.

Para a etapa de demonstração, foi desenvolvido modelo ontológico e definidas as relações entre indivíduos e classes estabelecidas. Dessa forma, utilizando software Protégé 5.2.0 para a criação do modelo, possibilitou-se a realização de buscas por conhecimentos e inferências relacionados ao projeto de motores de arranque. O *plug-in* Snap-SPARQL foi instalado no editor, permitindo ao usuário acessar as informações desejadas na ontologia.

Os cenários criados na ontologia são suposições de uso dos equipamentos. Já as características dos testes são informações reais que foram fornecidas pela empresa, por meio do manual de especificações e testes de engenharia e do manual dos motores de arranque. Dessa maneira, as buscas realizadas na ontologia foram baseadas nesses dois contextos.

3.3.5 Avaliação da Solução

A quinta etapa do *DSR* consiste na avaliação do modelo, quando o pesquisador observa e mede o comportamento do artefato para resolução do problema. Realizou-se, então, uma análise comparativa com os objetivos esperados, propostos na segunda etapa, para se verificar até que ponto as expectativas previamente definidas foram atendidas. Seguindo alguns critérios pré-determinados, analisou-se a facilidade, viabilidade, qualidade e eficácia do uso da ontologia na solução do problema proposto.

A avaliação de ontologias pode ser definida como o processo de análise da qualidade e ontologia seguindo alguns critérios com o objetivo de se determinar a sua precisão em atender um propósito específico (BRANK; GROBELNIK; MLADENIC, 2005). De acordo com Vrandecic et al. (2009, p. 293–313), a avaliação de ontologias é definida no contexto de dois conceitos: verificação e validação. A verificação de uma ontologia aplica-se à construção de uma ontologia corretamente enquanto a validação concentra-se na definição da ontologia correta para o propósito previamente designado.

Na avaliação de uma ontologia, diversos critérios podem ser considerados. No entanto, o objetivo de uma avaliação não é, necessariamente, analisar todos os critérios, cabendo ao avaliador selecionar os mais apropriados para a ontologia (VRANDECIC, 2010). O Quadro 3 apresenta uma seleção dos principais critérios listados na literatura e suas descrições.

Quadro 3 - Critérios para se avaliar uma ontologia

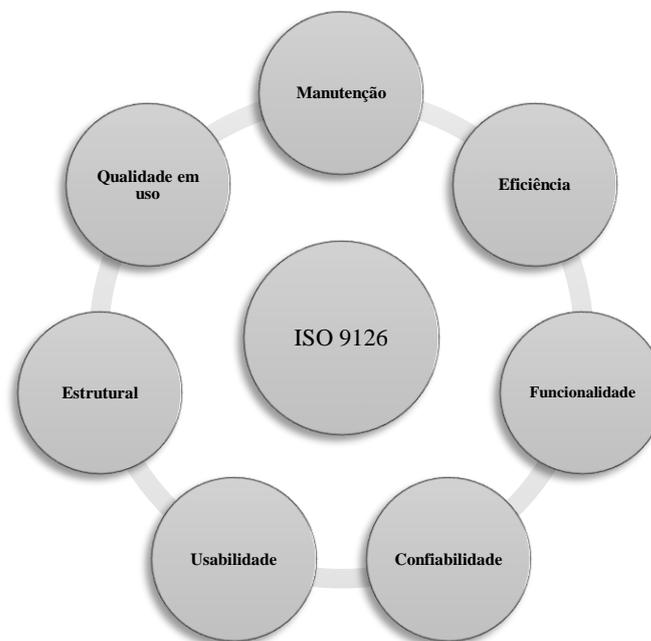
Critério	Descrição
Acessibilidade genérica	A ontologia deve ser facilmente acessada para aplicação computacional e comercial efetiva.
Acurácia	Este critério é utilizado para determinar se o conhecimento gerado pela ontologia está de acordo com o conhecimento de um especialista a respeito do assunto.
Adaptabilidade	Mede a facilidade de uso da ontologia em contextos diferentes.
Adequação à competência	A ontologia deve ser compatível e adequada ao uso por múltiplos usuários.
Adequação a procedimentos de extensão, integração e adaptação	A ontologia deve ser facilmente compreendida e manipulada para reuso e adaptação a diferentes contextos.
Adequação organizacional	A ontologia deve ser facilmente implementada em uma organização e tem uma boa abrangência em algum contexto especificado
Capacidade de ser testada	A capacidade de a ontologia ser modificada e avaliada.
Clareza	A ontologia deve comunicar efetivamente os significados pretendidos para os termos definidos.
Coerência	Os itens inferidos devem estar corretos e os axiomas definidos devem ser logicamente consistentes.
Coesão	Refere-se a maneira como os elementos estão relacionados entre si em uma ontologia. Dessa maneira, as classes devem estar fortemente relacionadas entre si.
Concisão	A ontologia não deve conter axiomas inúteis, desnecessários ou redundantes.
Consistência	A ontologia deve ter uma consistência lógica (não inferir itens contraditórios) e uma consistência entre as descrições formais e informais (i.e., os comentários devem estar de acordo com as descrições formais).
Efetividade	Capacidade de a ontologia operar de acordo com os objetivos propostos, sendo capaz de responder as questões de competência.
Eficiência computacional	A ontologia pode ser processada com sucesso e êxito por um <i>reasoner</i> . Além disso, o modelo deve apresentar uma performance apropriada de acordo com a quantidade de recursos utilizados.
Ergonomia cognitiva	A ontologia deve ser facilmente compreendida, manipulada e explorada.
Expansibilidade	A ontologia deve ser capaz de ter novas definições adicionadas sem que ocorra uma alteração nas semânticas já estabelecidas.
Extensibilidade	Novos termos podem ser introduzidos na ontologia sem a necessidade de revisão dos axiomas existentes.
Integralidade	Todo conhecimento que é esperado estar na ontologia deve estar mencionado explicitamente ou inferido.
Maturidade Técnica	A capacidade de a ontologia evitar falhas a partir de erros no modelo.
Mutabilidade	Capacidade de se realizar modificações na ontologia sem que isso comprometa a sua performance.
Possibilidade de reuso	A ontologia deve ser capaz de ser reutilizada, alterando-se as características do domínio.
Robustez	A capacidade de o modelo se adaptar a outros componentes, cenários ou regulações
Satisfação do usuário	O modelo deve satisfazer os usuários em um contexto de uso especificado.
Sensibilidade	Está relacionado em como pequenas mudanças nos axiomas podem alterar as semânticas da ontologia.
Transparência	A ontologia deve ser capaz de ser analisada em detalhes.

Fonte: Gruber (1995); ISO 9126 (2000); Gómez-Pérez (2004, p.251-274); Gangemi et al. (2005); Vrandecic (2010).

Fernandez-Breis et al. (2009) afirmam que a proposta de se avaliar uma ontologia deve levar em consideração diferentes perspectivas, as quais podem ser agrupadas de acordo com os objetivos de cada uma delas. O primeiro grupo corresponde à avaliação de acordo com as propriedades estruturais da ontologia, ou seja, de acordo com as classificações e exatidão do modelo. Já o segundo grupo confere as características ligadas à qualidade, e.g. usabilidade, confiabilidade e funcionalidade. Além disso, esses mesmos autores afirmam que o processo de desenvolvimento de uma ontologia contém características associadas à Engenharia de Software, e, portanto, sua avaliação deve ocorrer segundo essa perspectiva, utilizando-se a ISO 9126 (2000) – padrão para a qualidade de softwares.

Seguindo os conceitos da ISO 9126 (2000), a qual representa um padrão internacional para verificação da qualidade de um software, a avaliação de uma ontologia deverá considerar os aspectos internos, externos e em uso do modelo. Os aspectos internos são aqueles referentes à ontologia em si e devem ser avaliados durante o processo de desenvolvimento da ontologia. Já os aspectos externos estão ligados ao comportamento do modelo e devem ser avaliados nas etapas finais de desenvolvimento ou nas etapas de testes, antes de se lançar a ontologia. Os aspectos em uso devem ser avaliados após o lançamento da ontologia para correção de possíveis erros e para a sua manutenção. Observando esses aspectos, Fernandez-Breis et al. (2009) propõem que a estrutura de avaliação de uma ontologia deve compreender as sete dimensões descritas na Figura 8.

Figura 8 - Dimensões para avaliação de ontologias baseado na ISO 9126 (2000)



Fonte: Fernandez-Breis et al. (2009)

Dessa maneira, em cada um dos itens da estrutura de avaliação de uma ontologia, Fernandez-Breis et al. (2009) fazem uma associação com alguns critérios descritos pela ISO 9126 (2000) os quais podem ser observados no Quadro 4. Nesta pesquisa, a avaliação do modelo ontológico proposto ocorreu conforme o recomendado por esses autores, de maneira que as sete dimensões foram analisadas.

Quadro 4 - Critérios para avaliação em cada uma das dimensões

Dimensão para Análise	Critérios
Estrutural	<ul style="list-style-type: none"> • Acurácia • Coesão • Consistência • Integralidade
Funcionalidade	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de inferência • Representação dos resultados • Classificação de instâncias • Buscas e <i>queries</i> consistentes
Confiabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Maturidade técnica • Robustez
Usabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de reuso • Transparência e Clareza
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Mutabilidade • Capacidade de ser testada
Qualidade em uso	<ul style="list-style-type: none"> • Efetividade • Satisfação do usuário
Eficiência	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiência computacional

Fonte: ISO 9126 (2000); Fernandez-Breis et al. (2009)

Com relação à avaliação da taxonomia das ontologias, outros métodos mais específicos devem ser utilizados. Existem diversos métodos que buscam avaliar um modelo ontológico em termos quantitativos e qualitativos. No entanto, como as ontologias apresentam uma grande variação em domínio, tamanho, propósito e linguagem e podem ser construídas tanto por especialistas como pessoas que não dominam um determinado assunto, não é possível estabelecer um método global de avaliação (BILGIN et al., 2004). Dessa maneira, alguns métodos para avaliação da taxonomia de ontologias serão descritos em seguida.

O método OntoMetric tem por objetivo auxiliar engenheiros a escolher a ontologia mais apropriada para um novo projeto. Assim, esse método pode ser utilizado para selecionar a ontologia mais adequada dentre várias alternativas ou avaliar a adequação de uma ontologia em particular para o projeto. Os critérios básicos de decisão desse método, chamados de dimensões, levam em consideração o conteúdo representado pela ontologia, a linguagem em que o modelo é implementado, a metodologia seguida para desenvolver a ontologia, as plataformas de

software utilizadas na construção da ontologia e os custos para se utilizar essa ontologia. Esse método deve ser utilizado após o lançamento da ontologia (HARTMANN et al., 2004).

Já os Métodos de Linguagem Natural promovem a avaliação do conteúdo das ontologias com relação às aplicações das linguagens naturais. Dessa maneira, esses métodos podem ser utilizados tanto para a população da ontologia (i.e., instâncias e conceitos extraídos de dados textuais na ontologia) como para criação de metadados semânticos (i.e., associação do texto com conceitos corretos no modelo). A métrica adotada nesses métodos deve ser capaz de mensurar quão bem o sistema detecta a presença de novas instâncias no texto e adiciona-os no local correto na ontologia. Cálculos de precisão, sensibilidade e erros devem ser realizados na avaliação. Assim, esse método deve ser utilizado nas etapas de pré-modelagem e modelagem da ontologia (HARTMANN et al., 2004).

O método OntoClean é baseado em uma noção filosófica para uma avaliação formal das estruturas taxonômicas de uma ontologia. Seu foco está na construção de taxonomias limpas. Esse método contém axiomas que podem ser implementados para avaliar a exatidão de uma dada taxonomia. O uso do OntoClean fornece percepções úteis dos modelos semânticos, no entanto, tais percepções não permitem inferir nada sobre as condições de uso da ontologia analisada. Deve ser implementado nas etapas de pré-modelagem e modelagem da ontologia (HARTMANN et al., 2004).

Existem também algumas ferramentas que são utilizadas na avaliação de ontologias. A ferramenta ODEval busca detectar inconsistências e redundâncias nas taxonomias conceituais da ontologia. Essa ferramenta usa um conjunto de algoritmos para detectar problemas e busca prevenir possíveis anomalias nas ontologias para a criação de sistemas mais confiáveis. O seu uso está relacionado à linguagem utilizada no desenvolvimento da ontologia, uma vez que para cada linguagem métodos diferentes de detecção de erros são aplicados. Além disso, a ferramenta ODEval auxilia na avaliação das ontologias sob a ótica da representação do conhecimento. Deve ser utilizada quando a ontologia é finalizada (HARTMANN et al., 2004).

Já a ferramenta OntoManager foi desenvolvida para fornecer os métodos de apoio para desenvolvedores de ontologias no gerenciamento e otimização dos modelos de acordo com as necessidades dos usuários. Uma de suas principais atividades é verificar como a ontologia satisfaz as necessidades percebidas dos usuários, obtendo-se então, uma visão aprofundada das perspectivas dos usuários sobre a ontologia e sua aplicação. Para isso, utiliza-se o modelo MAPE (Monitorar, Analisar, Planejar, Executar), o qual busca coletar os dados, analisá-los, criar um plano de ação e executá-lo criando um *loop* de uso que envolve usuários e

desenvolvedores. Essa ferramenta deve ser implementada quando a ontologia já estiver em uso (HARTMANN et al., 2004).

Com base nas características dos diversos métodos e ferramentas de avaliação de ontologias supracitados, percebe-se que o mais adequado para a avaliação da taxonomia da ontologia proposta por esta pesquisa é a ferramenta ODEval. Essa ferramenta foi selecionada pelo fato de ser implementada quando a ontologia já está finalizada, mas antes de seu lançamento. Além disso, ela deve ser utilizada na avaliação da representação do conhecimento gerado pela ontologia, observando a possível existência de inconsistências e redundâncias nas taxonomias. De acordo com Hartmann et al. (2004), a avaliação de uma ontologia utilizando o ODEval deve ser realizada pelos desenvolvedores da ontologia, buscando avaliar o seu conteúdo antes de colocá-la em prática. Por esse contexto, a ferramenta é a mais recomendada para novas ontologias, como a proposta neste trabalho.

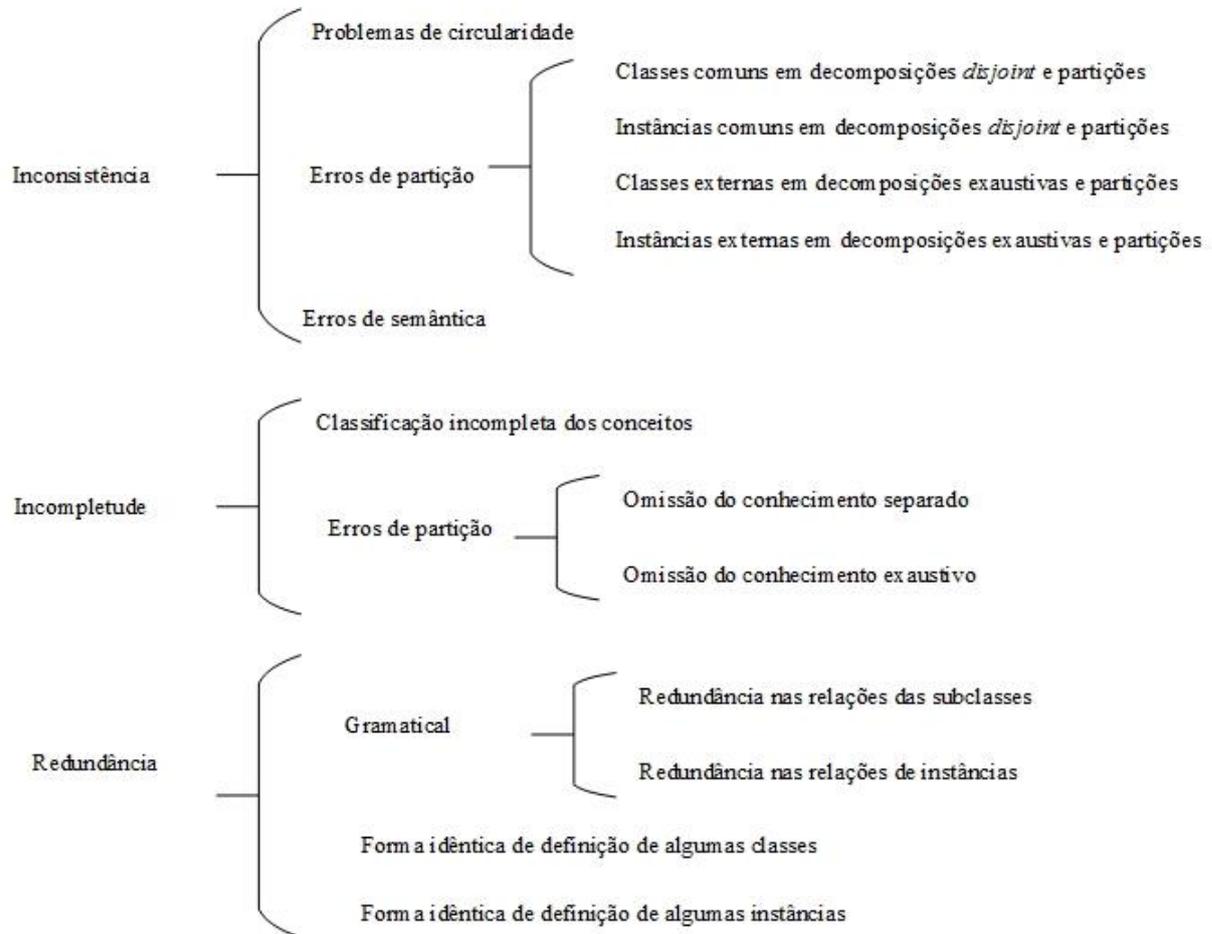
3.3.6 A Ferramenta ODEval

A Figura 9 apresenta um conjunto de potenciais problemas que podem surgir ao se avaliar a taxonomia de uma ontologia.

A ferramenta ODEval utiliza-se de algoritmos, baseados em teorias gráficas, para detectar possíveis inconsistências nos conceitos das taxonomias de uma ontologia. O conceito das taxonomias será considerado como o grafo $G(V, A)$, onde V é o conjunto de nós e A é o conjunto de arcos direcionado. Assim, os elementos incluídos nos conjuntos V e A são diferentes a depender da linguagem na qual a ontologia foi desenvolvida e no tipo de problema que se deseja detectar (CORCHO et al., 2004).

Nesta pesquisa, a ontologia foi desenvolvida em OWL, e, portanto, este será o enfoque da avaliação por meio do ODEval como realizado por Corcho et al. (2004). Em OWL, o conjunto V do grafo $G(V, A)$ deverá conter classes nomeadas e anônimas e instâncias. Já os arcos incluídos no conjunto A são as relações entre instâncias e classes. Assim, há uma busca por problemas de circularidade, observando-se o conjunto de arcos, e por erros de partição e redundância. No Protégé 5.2.0, a avaliação pelo ODEval ocorre por meio da ferramenta “*Debug Ontology...*”, a qual vai buscar quaisquer inconsistências na taxonomia do modelo.

Figura 9 - Potenciais problemas em taxonomias de ontologias



Fonte: Gómez-Pérez (2001)

A avaliação da ontologia desta pesquisa foi realizada tanto por critérios já definidos relacionados à qualidade e ao uso como em relação a taxonomia. Buscou-se então avaliar todos os aspectos relacionados a estrutura, qualidade e confiabilidade. Portanto, a taxonomia da ontologia foi avaliada pelo ODEval juntamente com a ferramenta “*Debug Ontology...*”, a qual busca inconsistências e redundâncias na ontologia. No entanto, aspectos ligados ao uso foram avaliados por meio da ISO 9126 (2000), o qual busca abranger diversos critérios de avaliação. Mais detalhes da avaliação da ontologia desenvolvida neste trabalho serão apresentados na seção 4.3.

3.3.7 Comunicação e Divulgação dos Resultados

A última etapa da abordagem metodológica *DSR* consiste na comunicação e divulgação dos resultados e análises obtidos por meio da pesquisa. Artigos relacionados aos resultados

desta pesquisa serão desenvolvidos e publicados em periódicos do assunto. Sabendo-se que o método desenvolvido neste trabalho pode trazer melhorias para a introdução dos conceitos ligados a *DfR* nas fases iniciais do PDP – e que este pode trazer avanços no grau de confiabilidade dos produtos e ganhos financeiros à empresa –, o assunto passa a ter relevância tanto para as áreas técnicas quanto gerenciais.

A ontologia desenvolvida neste trabalho possui também relevância no meio acadêmico, uma vez que abre oportunidade para outras pesquisas na área e apresenta caráter inovador no que se diz respeito aos estudos dos fatores externos para seleção de testes e melhoria na confiabilidade de motores de arranque. Por esse motivo, a comunicação dos resultados é importante para incentivar pesquisadores a conduzirem pesquisas similares ou mesmo para darem continuidade ao trabalho apresentado.

3.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Embora este trabalho tenha sido realizado de acordo com todas as etapas da metodologia *DSR*, existem algumas limitações relacionadas à etapa de desenvolvimento, demonstração e avaliação do artefato. Devido a limitações impostas pela empresa, muitas informações que seriam de extrema importância para a condução e sucesso da pesquisa não puderam ser disponibilizadas.

Dessa maneira, para a criação do modelo ontológico proposto neste trabalho, dois cenários hipotéticos tiveram de ser criados com o intuito de simular o uso de motores de arranque em campo e suas possíveis falhas. Portanto, para o processo de desenvolvimento da ontologia, as instâncias e propriedades relacionadas a esses cenários foram baseadas em informações presumidas. Tal fato também está relacionado à etapa de demonstração, uma vez que os resultados inferidos pelo modelo estão de acordo com os cenários criados.

Na etapa de avaliação, é importante ressaltar que apesar de o modelo ter sido examinado em termos de sua taxonomia e suas características de uso, ele não foi implementado na prática, o que impossibilita uma avaliação mais aprofundada da ontologia. Além disso, o editor Protégé 5.2.0 é uma ferramenta eficaz para desenvolvimento de ontologias simples e que não apresentem um grande volume de dados. Contudo, se o modelo ontológico passa a apresentar muitas informações e relações, o quesito eficiência computacional fica comprometido, pois o editor pode levar muito tempo para realizar as inferências e retornar os resultados das buscas.

O próximo capítulo descreve com mais detalhes os resultados obtidos a partir da implementação dos aspectos metodológicos no desenvolvimento do modelo ontológico proposto neste trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa, os quais são representados pelas entregas obtidas em cada etapa da abordagem *Design Science Research* descritas no procedimento metodológico.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E DEFINIÇÃO DOS RESULTADOS ESPERADOS

Conforme descrito na seção 3.3.1, a identificação do problema norteador desta pesquisa ocorreu pela após uma Revisão Bibliométrica (Apêndice A) sobre temas relacionados a este trabalho e pela identificação de oportunidades de pesquisa em uma empresa de tratores localizada em Curitiba.

De acordo com a seção 3.3.2, estabeleceu-se que o resultado esperado para esta pesquisa seria um método mais genérico que pudesse realizar recomendações de testes de acordo com o perfil de uso e do cenário. Adicionalmente, a solução proposta deveria ser capaz de indicar qual o motor de arranque utilizar a partir da especificação das interações que o trator pudesse apresentar com o ambiente. Portanto, a ontologia desenvolvida poderá orientar as equipes voltadas para o desenvolvimento de motores de arranque nas etapas iniciais do projeto, quando será possível determinar as especificações e o plano de testes desse equipamento.

A próxima seção descreve com mais detalhes como foi realizado o desenvolvimento da ontologia proposta seguindo os aspectos metodológicos descritos na seção 3.3.3.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO MODELO ONTOLÓGICO

Esta seção apresenta as atividades realizadas para desenvolvimento do modelo ontológico, conforme apresentado na seção 3.3.3, Desenvolvimento da Solução. No entanto, antes de ser iniciado o processo de desenvolvimento da solução, houve uma busca pelas ferramentas computacionais que pudessem auxiliar as equipes voltadas no PDP para o desenvolvimento de ontologias, como a proposta neste trabalho.

4.2.1 Ferramentas Computacionais para o Desenvolvimento de Ontologias

Existem diversas ferramentas computacionais disponíveis relacionadas ao desenvolvimento de modelos ontológicos. Muitos desses editores podem ser encontrados na

internet e acessados gratuitamente. No entanto, nem todos apresentam a mesma conveniência para os usuários e a possibilidade de serem utilizados em diferentes aplicações (ALATRISH, 2013).

As ferramentas computacionais mais utilizadas para a criação de ontologias são: Apollo, OntoStudio, Protégé, Swoop e TopBraid Composer Free Edition. A partir da comparação entre esses softwares, apresentada pelo Quadro 2, é possível perceber os principais motivos que sustentam a escolha do Protégé 5.2.0 como ferramenta para o desenvolvimento da ontologia desta pesquisa.

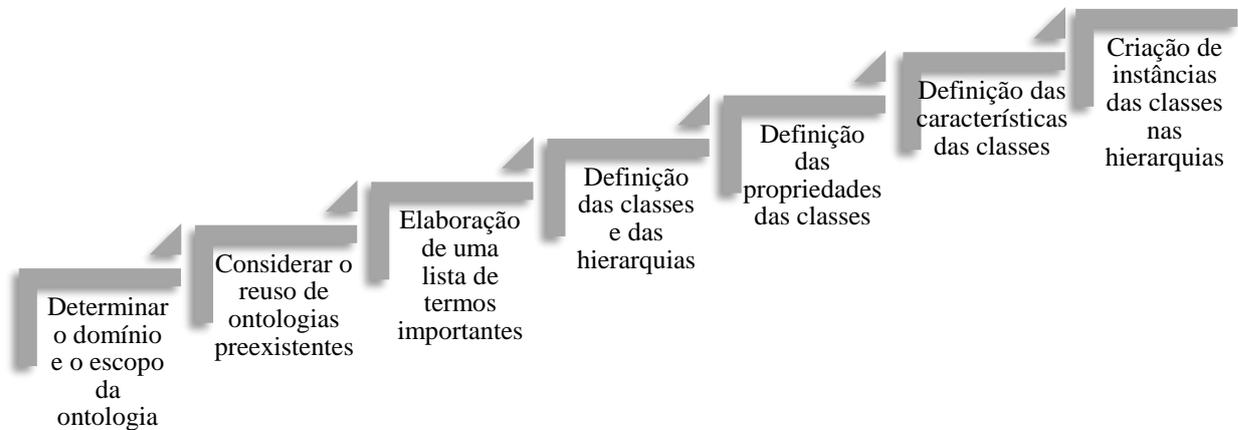
Além de ser uma ferramenta de código aberta, o Protégé 5.2.0 apresenta uma interface customizável e de fácil utilização pelos usuários. Entre suas principais vantagens, o software conta com ferramentas gráficas e mecanismos capazes de gerar inferências a partir do modelo criado. Dessa maneira, considerando os objetivos propostos por este trabalho, a disponibilidade do software e os mecanismos que ele apresenta, constatou-se que o Protégé 5.2.0 é o software mais recomendado para esta pesquisa.

Feita a instalação do software, o qual é disponibilizado *on-line* pela Stanford University (<https://protege.stanford.edu/>), deu-se início ao processo de construção da ontologia. Conforme a seção 3.3.3 intitulada Desenvolvimento da Solução, o método adotado para o desenvolvimento da solução proposta por esta pesquisa é o método 101. A construção do modelo ontológico seguindo as etapas deste método será descrita na seção a seguir.

4.2.2 A Construção do Modelo Ontológico pelo Método 101

Segundo o que foi apresentado na seção 3.3.3, o método para construção do modelo ontológico adotado nesta pesquisa é o método 101. Um resumo das principais etapas para o desenvolvimento de uma ontologia seguindo esse método pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10 - Resumo das atividades realizadas pelo método 101



Fonte: Adaptado de Noy e McGuinness (2001)

4.2.3 Determinação do Domínio e do Escopo da Ontologia

Conforme apresentado na Figura 10 e na seção 3.3.1 - Identificação do Problema e Motivação, a primeira etapa do método 101 consiste na determinação do domínio e escopo que serão representados pelo modelo ontológico. A definição do domínio ocorreu a partir de informações e documentos fornecidos pela empresa, por meio dos quais verificou-se que há inconsistências no plano de testes de motores de arranque de uma determinada linha de tratores, uma vez que esses itens têm apresentado falhas quando colocados em campo. A partir dessas informações, definiu-se o escopo da pesquisa, isto é, o que se pretende alcançar com a ontologia desenvolvida. Estipulou-se que a ontologia criada deve ser capaz de orientar equipes voltadas para o PDP na delimitação do plano de testes dos motores de arranque, de acordo com as condições e o perfil de uso do trator para melhoria da confiabilidade desse equipamento.

Perante o exposto, e pela falta de informações significativas fornecidas pela empresa acerca do perfil das falhas dos motores de arranque e dos cenários de uso, criaram-se dois cenários hipotéticos de uso do motor de arranque. Tais cenários foram fundamentais para a delimitação das questões de competência relacionadas ao modelo ontológico. Assim, para demonstração e avaliação do modelo proposto, foi necessário realizar uma análise, tanto dos cenários como das questões propostas.

De acordo com os manuais fornecidos pela empresa, os motores de arranque, os quais são responsáveis por acionar o motor dos tratores, ficam localizados em uma posição protegida dentro do veículo. Mesmo assim, esses itens podem ser submetidos a elementos presentes no ambiente externo, tais como matéria orgânica, chuva, neve, poeira, altas temperaturas, além de substâncias químicas e água provenientes de pulverização. Conforme descrito nos requisitos eletromecânicos, a presença de poeira e água podem comprometer o bom funcionamento desses equipamentos.

Diante dessas informações, definiu-se que, dentre os diversos testes que podem ser realizados pela empresa, os testes voltados para alta temperatura, ingresso de poeira, resistência química e umidade seriam selecionados para análise pela ontologia. Nessa perspectiva, foram definidas também as características de dois cenários hipotéticos de uso dos motores que poderiam ter alguma influência nos testes sugeridos.

O primeiro cenário está relacionado ao uso de tratores em plantações de cana-de-açúcar em lavouras da região central de São Paulo. Essa região foi escolhida por ser uma das regiões que mais cultivam canaviais no Brasil. Já o segundo cenário descrito está ligado ao uso de tratores no cultivo de soja. A região representada por este cenário é o oeste do Paraná, uma das regiões brasileiras mais importantes na produção desse grão. Após a seleção desses dois cenários, foi realizada uma caracterização desses ambientes de acordo com as características físicas e geográficas de cada região. Tais informações podem ser encontradas no Quadro 5.

Quadro 5 - Cenários hipotéticos para criação da ontologia

	Cenário 1	Cenário 2
Localização	Centro do estado de São Paulo	Oeste do estado do Paraná
Produto final	Cana de açúcar	Soja
Temperatura máxima	40°C	30°C
Temperatura média	25°C	20°C
Temperatura mínima	19°C	7°C
Precipitação média	121mm	150mm
Umidade relativa do ar média	75%	45%
Tipo de solo	Latossolo Roxo (mais úmido)	Latossolo Vermelho (mais seco)
Intensidade de radiação solar	4,98 KWh/m ²	4,80 KWh/m ²

Fonte: O próprio autor

Assim, analisando as informações acerca do motor de arranque e sobre os cenários descritos, foi possível definir as questões de competência que serviram de suporte ao desenvolvimento do modelo ontológico:

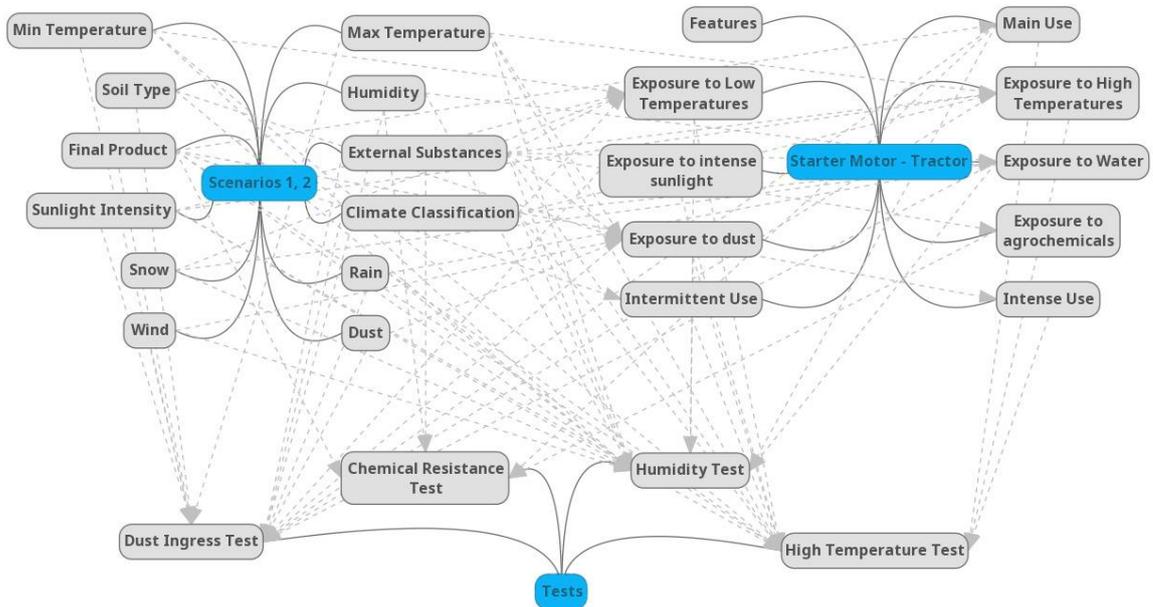
- Qual o motor de arranque mais recomendado para ser utilizado em um determinado cenário, observando-se os testes de confiabilidade aos quais este motor é submetido?
- Quais os testes de confiabilidade devem ser obrigatoriamente realizados em um motor de arranque de trator que irá atuar na cultura de um produto final específico?
- Qual o melhor procedimento para realização destes testes?

Uma busca por modelos ontológicos já existentes para o plano de testes e confiabilidade de motores de arranque foi realizada nas bibliotecas disponíveis na internet (DAML Ontology Library, 2017; DMOZ, 2017). Pelo fato de esta ser uma ontologia específica para um determinado fim e por não haver modelos de natureza similar disponíveis, a segunda etapa do método 101 – “considerar o reuso de ontologias preexistentes” – não pôde ser satisfeita, e dessa maneira, o desenvolvimento de um modelo completo deveria ser realizado. Sendo assim, o próximo estágio para o desenvolvimento do modelo ontológico refere-se à enumeração de termos importantes que seriam utilizados na ontologia.

4.2.4 Elaboração de Lista de Termos Importantes para a Ontologia

Sabendo-se que uma ontologia é uma representação de termos e taxonomias, a enumeração dos possíveis itens presentes no modelo é de grande importância para se verificar as possíveis relações e classificações que podem existir entre os elementos. Foi realizado um mapa mental com palavras e conceitos relacionadas ao domínio da ontologia. O conhecimento das relações existentes entre os indivíduos presentes na lista vai permitir que as entidades da ontologia como classes, propriedades e indivíduos sejam posteriormente criadas. A Figura 11 é uma representação da relação de ideias e conceitos presentes no modelo ontológico a ser desenvolvido, como será observado nas etapas posteriores.

Figura 11 - Mapa mental dos conceitos relacionados ao domínio da ontologia



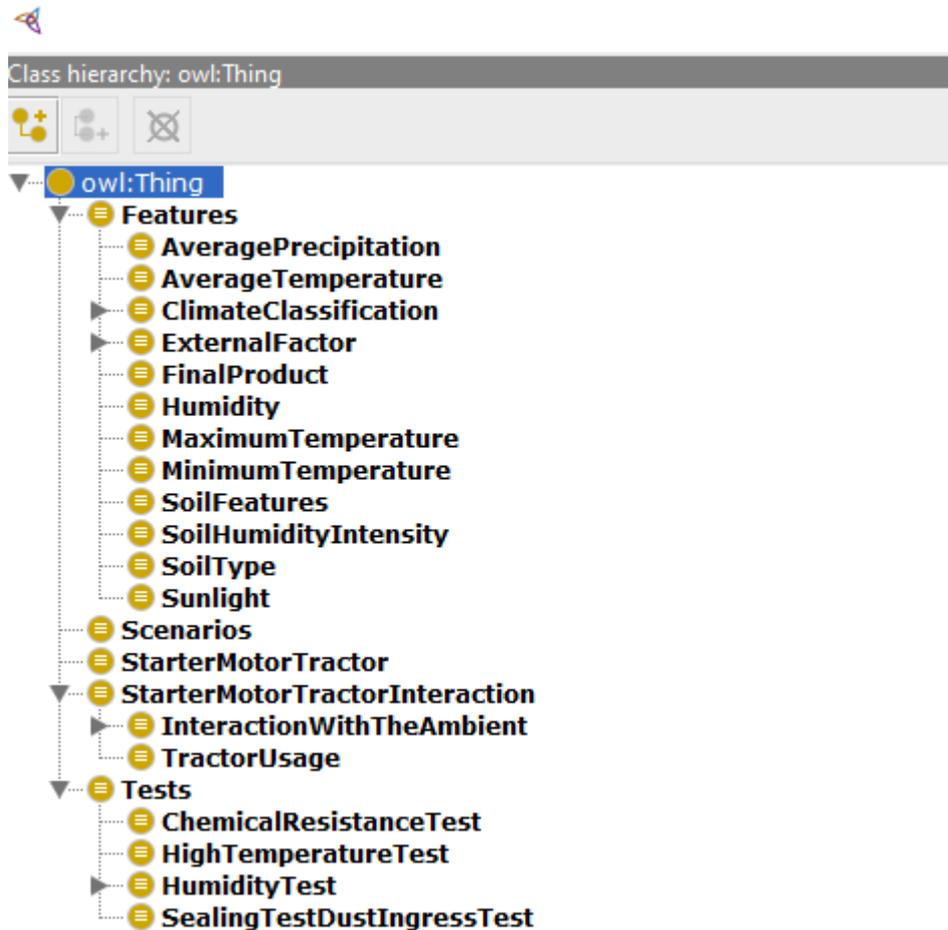
Fonte: O próprio autor

4.2.5 Definição de Classes e Hierarquias

Após a enumeração de termos e relações inseridos no domínio proposto para o modelo ontológico em utilização neste trabalho, iniciou-se o processo de definir as classes e hierarquias da ontologia. O processo de desenvolvimento *top-down*, o qual inicia-se pela determinação de classes mais genéricas até as mais específicas, foi adotado. Para isso, o editor de ontologia Protégé 5.2.0 foi utilizado com o objetivo de se definir as taxonomias do modelo. Assim, as seguintes classes foram criadas: *Features*, *Scenarios*, *StarterMotorTractor*, *StarterMotorTractorInteraction* e *Tests*. A Figura 12 apresenta uma representação da taxonomia do modelo com as classes e subclasses.

A classe *Features* contém todas as características relacionadas aos cenários nos quais os motores de arranque estão inseridos. Assim, informações ligadas ao ambiente externo e ao produto final encontram-se nessa classe. É na classe *Scenarios* que houve uma descrição dos cenários de uso dos tratores a partir das características da classe *Features*. Assim, dois cenários hipotéticos de uso do produto foram criados na forma de indivíduos

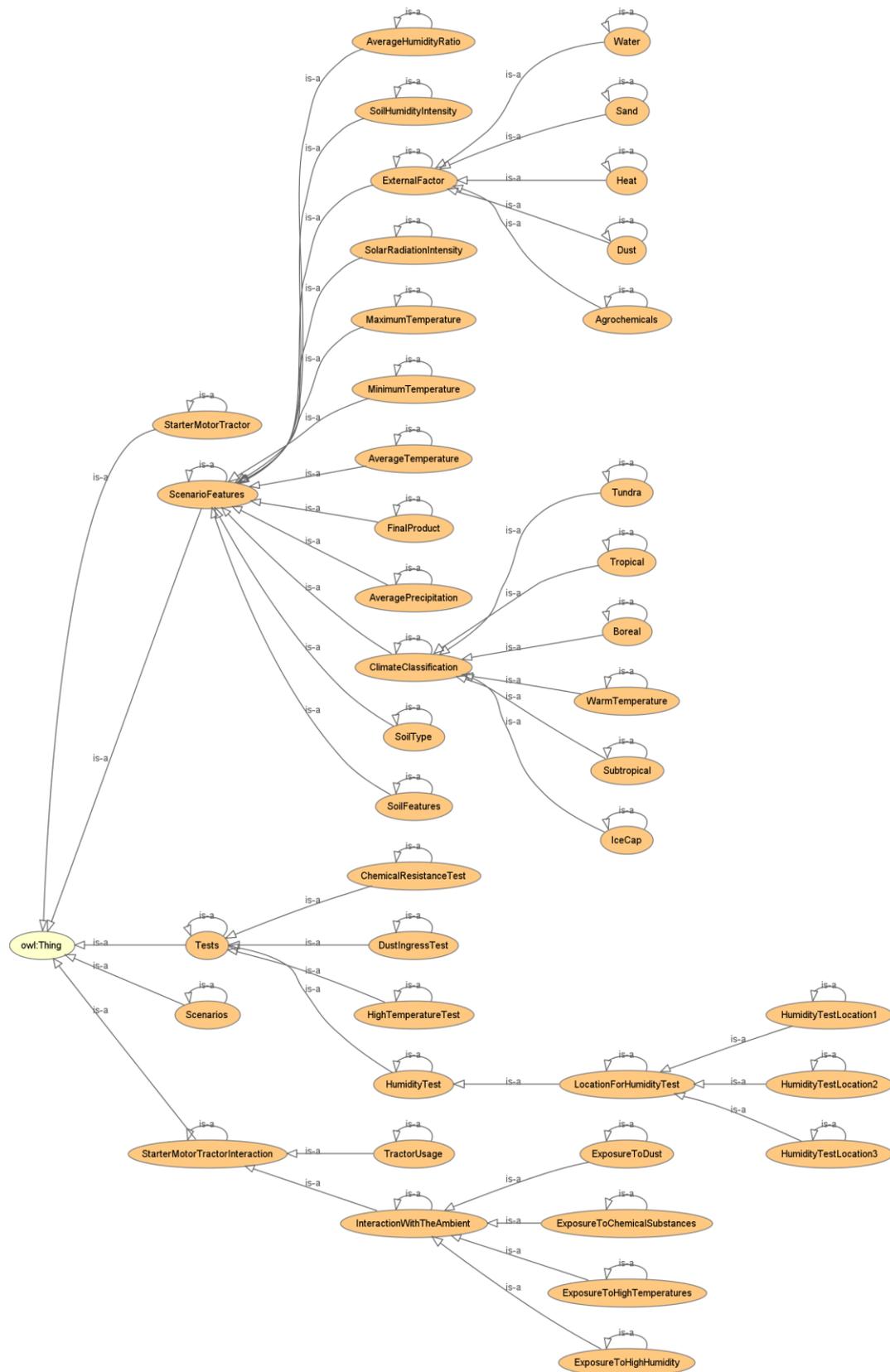
Figura 12 - Taxonomia de classes do modelo de ontologia proposto no editor Protégé 5.2.0



Fonte: O próprio autor

A classe `StarterMotorTractor` apresenta os dois motores de arranque que foram criados para o modelo na forma de indivíduos. Esses motores estão inseridos em cenários diferentes, e, portanto, estão submetidos a diferentes interações com o ambiente. Tais interações estão descritas na classe `StarterMotorTractorInteraction`, na qual tanto informações relacionadas à interação com o ambiente que os motores possuem como características de uso do trator são representadas. Por último, a classe `Tests` contém os testes que os motores de arranque recebem de acordo com o uso e com as interações que eles possuem com o ambiente ao qual eles estão submetidos. Utilizando-se o *plug-in* OWLviz do Protégé 5.2.0, é possível gerar uma representação gráfica das classes e subclasses da hierarquia do modelo desenvolvida. Assim, uma representação completa da ontologia pode ser visualizada na Figura 13. Nesta imagem, todas as classes e subclasses estão hierarquicamente representadas.

Figura 13 - Representação gráfica gerada pelo plug-in OWLViz



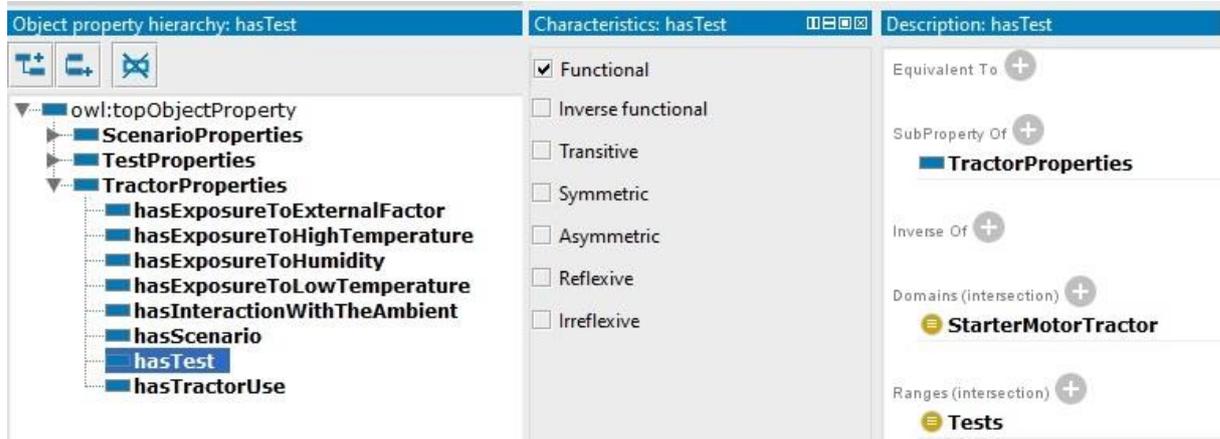
Fonte: O próprio autor

4.2.6 Definição das Propriedades e Características das Classes e Criação de Instâncias

Esta seção descreve as três últimas etapas do método 101, quando as propriedades e características das classes são definidas e, por conseguinte, ocorre a criação de instâncias das classes. Essa descrição combinada das últimas etapas tem por finalidade facilitar o entendimento acerca destas etapas da pesquisa, uma vez que as atividades realizadas em cada um desses estágios não ocorrem em separado.

A partir da hierarquia de classes e subclasses apresentada na seção 4.2.5, foi necessário definir as propriedades de objeto bem como as propriedades de dados. As propriedades de objeto são importantes para relacionar objetos (instâncias de classes ou elementos do domínio) a outros objetos (STAAB; STUDER, 2009, p.97). Um exemplo de propriedade de objeto pode ser encontrado na Figura 14. Neste exemplo, a propriedade apresentada é `hasTest`, a qual possui como domínio a classe `StarterMotorTractor` (a qual contém as instâncias que recebem os testes) e como *range* a classe `Tests` (uma vez que todos os testes disponíveis estão inseridos nesta classe).

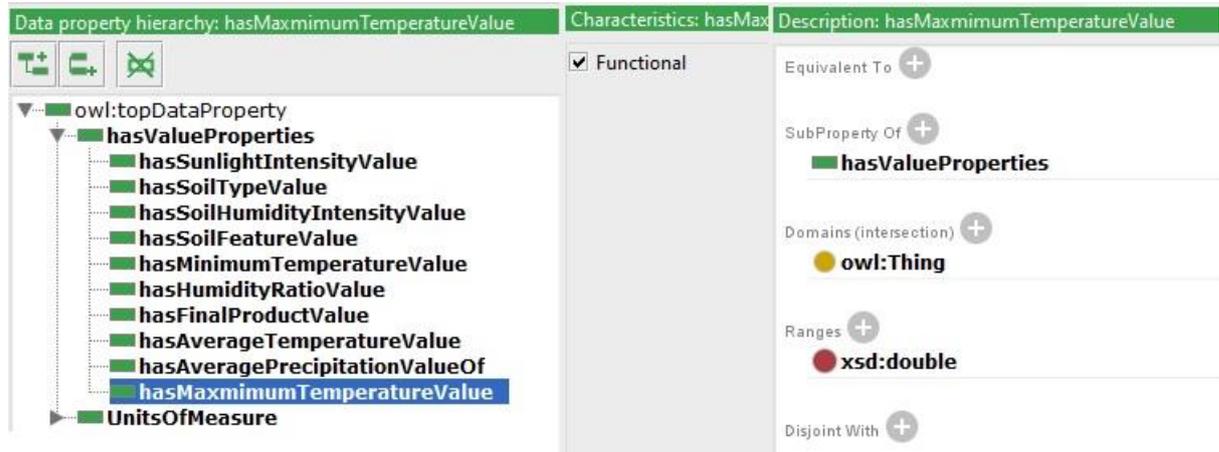
Figura 14 - Exemplo de propriedade de objeto – `hasTest`



Fonte: O próprio autor

Já as propriedades de dados são importantes para relacionar objetos a valores de tipos de dados (STAAB; STUDER, 2009, p.97). A Figura 15 ilustra a propriedade de dados `hasMaximumTemperatureValue`. Neste exemplo, o *range* foi determinado como `double`, o qual é um tipo de dados que representa valores reais que apresentem casas decimais. Para o caso dessa propriedade, ela também é classificada como *Functional*, uma vez que cada objeto pode receber somente um valor de temperatura máxima.

Figura 15 - Exemplo de propriedade de dados – `hasMaximumTemperatureValue`



Fonte: O próprio autor

Baseado na especificação das propriedades, é possível apresentar cada classe do modelo com mais detalhes. A classe intitulada `ScenarioFeatures` contém todas as características que devem descrever os cenários. Tal representação ocorre por meio dos dados contidos nas subclasses: `AveragePrecipitation`, `AverageTemperature`, `AverageHumidityRatio`, `ClimateClassification`, `ExternalFactor`, `FinalProduct`, `MaximumTemperature`, `MinimumTemperature`, `SoilFeatures`, `SoilHumidityIntensity`, `SoilType`, `SolarRadiationIntensity`.

A Figura 16 demonstra como os atributos contidos em cada uma das subclasses foram utilizados para caracterização dos climas. Neste exemplo, caracterizou-se o clima subtropical a partir dos atributos externos do ambiente. Assim, neste clima considerou-se que a precipitação média mensal é um valor entre 50mm e 154mm, a temperatura média é um valor entre 8,0°C e 30,0 °C, a temperatura máxima está em um intervalo de 22,1°C a 35 °C, a temperatura mínima entre 1,0°C e 15,0 °C e a umidade relativa do ar média é maior que 60%.

A classe `Scenarios` foi construída para definir os cenários nos quais os tratores (e motores de arranque) podem operar. Assim, indivíduos foram criados nesta classe, os quais receberam informações sobre o ambiente externo e as condições geográficas dos locais. As subclasses `ClimateClassification` e `ExternalFactor` não caracterizam diretamente os indivíduos dos cenários e, a partir das demais informações descritas (e.g. temperatura máxima, umidade, precipitação), o *reasoner* utilizado no Protégé 5.2.0 é capaz de inferir a classificação dos cenários de acordo com a condição climática e indicar quais os possíveis fatores externos (e.g. poeira, água, calor) presentes em cada um deles.

Figura 16 - Definição da Subclasse `ClimateClassification` - `Subtropical`

The screenshot shows an ontology editor interface. On the left, a class hierarchy is displayed under 'owl:Thing', with 'Subtropical' selected under 'ClimateClassification'. On the right, the 'Description: Subtropical' pane shows the following logical definition:

```

Equivalent To +
  (hasAveragePrecipitationValueOf some (xsd:double[>=
    "50.0"^^xsd:double] and xsd:double[<= "154.0"^^xsd:double]))
  and (hasAverageTemperatureValue some (xsd:double[>=
    "8.0"^^xsd:double] and xsd:double[<= "30.0"^^xsd:double]))
  and (hasHumidityRatioValue some xsd:double[>
    "60.0"^^xsd:double])
  and (hasMaximumTemperatureValue some (xsd:double[>=
    "22.1"^^xsd:double] and xsd:double[<= "35.0"^^xsd:double]))
  and (hasMinimumTemperatureValue some (xsd:double[>=
    "1.0"^^xsd:double] and xsd:double[<= "15.0"^^xsd:double]))
  
```

Below the definition, it is noted as a 'SubClass Of' for 'ClimateClassification'.

Fonte: O próprio autor

Pode-se verificar pela Figura 17 que a descrição da classe `Scenarios` envolve todos atributos da classe `ScenarioFeatures`. Assim, um cenário possui um clima específico, os elementos externos presentes no ambiente, o produto final que é plantado, o tipo de solo, as características do ambiente externo e recebe também, um dos motores de arranque descritos para operar sob essas condições. Já a Figura 18 representa um dos indivíduos da classe `Scenarios` e suas características. Pode-se perceber, pelos itens grifados em amarelo, que tanto a classificação climática e como os fatores externos são inferidos pelo editor. Neste exemplo, a partir das características do cenário, o *reasoner* foi capaz de inferir o clima do ambiente como `Tropical`, além de identificar os fatores externos `Heat` (calor) e `Dust` (poeira).

Figura 17 - Descrição da classe `Scenarios`

The screenshot shows an ontology editor interface. On the left, a class hierarchy is displayed under 'owl:Thing', with 'Scenarios' selected under 'ScenarioFeatures'. On the right, the 'Description: Scenarios' pane shows the following logical definition:

```

Equivalent To +
  (ReceivesStarterMotorTractor some StarterMotorTractor)
  and (hasClimateClassification some ClimateClassification)
  and (hasExternalFactor some ExternalFactor)
  and (hasFinalProduct some FinalProduct)
  and (hasSoilType some SoilType)
  and (hasAveragePrecipitationValueOf some xsd:double)
  and (hasAverageTemperatureValue some xsd:double)
  and (hasHumidityRatioValue some xsd:double)
  and (hasMaximumTemperatureValue some xsd:double)
  and (hasMinimumTemperatureValue some xsd:double)
  and (hasSunlightIntensityValue some xsd:double)
  
```

Fonte: O próprio autor

Figura 18 - Representação de um indivíduo da classe `Scenarios` - `Scenario1_SugarCaneSaoPaulo`

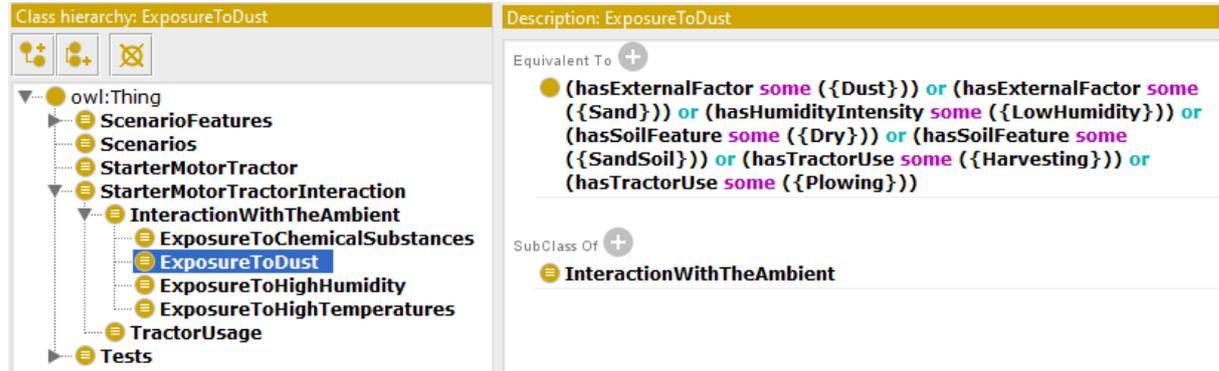
Instances: Scenario1_SugarCaneSaoPaulo	Description: Scenario1_SugarCaneSaoPaulo	Property assertions: Scenario1_SugarCaneSaoPaulo
For: Scenarios Scenario1_SugarCaneSaoPaulo Scenario2_SoyBeansParana	Types Scenarios Dust Heat Tropical	Object property assertions hasMaximumTemperature 40dC hasHumidityRatio 45PerCent hasFinalProduct SugarCane ReceivesStarterMotorTractor StarterMotorTractor1 hasMinimumTemperature 19dC hasSoilType RedLatosol hasAverageTemperature 25dC hasAveragePrecipitation 121mm hasSunlightIntensity 4.98KWh/m2

Fonte: O próprio autor

A classe `StarterMotorTractorInteraction` foi criada a fim de representar a interação dos motores de arranque com os cenários. Tais interações estão relacionadas tanto à exposição ao ambiente como às interações relacionadas ao uso. Assim, duas subclasses foram inseridas: `InteractionWithTheAmbient` e `TractorUsage`. A primeira delas corresponde à identificação do tipo de interação à qual o motor de arranque vai ser submetido no cenário de uso do trator (e.g. exposição a substâncias químicas, exposição a poeira, exposição a alta umidade, exposição a altas temperaturas). Já a segunda define as atividades nas quais o trator estará envolvido, a depender do produto final no meio agrícola (e.g. colheita, aragem da terra, pulverização de produtos químicos, pulverização de água/irrigação). A Figura 19 representa uma das interações que o motor de arranque pode receber com o cenário de uso. Neste exemplo, caso o ambiente apresente `Dust` (poeira) ou `Sand` (areia), ou `LowHumidity` (baixa umidade) ou um solo caracterizado como `Dry` (seco) ou um solo do tipo `SandSoil` (arenoso) ou o trator neste ambiente seja utilizado para `Harvesting` (colheita) ou `Plowing` (aragem da terra), será possível inferir que o motor de arranque recebe uma exposição à poeira.

A classe `Tests` foi desenvolvida com o intuito de se descrever os testes que são avaliados no modelo. A depender das condições externas às quais o motor de arranque será submetido, este deverá, obrigatoriamente, passar pelos testes recomendados. Quatro testes foram selecionados para representação do modelo: teste de resistência química (`ChemicalResistanceTest`), teste de alta temperatura (`HighTemperatureTest`), teste de umidade (`HumidityTest`) e teste para ingresso de poeira (`DustIngressTest`).

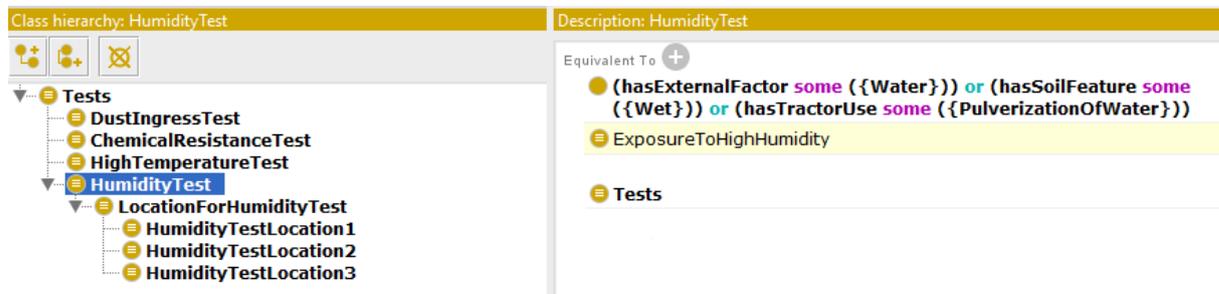
Figura 19 - Representação de uma interação que o equipamento pode ter com o ambiente – ExposureToDust



Fonte: O próprio autor

A Figura 20 traz uma representação do teste de umidade. Neste exemplo, caso o trator esteja submetido ao fator externo Water (água), ou o solo seja caracterizado como Wet (úmido) ou o trator seja utilizado para PulverizationOfWater (pulverização de água), o motor de arranque deverá ser submetido ao teste de umidade. Percebe-se pela parte grifada em amarelo que o *reasoner* é capaz de inferir que, caso o trator esteja submetido a alguma dessas características ele possui uma exposição a alta umidade (ExposureToHighHumidity).

Figura 20 - Representação do teste de umidade



Fonte: O próprio autor

Nesse exemplo, os cenários devem ser classificados de acordo com a umidade do local a fim de se determinar os critérios e procedimentos específicos para o teste, conforme descrito no manual da empresa. Para o caso de o motor de arranque estar submetido a uma umidade relativa do ar média abaixo de 50%, os procedimentos do teste são equivalentes aos do HumidityTestLocation1, no caso de um valor intermediário (entre 50% e 70%) são os procedimentos do HumidityTestLocation2 e uma umidade relativa do ar média acima de 70% corresponde ao HumidityTestLocation3. Os procedimentos de cada um desses testes podem ser visualizados no Quadro 6. Tais procedimentos diferem entre si na etapa 3, quando a temperatura máxima de exposição varia de acordo com o local de testes.

Quadro 6 - Descrição dos locais para teste de umidade

Classificação do Local do Teste	Umidade Relativa do ar média	Procedimentos
HumidityTestLocation1	($H < 50\%$)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Expor o motor desligado a 96% de umidade relativa do ar e 38-42 °C por 240h. 2. Seguir as especificações do teste, conforme determinado pela ISO 16750-4 3. Expor o motor a um ambiente de -40°C por 2h, 100°C e 96% de umidade relativa do ar por 15h e 4h a temperatura e umidade ambiente.
HumidityTestLocation2	($50\% \leq H < 70\%$)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Expor o motor desligado a 96% de umidade relativa do ar e 38-42 °C por 240h. 2. Seguir as especificações do teste, conforme determinado pela ISO 16750-4 3. Expor o motor a um ambiente de -40°C por 2h, 95°C e 96% de umidade relativa do ar por 15h e 4h a temperatura e umidade ambiente.
HumidityTestLocation3	($H \geq 70\%$)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Expor o motor desligado a 96% de umidade relativa do ar e 38-42 °C por 240h. 2. Seguir as especificações do teste, conforme determinado pela ISO 16750-4 3. Expor o motor a um ambiente de -40°C por 2h, 85°C e 96% de umidade relativa do ar por 15h e 4h a temperatura e umidade ambiente.

Fonte: Adaptado do manual de testes da empresa

A última classe, *StarterMotorTractor*, é uma representação do objeto de estudo desta pesquisa. O motor de arranque é descrito nesta classe de acordo com as características de uso no cenário designado. Dois indivíduos foram criados, cada qual relacionado a um cenário. Dessa maneira, cada um dos indivíduos deve ser submetido a diferentes testes, de acordo com o local e o tipo de uso. Assim, conforme as características e condições de uso, o *reasoner* Pellet utilizado no Protégé 5.2.0 é capaz de inferir quais são as interações com o ambiente que o motor de arranque possui, bem como os testes aos quais este equipamento deve ser submetido. A Figura 21 é uma representação de um dos indivíduos caracterizados e das inferências realizadas (grifadas em amarelo) pelo editor.

Figura 21 - Representação de um indivíduo da classe *StarterMotorTractor* - *StarterMotorTractor2*

The screenshot shows the Protégé ontology editor interface. At the top, it displays 'Instances: StarterMotorTractor2', 'Description: StarterMotorTractor2', and 'Property assertions: StarterMotorTractor2'. Below this, there are three main panels:

- For:** StarterMotorTractor
 - StarterMotorTractor1
 - StarterMotorTractor2 (selected)
- Types:**
 - StarterMotorTractor
 - ChemicalResistanceTest
 - DustIngressTest
 - ExposureToChemicalSubstances
 - ExposureToDust
 - ExposureToHighHumidity
 - HumidityTest
- Object property assertions:**
 - hasTractorUse PulverizationOfWater
 - hasTractorUse Harvesting
 - IsRelatedToScenario Scenario2_SoyBeansParana
 - hasTractorUse PulverizationOfChemicals
 - TractorProperties PulverizationOfWater
 - TractorProperties Scenario2_SoyBeansParana
 - TractorProperties PulverizationOfChemicals
 - TractorProperties Harvesting

Fonte: O próprio autor

Ao longo do desenvolvimento do modelo, ocorreram diversas mudanças com relação à taxonomia, propriedades e indivíduos com o intuito de melhor representar o domínio desta pesquisa. Com o objetivo de se realizar uma verificação de inconsistências e para execução de inferências no Protégé 5.2.0, um *reasoner* foi utilizado. Segundo Staab e Studer (2009, p.107), os *reasoners* devem ser utilizados para checar a consistência de uma ontologia em OWL, i.e., verificar se há quaisquer contradições lógicas nos axiomas do modelo. Além disso, os *reasoners* podem servir para a derivação de inferências a partir de informações adicionadas no modelo, i.e., inferir se um indivíduo particular em uma ontologia pertence a uma classe específica.

Dessa maneira, o *reasoner* Pellet foi utilizado durante todo o processo de construção da ontologia para verificação de inconsistências. Além disso, a ferramenta “*Debug Ontology...*” (*Tools>Debug Ontology...*) foi utilizada para identificação das inconsistências para posterior correção. Ao fim da construção do modelo, nenhuma inconsistência foi encontrada. Além disso, as informações grifadas com fundo amarelo, como podem ser verificadas nas Figuras 18, 20 e 21 apresentadas anteriormente, são inferências realizadas pela máquina de inferência Pellet. Haja vista a importância do uso do *reasoner*, a realização de inferências e a possibilidade de compreender relações existentes entre indivíduos ou classes a partir de outras informações pré-determinadas faz com que os modelos ontológicos sejam considerados ferramentas úteis para um domínio peculiar (AHLERS et al., 2016).

Com a conclusão das etapas propostas pelo método 101, o modelo ontológico deve estar operando efetivamente para responder as questões de competências previamente especificadas. A próxima seção corresponde a quarta etapa abordagem metodológica *DSR*, a qual fundamenta-se em demonstrar a solução proposta. No caso da ontologia proposta nesta pesquisa, algumas buscas foram elaboradas com o objetivo de se verificar se o modelo é capaz de responder as questões de competência determinadas.

4.2.7 Demonstração da Solução Proposta

Para demonstrar a solução proposta nesta pesquisa, algumas buscas foram executadas na ontologia. Para tal, o *plug-in* Snap-SPARQL do Protégé 5.2.0 foi utilizado, pois, de acordo com Horridge e Musen (2016), este *plug-in* apresenta diversas ferramentas e funções que auxiliam os usuários na construção de buscas. Além disso, o Snap-SPARQL pode ser efetivamente utilizado para ontologias em OWL, realizando uma interação com os demais *reasoners* do Protégé 5.2.0. Dessa maneira, *queries* foram desenvolvidas na linguagem SPARQL visando a obtenção das informações almeçadas.

Segundo Grüninger e Fox (1995), o desenvolvimento de ontologias é motivado pelas aplicações que elas podem ter em diferentes cenários. Os cenários geralmente são apresentados na forma de problemas ou exemplos que não sejam solucionados por ontologias já existentes. Dessa maneira, o uso dos cenários possibilita o entendimento da motivação e da aplicação da ontologia criada.

Diante disso, dois cenários fictícios de aplicação dos motores de arranque foram desenvolvidos. A partir desses contextos, algumas buscas foram realizadas a fim de se verificar se o modelo seria capaz de solucionar os problemas estabelecidos dentro do domínio desta pesquisa. Tais buscas foram elaboradas a partir das questões de competência definidas no início da etapa de desenvolvimento da solução.

4.2.8 Buscas Realizadas (*Queries*)

As buscas (*queries*) realizadas nesta ontologia procuraram identificar se a ontologia desenvolvida seria capaz de retornar com as informações previamente estabelecidas. Conforme Grüninger e Fox (1995), *queries* podem ser considerados requisitos na forma de questões que a devida ontologia deve ser capaz de responder. A realização de buscas em uma ontologia proporciona uma avaliação inicial do modelo, uma vez que é possível determinar se as questões de competência podem ser solucionadas.

As buscas realizadas nesta pesquisa ocorreram no *plug-in* Snap-SPARQL do Protégé 5.2.0. As primeiras *queries* foram mais simples, para identificar um indivíduo a partir de determinada característica. Conforme Staab e Studer (2009, p. 502) uma *query* é composta de duas partes SELECT e WHERE. A primeira parte é responsável por especificar a projeção, i.e., as variáveis que devem ser extraídas como resultado das buscas. A segunda parte, WHERE, corresponde às restrições que devem estar presentes nas possíveis soluções da busca.

A *query* ilustrada na Figura 22, corresponde a um exemplo de busca simples que visa encontrar o motor de arranque mais apropriado para uso de acordo com as interações com o ambiente especificadas. Haja visto que dois indivíduos relacionados a motores de arranque foram criados, cada um recebendo testes diferentes, é esperado que eles sejam recomendados para uso em diferentes condições. O resultado obtido a partir desta *query* está relacionado ao motor de arranque que deve ser utilizado em um ambiente onde haja exposição a altas temperaturas e exposição a substâncias químicas.

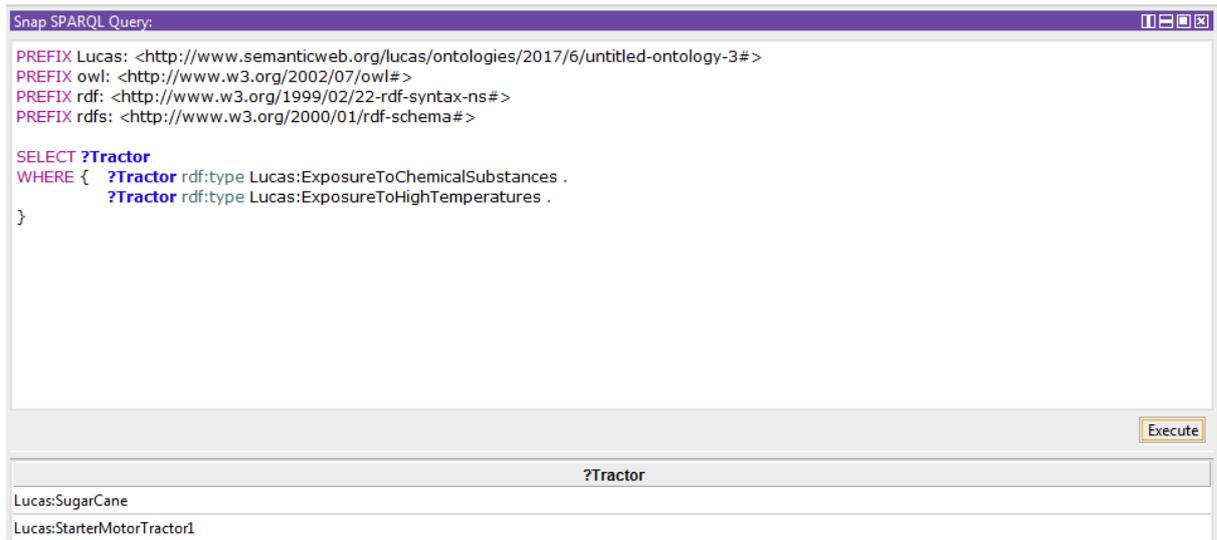
```

PREFIX Lucas: <http://www.semanticweb.org/lucas/ontologies/2017/6/untitled-ontology-3#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

SELECT ?Tractor
WHERE {
    ?Tractor rdf:type Lucas:ExposureToChemicalSubstances .
    ?Tractor rdf:type Lucas:ExposureToHighTemperatures .
}

```

Figura 22 - Resultado de busca de motor de arranque a partir da interação com o ambiente



Fonte: O próprio autor

Como pode ser observado neste exemplo, para uma situação em que o trator seja exposto a substâncias químicas (*ExposureToChemicalSubstances*) e a altas temperaturas (*ExposureToHighTemperatures*), é recomendado que o motor de arranque 1 (i.e., *StarterMotorTractor1*) seja utilizado. Isso ocorre, pois, testes de resistência a altas temperaturas e resistência química são feitos neste item, tornando-o o mais recomendado para ocasiões em que ocorram essas interações.

A próxima busca é semelhante à anterior. No entanto, ao invés de se recomendar qual o motor de arranque mais apropriado a partir da interação com o ambiente em termos de exposição a fatores externos, a recomendação será dada a partir do tipo de uso do trator. Neste exemplo, a *query* procura identificar qual motor de arranque deve ser utilizado em um trator que será utilizado para aragem da terra (*Plowing*) e para pulverização de produtos químicos (*PulverizationOfChemicals*). Esta busca pode auxiliar equipes de marketing na indicação do trator mais adequado para usos específicos. A Figura 23 representa a resposta dessa busca.

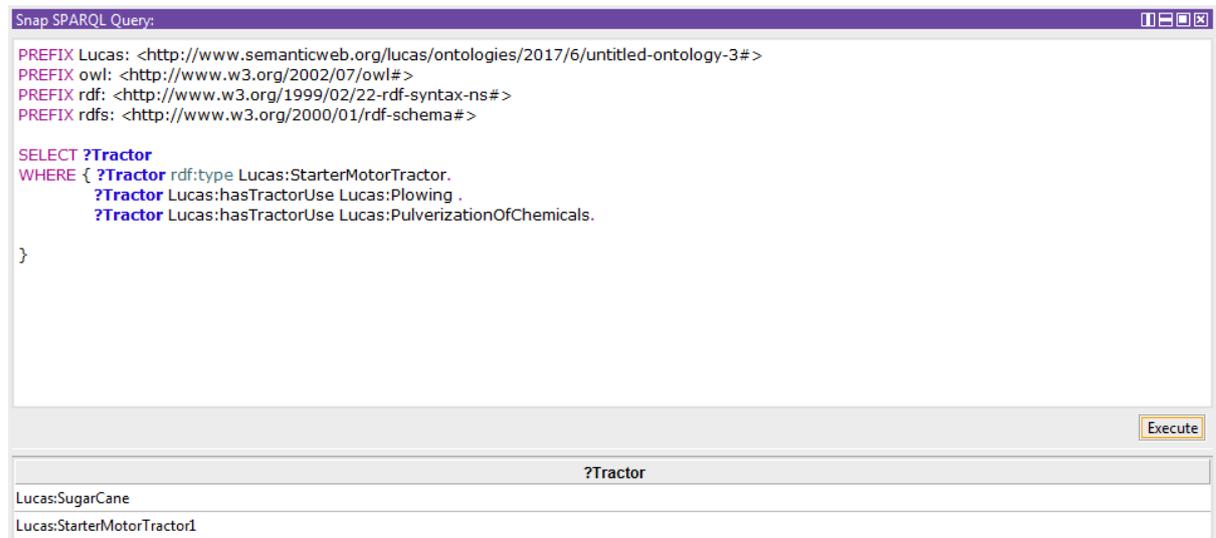
```

PREFIX Lucas: <http://www.semanticweb.org/lucas/ontologies/2017/6/untitled-ontology-3#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

SELECT ?Tractor
WHERE { ?Tractor rdf:type Lucas:StarterMotorTractor.
        ?Tractor Lucas:hasTractorUse Lucas:Plowing .
        ?Tractor Lucas:hasTractorUse Lucas:PulverizationOfChemicals.
}

```

Figura 23 - Identificação do motor de arranque mais apropriado a partir do seu uso



Fonte: O próprio autor

Na sequência, outra busca representa a primeira questão de competência estabelecida: Qual o motor de arranque mais recomendado para ser utilizado em um determinado cenário, observando-se os testes de confiabilidade aos quais este motor é submetido?. A *query* relacionada a esta questão e suas respectivas respostas são apresentadas na Figura 24. Pode-se perceber uma associação do motor ao seu local de uso mais indicado. Assim, verifica-se com o resultado das buscas que para o cenário 1 (Scenario1_SugarCaneSaoPaulo) o motor de arranque 1 (StarterMotorTractor1) é o mais recomendado, e para o cenário 2 (Scenario2_SoyBeansParana) o motor de arranque 2 (StarterMotorTractor2) é o mais indicado.

```

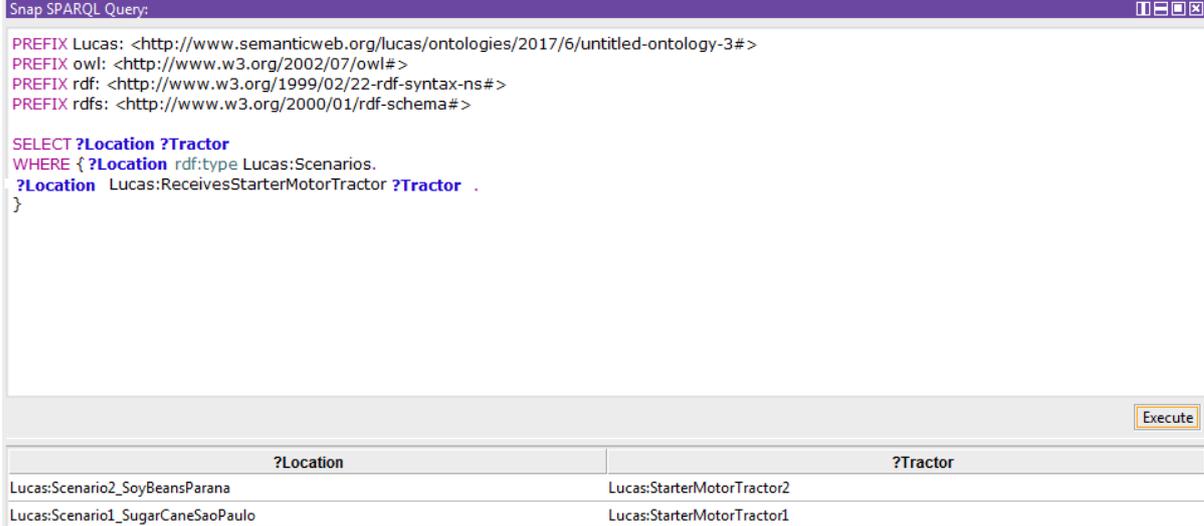
PREFIX Lucas: <http://www.semanticweb.org/lucas/ontologies/2017/6/untitled-ontology-3#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

SELECT ?Location ?Tractor
WHERE {?Location rdf:type Lucas:Scenarios.

```

```
?Location Lucas:ReceivesStarterMotorTractor ?Tractor.
}
```

Figura 24 - Identificação do motor de arranque indicado para cada cenário



The screenshot shows a SPARQL query window with the following content:

```

Snap SPARQL Query:
PREFIX Lucas: <http://www.semanticweb.org/lucas/ontologies/2017/6/untitled-ontology-3#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

SELECT ?Location ?Tractor
WHERE { ?Location rdf:type Lucas:Scenarios.
?Location Lucas:ReceivesStarterMotorTractor ?Tractor .
}

```

Below the query, there is an "Execute" button and a table with the following results:

?Location	?Tractor
Lucas:Scenario2_SoyBeansParana	Lucas:StarterMotorTractor2
Lucas:Scenario1_SugarCaneSaoPaulo	Lucas:StarterMotorTractor1

Fonte: O próprio autor

A busca seguinte tem a finalidade de responder a segunda questão de competência: Quais os testes de confiabilidade devem ser obrigatoriamente realizados em um motor de arranque de trator que irá atuar na cultura de um produto final específico?. Esta query visa auxiliar a equipe de engenharia voltada para o PDP a identificar os principais testes de confiabilidade que devem ser necessariamente realizados em um motor de arranque que será utilizado para um produto final determinado. Dessa maneira, ao se estabelecer a cultura/cenário para a qual o produto será desenvolvido, as equipes poderão identificar os testes que devem ser realizados para garantia da sua confiabilidade. Esses testes são determinados seguindo as interações com o ambiente que o motor de arranque vai receber nesses cenários e as condições de uso às quais eles serão submetidos. O resultado dessa busca é representado na Figura 25, a qual apresenta as interações que o equipamento tem com o ambiente e os devidos testes.

```

PREFIX Lucas: <http://www.semanticweb.org/lucas/ontologies/2017/6/untitled-ontology-3#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

SELECT ?Tests
WHERE {Lucas:SoyBeans rdf:type ?Tests.
?Tests rdfs:subClassOf Lucas:InteractionWithTheAmbient.
}

```

Figura 25 - Identificação da interação e testes que um trator recebe a partir do produto final da cultura

The screenshot shows a SPARQL query interface with the following content:

```

PREFIX Lucas: <http://www.semanticweb.org/lucas/ontologies/2017/6/untitled-ontology-3#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

SELECT ?Tests
WHERE {Lucas:SoyBeans rdf:type ?Tests.
?Tests rdfs:subClassOf Lucas:InteractionWithTheAmbient.
}
  
```

Below the query, there is an "Execute" button and a table of results:

?Tests
Lucas:InteractionWithTheAmbient
Lucas:ExposureToHighHumidity
Lucas:HumidityTest
Lucas:ExposureToDust
Lucas:SealingTestDustIngressTest
Lucas:ExposureToChemicalSubstances
Lucas:ChemicalResistanceTest

Fonte: O próprio autor

A última *query* tem por objetivo representar os procedimentos para realização de determinados testes e responder a última questão de competência: Qual o melhor procedimento para realização destes testes?. No exemplo anterior, pode-se verificar pela Figura 25 que o teste de umidade (i.e., *HumidityTest*) deve ser realizado nas culturas de soja (i.e., *SoyBeans*), uma vez que nestes ambientes o motor de arranque está exposto a alta umidade, seja pelo meio ambiente ou seja pelo uso do equipamento para pulverização de água. Dessa maneira, conforme apresentado na seção 4.2.6, o teste de umidade deve ser realizado de maneira diferente, a depender da classificação do local de uso do equipamento em função da umidade relativa do ar média. Portanto, além da classificação de uso do trator, o *reasoner* utilizado no Protégé 5.2.0 deve ser capaz de identificar os procedimentos para realização desse teste. O grau de umidade foi utilizado como exemplo para identificação dos procedimentos para teste, no entanto uma classificação similar pode ser realizada nos demais testes em que os procedimentos variem de acordo com determinado critério. A Figura 26 apresenta tanto a classificação do local do teste de umidade para um motor de arranque que atue em um cenário de soja, como também os procedimentos para teste que devem ser realizados nesse equipamento.

```

PREFIX Lucas: <http://www.semanticweb.org/lucas/ontologies/2017/6/untitled-ontology-3#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
  
```

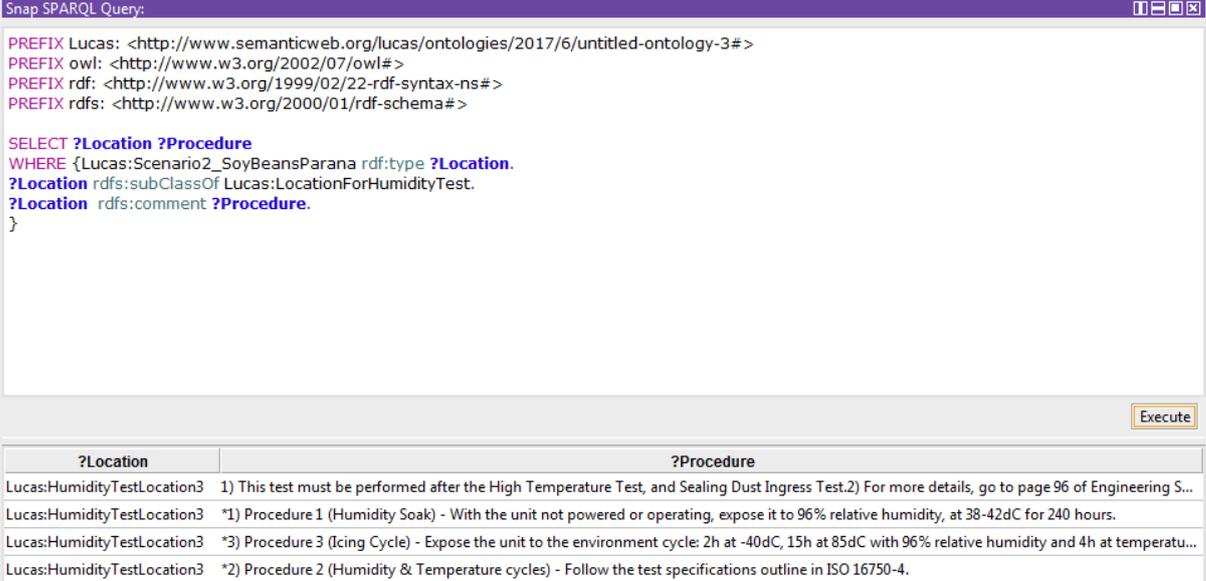
```

PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

SELECT ?Location ?Procedure
WHERE {Lucas:Scenario2_SoyBeansParana rdf:type ?Location.
?Location rdfs:subClassOf Lucas:LocationForHumidityTest.
?Location rdfs:comment ?Procedure.
}

```

Figura 26 - Identificação do tipo de local para teste de umidade e os procedimentos para o teste



The screenshot shows a SPARQL query interface with the following query:

```

PREFIX Lucas: <http://www.semanticweb.org/lucas/ontologies/2017/6/untitled-ontology-3#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

SELECT ?Location ?Procedure
WHERE {Lucas:Scenario2_SoyBeansParana rdf:type ?Location.
?Location rdfs:subClassOf Lucas:LocationForHumidityTest.
?Location rdfs:comment ?Procedure.
}

```

The results table is as follows:

?Location	?Procedure
Lucas:HumidityTestLocation3	1) This test must be performed after the High Temperature Test, and Sealing Dust Ingress Test.2) For more details, go to page 96 of Engineering S...
Lucas:HumidityTestLocation3	*1) Procedure 1 (Humidity Soak) - With the unit not powered or operating, expose it to 96% relative humidity, at 38-42dC for 240 hours.
Lucas:HumidityTestLocation3	*3) Procedure 3 (Icing Cycle) - Expose the unit to the environment cycle: 2h at -40dC, 15h at 85dC with 96% relative humidity and 4h at temperatu...
Lucas:HumidityTestLocation3	*2) Procedure 2 (Humidity & Temperature cycles) - Follow the test specifications outline in ISO 16750-4.

Fonte: O próprio autor

A busca realizada por esta *query* apresenta os procedimentos demonstrados no Quadro 6 da seção 4.2.6. Para este exemplo, constata-se que o teste de umidade deve ser realizado após o teste de alta temperatura e do teste de ingresso de poeira, no caso de o equipamento necessitar ser submetido a algum desses testes. Além disso, os procedimentos específicos para a realização do teste de umidade, de acordo com a classificação do seu local, são também apresentados. Essas informações foram extraídas e adaptadas a partir do manual de testes da empresa.

Após a conclusão da etapa de demonstração do artefato, a etapa seguinte do *DSR* corresponde a avaliação do artefato. Esta etapa é muito importante para avaliar a importância e utilidade do método desenvolvido de acordo com as expectativas dos usuários, além de se analisar se o modelo apresenta alguma inconsistência com relação aos conceitos apresentados.

4.3 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO DESENVOLVIDO

O processo de avaliação do artefato desenvolvido será apresentado nesta seção seguindo os conceitos previamente estabelecidos na seção 3.3.5 intitulada Avaliação da Solução.

Conforme as informações supracitadas, algumas pesquisas foram realizadas com o intuito de se definir a melhor maneira de se avaliar uma ontologia.

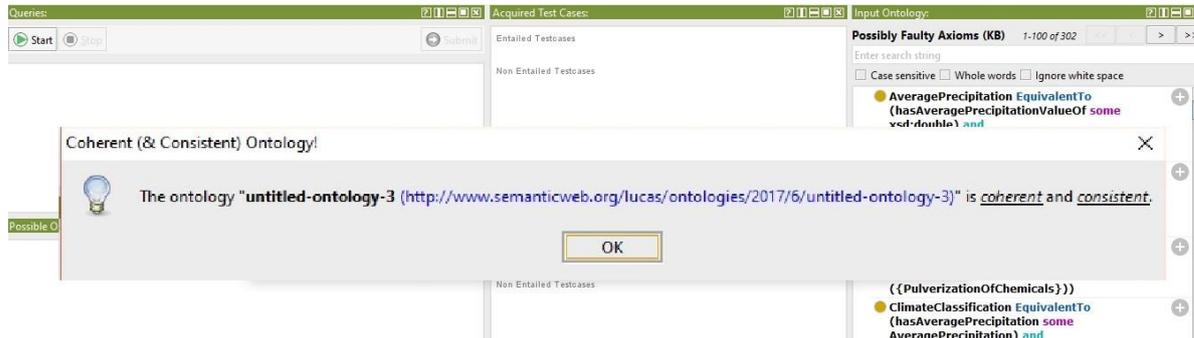
Segundo Gomez-Perez, Fernandez-Lopez e Corcho (2004), embora existam diversos métodos de avaliação de ontologias, eles podem ser métodos de verificação, os quais buscam garantir que a ontologia tenha sido construída corretamente, ou métodos de avaliação, os quais visam garantir que a ontologia represente o contexto proposto pelo domínio.

Conforme Bilgin et al. (2014) o processo de avaliação de uma ontologia deve ocorrer durante todas as etapas de seu ciclo de vida. Nesse contexto, diversos métodos manuais e ou automáticos são utilizados para avaliação da taxonomia do modelo e do seu conteúdo. Dessa maneira, Lovrencic e Cubrilo (2008) afirmam que, para obtenção de uma ontologia confiável, é necessário o uso complementar de diversos métodos de avaliação.

Para avaliação do modelo ontológico proposto nesta pesquisa, os procedimentos propostos por Fernandez-Breis et al. (2009) foram adotados. Esses autores avaliaram as ontologias de acordo com a ISO 9126 (2000), a qual visa avaliar a qualidade de softwares seguindo sete dimensões: Estrutural, Funcionalidade, Confiabilidade, Usabilidade, Manutenção, Qualidade em uso e Eficiência. Além disso, a avaliação da taxonomia do modelo ocorrerá por meio da ferramenta ODEval. Por meio desses dois métodos, será possível realizar a verificação e a avaliação da ontologia, conforme sugerido por Gomez-Perez, Fernandez-Lopez e Corcho (2004) e Vrandecic et al. (2009, p. 293–313).

Durante processo de verificação da ontologia, procura-se observar se o modelo foi desenvolvido corretamente, sendo coerente e consistente. Para isso, foi necessária uma análise do modelo a partir de sua taxonomia. Na seção 3.3.5, constatou-se que a ferramenta de verificação mais recomendada para esta ontologia é a ODEval, uma vez que neste modelo a avaliação ocorreu quando já estava finalizada e antes de ser colocada em prática. Além disso, essa ferramenta se mostra bastante eficiente para identificação de inconsistências na taxonomia de um modelo ontológico. Segundo Corcho et al. (2009), a verificação de inconsistências nas taxonomias deve ser realizada por meio de uma ferramenta do tipo OWLDebugger, a qual também utiliza os princípios propostos pela ferramenta ODEval na busca de inconsistências. No Protégé 5.2.0, a ferramenta “*Debug Ontology...*” (Tools>*Debug Ontology...*) foi utilizada durante todo o processo de construção da ontologia e na sua etapa final a fim de se verificar quaisquer inconsistências relacionadas à sua taxonomia. A Figura 27 demonstra o resultado dessa verificação, mostrando que modelo ontológico é coerente e consistente em relação à sua taxonomia, i.e., o modelo não apresenta nenhum problema de circularidade ou mesmo erros de partição ou redundância, conforme é proposto pelo ODEval (CORCHO et al., 2004).

Figura 27 - Verificação da taxonomia do modelo ontológico



Fonte: O próprio autor

Uma taxonomia coerente significa que os itens inferidos estão corretos e os axiomas definidos são logicamente consistentes. Já uma taxonomia que apresenta coesão refere-se à maneira como os elementos estão relacionados entre si, indicando que há uma forte relação entre as classes (GRUBER, 1995; GÓMEZ-PÉREZ, 2004, p.251-274; GANGEMI et al., 2005; VRANDECIC, 2010).

A segunda etapa da avaliação do artefato consistiu na avaliação do modelo seguindo os procedimentos propostos por Fernandez-Breis et al. (2009). Buscou-se avaliar cada uma das sete dimensões e critérios estabelecidos de acordo com a ISO 9126 (2000). Para realização dessa etapa, foi necessária a presença do desenvolvedor desta ontologia juntamente com um colaborador da empresa responsável pela área de Engenharia de Produtos - PDP. Essa etapa teve por intuito verificar se a ontologia criada era conveniente e representativa para o domínio da pesquisa.

Neste projeto a avaliação da ontologia ocorreu seguindo os mesmos critérios definidos pela ISO 9126 (2000), a qual a fornece um modelo para avaliação e verificação da qualidade em softwares. De acordo com esse documento, um software (e neste caso, um modelo ontológico) nunca opera sozinho, mas sempre como parte de um sistema que envolve outros softwares com os quais ele tenha interface, hardware, fluxo de trabalho e operadores humanos. Dessa maneira, uma análise completa dos softwares deve levar em consideração esses fatores, observando o software em uso.

De acordo com a ISO 9126 (2000), a escala de avaliação dos critérios deve seguir uma métrica de satisfação dos requisitos. Por exemplo, a escala pode ser dividida em duas categorias: satisfatório ou insatisfatório, ou em quatro categorias: ultrapassa as expectativas, atinge o objetivo, minimamente aceitável e inaceitável. Para a avaliação dessa ontologia, adotou-se a

divisão da escala em quatro categorias como forma de facilitar a análise dos itens a serem melhorados.

Portanto, seguindo o Quadro 4 da seção 3.3.5 proposto por Fernandez-Breis et al. (2009), as dimensões de avaliação de uma ontologia e seus respectivos critérios foram propostos. Alguns dos critérios foram avaliados somente pelo desenvolvedor da pesquisa, já outros critérios foram avaliados em conjunto com um colaborador da empresa parceira. Estabeleceu-se, portanto, que as dimensões Funcionalidade, Confiabilidade, Manutenção e Eficiência fossem verificadas pelo desenvolvedor do modelo uma vez que estão relacionadas aos aspectos internos e externos da ontologia. Já as dimensões Estrutural, Usabilidade e Qualidade em Uso da ontologia foram avaliadas juntamente com um representante da empresa, pois essas dimensões estão ligadas aos aspectos em uso do modelo e necessitam da análise de um especialista sobre o domínio.

1) Avaliação da Funcionalidade do modelo

A dimensão Funcionalidade consiste em como a ontologia executa suas funções pretendidas (FERNANDEZ-BREIS et al., 2009). Para isso, os critérios capacidade de inferência, representação dos resultados, classificação de instâncias, buscas e *queries* consistentes devem ser avaliados.

Observando a seção 4.2.7 intitulada Demonstração da Solução Proposta, é possível observar que todos esses critérios mencionados são atendidos pela ontologia, a qual responde efetivamente as questões de competência previamente definidas. Por esse motivo, pode-se afirmar que no quesito Funcionalidade o modelo atinge os objetivos.

2) Avaliação da Confiabilidade do modelo

A Confiabilidade de uma ontologia pode ser definida como a capacidade de o modelo manter seu nível de performance sob condições especificadas por um período de tempo (FERNANDEZ-BREIS et al., 2009). Para a avaliação desse item, deve-se analisar os critérios relacionados a robustez e maturidade técnica.

Em relação à confiabilidade, o modelo desenvolvido atinge seus objetivos, uma vez que a ontologia foi desenvolvida levando em consideração uma adaptação a diferentes cenários e regulações. Observando a hierarquia de classes na Figura 13, pode-se observar que outros testes podem ser adicionados na classe `Tests`, bem como outras características podem ser

adicionadas à classe `ScenarioFeatures`, outros cenários podem ser adicionados à classe `Scenarios` e ainda, pode-se criar uma nova classe com um novo equipamento a ser analisado.

Todavia, com relação à maturidade técnica do modelo criado, pode-se classificar a ontologia como minimamente aceitável. O *reasoner* Pellet detecta quaisquer erros no modelo com facilidade, e na presença de alguma inconsistência, a ontologia para de realizar inferências e buscas e conseqüentemente, ocorre uma falha.

3) Avaliação da Manutenção do modelo

O item Manutenção em uma ontologia é definido por Fernandez-Breis et al. (2009) como o esforço necessário para realizar modificações específicas no modelo e pela maneira como essas alterações afetam o restante da ontologia. Nesse contexto, critérios ligados à mutabilidade e à capacidade de ser testada foram avaliados.

De acordo com o critério ligado à mutabilidade, a ontologia desenvolvida pode ser facilmente adaptada para uso em diferentes contextos. Realizando-se poucas modificações, é possível acrescentar novas classes, axiomas e instancias bem como implementar novas relações entre as classes. Assim, o modelo ontológico pode ser constantemente atualizado com novas informações cenários. Dessa maneira, é possível afirmar que este critério atinge seus objetivos.

O critério relacionado à capacidade de a ontologia ser testada atinge seus objetivos, uma vez que o modelo desenvolvido é passível de modificações, testes e avaliações. O uso de ferramentas como a ferramenta “*Debug Ontology...*” e o *reasoner* Pellet permitem com que avaliações nas modificações realizadas nas taxonomias sejam realizadas a qualquer momento.

4) Avaliação da Eficiência do modelo

A eficiência de um modelo ontológico corresponde à relação entre o nível de performance do software e a quantidade de recursos utilizados, sob condições previamente especificadas. Essa dimensão considera o tempo de resposta ou consumo de memória (FERNANDEZ-BREIS et al., 2009).

Portanto, o critério ligado à eficiência computacional apresenta uma classificação que excede as expectativas. Primeiramente, o arquivo da ontologia desenvolvida consome apenas 115KB de memória. O *reasoner* Pellet é capaz de realizar todas as inferências em um tempo de 02:24 min em um notebook Acer E14 (Intel®Core™ i5-6200U, 2.3GHz). Já o *plug-in* Snap-SPARQL retorna com os resultados das *queries* em cerca de 2 segundos.

5) Avaliação da Usabilidade, Qualidade em Uso e Estrutural do modelo

A avaliação da Usabilidade, Qualidade em Uso e Estrutural da ontologia foi realizada juntamente com um representante da empresa. Para a análise de tais dimensões, é necessária a opinião de um especialista a respeito do domínio do modelo, para quem a ontologia foi desenvolvida.

Conforme Fernandez-Breis et al. (2009), a avaliação da dimensão estrutural compreende a análise da ontologia em termos de consistência, formalização e redundâncias. Os critérios apresentados para avaliação desse item envolvem acurácia, coesão, consistência e integralidade do modelo.

Já a dimensão usabilidade consiste na compreensão dos propósitos da ontologia pelo usuário. Deve-se avaliar esse item em termos de transparência e clareza e pela possibilidade de reuso. A qualidade em uso deve ser descrita pelos usuários, os quais devem indicar se a ontologia apresenta qualidade em um determinado contexto de uso. Essa dimensão deve ser avaliada em termos de satisfação dos usuários e efetividade (FERNANDEZ-BREIS et al., 2009).

Para realização da avaliação dessas três dimensões, o modelo ontológico foi apresentado ao representante da empresa, o qual era responsável pelo Departamento de Engenharia de Produtos - PDP. Em seguida, um questionário foi disponibilizado a fim de se avaliar todos os critérios relacionados a tais dimensões. As questões estavam relacionadas ao modelo ontológico, contendo as quatro alternativas já mencionadas: ultrapassa as expectativas, atinge o objetivo, minimamente aceitável e inaceitável. O questionário na íntegra pode ser visualizado no Quadro 7, e o questionário respondido é apresentado no Apêndice B.

Analisando as respostas do questionário, observa-se que dimensão Estrutural apresentou uma avaliação que atinge os objetivos para os critérios de análise acurácia, coesão e consistência. Todavia, o colaborador considerou que a integralidade do modelo é minimamente aceitável, uma vez que somente uma parte dos testes foi representada na ontologia. Pode-se afirmar, portanto, que essa dimensão apresenta um resultado que atinge os objetivos e que algumas modificações devem ser realizadas com relação a integralidade, com o objetivo de agregar mais conhecimento em relação ao planejamento de testes de motores de arranque.

De acordo com a Usabilidade, o critério possibilidade de reuso foi avaliado com “Atinge o objetivo”, pois, conforme o representante da empresa, o método é passível ser implementado em outras peças e produtos. Já o critério transparência e clareza recebeu uma avaliação

minimamente aceitável devido ao editor de ontologias Protégé 5.2.0, o qual pode parecer complexo no primeiro contato.

Quadro 7 - Questionário utilizado para avaliação do modelo ontológico

Questionário para avaliação do modelo ontológico	
Representante:	Departamento:
Dimensão - Estrutura do Modelo	
Acurácia – O conhecimento gerado pela ontologia está de acordo com o contexto de planejamento de testes de motores de arranque?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável
Coesão – A maneira como os termos da ontologia estão relacionados entre si corresponde ao contexto de planejamento de testes de motores de arranque?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável
Consistência – A ontologia apresenta uma consistência lógica, i.e., as inferências realizadas não são contraditórias?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável
Integralidade – Todo conhecimento esperado a respeito do contexto de planejamento de testes de motores de arranque se encontra na ontologia?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável
Dimensão - Usabilidade	
Possibilidade de reuso – A ontologia pode ser facilmente reutilizada, alterando-se as características do domínio?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável
Transparência e clareza – É possível se compreender com clareza os detalhes da ontologia, sua utilidade e objetivos?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável
Dimensão – Qualidade em Uso	
Efetividade – A ontologia responde as questões de competência apresentadas?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável
Satisfação do usuário - Este modelo ontológico pode ser utilizado na resolução dos problemas relacionados ao planejamento de testes de motores de arranque descritos pela empresa?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável

Fonte: O próprio autor

Observando a dimensão Qualidade em Uso, o representante da empresa afirmou que o critério efetividade e satisfação do usuário atingem os objetivos propostos. Assim sendo, é possível constatar que o modelo desenvolvido responde às questões de competência

previamente especificadas e pode ser utilizado pela empresa para a solução dos problemas relacionados ao planejamento de testes dos motores de arranque.

A partir da avaliação realizada tanto pelo desenvolvedor do modelo como pelo representante da empresa, é possível afirmar que o modelo ontológico desenvolvido é pertinente ao contexto do planejamento de testes de motores de arranque. Dessa maneira, é possível implementá-lo juntamente com as equipes de PDP e testes desse equipamento. Além disso, é recomendado que uma interface mais interativa ao usuário seja desenvolvida, com o objetivo de se acrescentar dados e realizar buscas com mais facilidade. Cabe ressaltar que a avaliação deveria ter sido realizada por mais colaboradores da empresa relacionados a outros departamentos. Todavia, somente um representante da empresa parceira foi disponibilizado para avaliação do método.

5 CONCLUSÃO

Observando os resultados obtidos neste trabalho, é possível constatar como um entendimento mais aprofundado sobre fatores externos e de uso pode auxiliar na melhoria da confiabilidade de produtos. Em primeiro lugar, tal fato torna-se importante para se estabelecer o plano de testes mais adequado ao local e às condições de uso que o item será submetido. Além disso, a compreensão de todas as características ligadas ao uso do produto pode auxiliar na melhor escolha de materiais, peças e design que irão garantir uma maior confiabilidade do sistema como um todo. Portanto, a implementação de um método voltado para aplicação de *DfR* nas etapas iniciais do PDP pode resultar em uma melhoria significativa na qualidade e confiabilidade de produtos trazendo benefícios para a empresa, a qual evita despesas corretivas ou inconveniências relacionadas à reputação da marca.

A participação de uma empresa no fornecimento de informações reais foi importante para a criação de um modelo ontológico com base em dados verídicos, tornando o método desenvolvido mais confiável. Todavia, devido a restrições impostas pela companhia, alguns dados que poderiam enriquecer mais a construção da ontologia não puderam ser disponibilizados. Tal fato fez com que o método fosse criado a partir de dados hipotéticos, e dessa maneira teve sua elaboração e eficácia prejudicada.

O contexto deste trabalho foi definido a partir de motores de arranque, uma vez que, em conformidade com o que foi informado pela empresa, esses itens têm apresentado falhas em campo. Por essa razão, foi possível afirmar que havia alguma oportunidade de melhoria no planejamento de testes desses equipamentos. Pela análise dos manuais de testes fornecidos pela empresa, notou-se que não havia muita referência a realização de testes específicos a depender das condições locais de trabalho do equipamento. Portanto, o contexto desse trabalho baseou-se na elaboração de um método, representado por uma ontologia, que pudesse auxiliar as equipes voltadas ao PDP na seleção dos testes de confiabilidade a partir das características do ambiente e de uso às quais o produto seria submetido.

O desenvolvimento do modelo ontológico ocorreu no editor de ontologias Protégé 5.2.0. A partir da modelagem de dados e relações importantes no contexto de uso dos motores de arranque, foi possível observar como determinados fatores podem influenciar diretamente na confiabilidade e no planejamento de testes do produto. Uma das maiores limitações que surgiram no desenvolvimento da ontologia foi relacionada ao Protégé 5.2.0. O software em muitas situações é lento e, na presença de alguma inconsistência na taxonomia, não consegue

indicar com precisão o tipo de erro. Assim, para a resolução de um problema desse tipo, o desenvolvedor pode levar muito tempo a descobrir em qual classe o problema se encontra.

Na etapa de demonstração do modelo ontológico, foi possível perceber que a ontologia era capaz de responder às buscas de forma eficaz. No entanto, uma limitação surge para a realização dessas buscas, pois a linguagem utilizada no *plug-in* Snap-SPARQL pode não ser simples para muitos dos usuários, fato este que vai comprometer o resultado das buscas e o entendimento da ontologia.

O foco dado à etapa de avaliação se deve ao fato de esta ser uma fase crucial para a conclusão do projeto. Embora existam diversas metodologias para avaliação de uma ontologia, deve-se selecionar a mais adequada para cada contexto. Para esta ontologia, selecionou-se uma ferramenta de avaliação de taxonomias bem como um método para avaliação da ontologia como um todo. Para o segundo caso, foi necessário a presença de um representante da empresa. A avaliação teria sido mais completa se a empresa tivesse disponibilizado mais pessoas para avaliação do método e se o modelo pudesse ser implementado em um cenário real da empresa.

Assim, a partir das avaliações realizadas, é possível afirmar que a ontologia desenvolvida é consistente, uma vez que o editor Protégé 5.2.0 conseguiu realizar inferências lógicas a respeito do domínio. Além disso, a taxonomia construída é coerente e coesa, o que permitiu o editor de ontologias realizar as buscas com precisão. Observando a avaliação realizada pelo representante da empresa, pode-se concluir que o método é pertinente e pode ser implementado em um cenário real de manufatura. Pela média das avaliações realizadas pelo representante e pelo desenvolvedor, considerou-se que o modelo alcançou os objetivos propostos na definição dos resultados esperados, sendo capaz de responder as questões de competência.

O uso da abordagem *DSR* neste projeto de pesquisa foi importante para delimitação das etapas a serem seguidas para o desenvolvimento do método. Além disso, essa metodologia apresenta com clareza como realizar cada etapa do trabalho, com o objetivo de se criar um artefato que possa solucionar algum problema. Esse fato faz com que a abordagem *DSR* seja recomendada para pesquisas prescritivas como a deste trabalho.

A contribuição científica deste trabalho está baseada no fato de ser uma pesquisa prescritiva inovadora que envolve o uso de ontologias para auxiliar a implementação de *DfR* nas etapas iniciais do PDP. Conforme observado nas publicações mais recentes acerca do assunto, em nenhum exemplo modelos ontológicos foram utilizados para associar as características de um produto com o seu perfil de uso para se definir o plano de testes mais adequado. Assim, o método desenvolvido tem a finalidade de auxiliar equipes voltadas para o

PDP para a criação de produtos mais confiáveis e resistentes às condições de uso às quais eles estarão submetidos. O resultado obtido com este trabalho foi apresentado à empresa parceira e sugeriu-se que um método, como o desenvolvido neste trabalho, pudesse ser implementado nas etapas iniciais do PDP. Dessa maneira, é esperado que um plano de testes mais efetivos ao perfil de uso dos motores de arranque seja determinado para melhoria da confiabilidade desses produtos.

Neste trabalho, o foco de estudo foi um equipamento específico de uma empresa de maquinários agrícolas. Todavia, o método desenvolvido também pode ser implementado nas etapas iniciais de desenvolvimento de outros produtos, desde que leve em consideração o perfil de uso e as características do item. Assim, a proposição de um modelo ontológico como método para implementação de *DfR* mostra-se uma ferramenta eficaz para a melhoria da confiabilidade de produtos, uma vez que a partir das máquinas de inferência, é possível obter conclusões mais abrangentes e efetivas sobre o plano de testes que deve ser realizado em um produto.

Como recomendações futuras, observa-se que a criação de uma plataforma que seja mais simples ao usuário e que tenha alguma interface com a linguagem OWL pode viabilizar o uso do método desenvolvido neste trabalho. Essa plataforma deve permitir o usuário a realizar buscas e a acrescentar dados e relações sem exigir muito conhecimento a respeito das linguagens OWL ou de ontologias. Além disso, recomenda-se que o método proposto seja ampliado com a adição de cenários reais e compatíveis às necessidades da empresa, bem como este seja testado acrescentando-se mais testes e especificações.

Finalmente, observa-se que, embora o método proposto exija um time de especialistas que possuam um conhecimento sobre ontologias para que possa ser utilizado, o modelo desenvolvido se mostrou capaz de resolver um problema existente na realidade da empresa. Dessa maneira, ele se mostra viável para implementação no ambiente organizacional, não somente no contexto de desenvolvimento de motores de arranque como de outros itens.

REFERÊNCIAS

- AHLERS, D. et al. Challenges for information access in multi-disciplinary product design and engineering settings. In: The 10th International Conference on Digital Information Management, n. 10, 2015, Jeju Island. **Digital Information Management (ICDIM)** [s.l.], 2016, p. 109-114.
- AKERKAR, R.; SAJJA, P. **Knowledge-based systems**. Sudbury: Jones & Bartlett Publishers, 2010.
- ALATRISH, E. Comparison Some of Ontology Editors. **Management Information Systems**. v. 8, n. 2, p. 18-24, 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY. Manufacturing Growth Continues but Economy Still a Challenge, According to ASQ Outlook Survey 2014. Disponível em <<http://asq.org/newsroom/news-releases/2013/20131223-manufacturing-outlook.html>>. Acesso em 03 de outubro de 2017.
- AZADEH, A.; SHEIKHALISHAHI, M.; AGHSAMI, A. An integrated FTA-DFMEA approach for reliability analysis and product configuration considering warranty cost. **Production Engineering**, v. 9, n. 5-6, p. 635-646, 2015.
- BAADER, F. et al. Description Logics. In: _____. **Handbook on Ontologies**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2 ed. p. 21–43, 2009.
- BILGIN, G. et al. Ontology Evaluation: An example of Delay Analysis. **Procedia Engineering**. [s.l.], v.85, p.61-68, 2014.
- BRALLA, J. G. **Design for Excellence**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1996.
- BRANK, J.; GROBELNIK, M.; MLADENIC, D. A survey of ontology evaluation techniques. **Proceedings of 8th International Multi-Conference of the Information Society**. [S.l.]: [s.n.], p. 166-169, 2005.
- ÇAG˘DAS, V.; STUBKJÆR, E. Design research for cadastral systems. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 35, p. 77–87, 2011.
- CATIC, D. M. et al. Numerical determination of reliability in probabilistic design. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C-Journal of Mechanical Engineering Science**, v. 229, n. 16, p. 2868-2874, 2015.
- CHANG, M. S.; KWON, Y. I.; KANG, B. S. Design of reliability qualification test for pneumatic cylinders based on performance degradation data. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 28, n. 12, p. 4939-4945, 2014.
- CHENG, S.; DHILLON, B. S. Methodology and theory reliability and availability analysis of a robot-safety system. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 17, n. 2, p. 203-232, 2011.
- CORCHO, O. et al. ODEval: A Tool for Evaluating RDF(S), DAML+OIL, and OWL Concept Taxonomies. In: _____. **Artificial Intelligence Applications and Innovations**. IFIP International Federation for Information Processing. Boston: Springer v. 154, p. 369-382, 2004.
- CROWE, D.; FEINBERG, A. **Design for Reliability**. Boca Raton: CRC Press, 2001.

- DAML Ontology Library**. 2017. Disponível em: <<http://www.daml.org/ontologies/>>. Acesso em: 15 abr 2017.
- DMOZ**. 2017. Disponível em: < <http://www.dmoz.org/> >. Acesso em: 15 abr 2017.
- DRESCH, A.; LACERDA, D.P.; JUNIOR, J.A.V.A. **Design Science Research: a Method for Science and Technology Advancement**. Nova Iorque: Springer, 2015.
- FERNANDEZ-BREIS, J.T. et al. Quality Evaluation Framework for Bio-Ontologies. **Proceedings of International Conference on Biomedical Ontology**. Buffalo, p.127-131, 2009.
- GANGEMI, A. et al. Ontology Design Patterns for Semantic Web Content. **Proceedings of the 4th International Semantic Web Conference**, Galway, Irlanda, p.262-276, 2005.
- GEIGER, C.; SARAKAKIS, G. Data driven design for reliability. **2016 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)**, 2016, p.1-6, 2016.
- GÓMEZ-PÉREZ, A. Evaluating ontologies: Cases of Study. **IEEE Intelligent Systems and their Applications**. Special Issue on Verification and Validation of ontologies. v. 16, n. 3, p. 391-409, 2001.
- GÓMEZ-PÉREZ, A. Ontology evaluation. In: _____. **Handbook on Ontologies**. Berlim: Springer Berlin Heidelberg, 1 ed. p. 251–274. 2004.
- GÓMEZ-PÉREZ, A.; FERNANDEZ-LOPEZ, M.; CORCHO, O. **Ontological Engineering: with examples from the areas of knowledge management, ecommerce and the Semantic Web**. 1.ed. [S.l]: Springer, 2004.
- GOOGLE. **Google Scholar**. Disponível em: < <https://scholar.google.com.br/>>. Acesso em: 2016/2017.
- GOUGH, D., et al. **An introduction to systematic reviews**. Londres: Sage Publications Ltd, 2012.
- GRANATA, J. E. et al. Design for Reliability: A Low Concentration PV Case Study. **38th Ieee Photovoltaic Specialists Conference (Pvsc)**, p. 1739-1743, 2012.
- GRUBER, T. R. A translation approach to portable ontology specifications. **Knowledge acquisition**, Stanford, v. 5, n. 2, p. 199-220, 1993.
- GRUBER, T.R. Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. **International Journal of Human-Computer Studies**, [s.l.], v.43, n.5, p.907-928, 1995.
- GRÜNINGER, M.; FOX, M. S. Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies. [S.n.], Toronto, 1995.
- HADI, H. S. et al. Reliability analysis of drum shearer machine at mechanized longwall mines. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 18, n. 1, p. 98-119, 2012.
- HARTMANN, J. et al. Methods for ontology evaluation. **Knowledge Web Deliverable D.1.2.3**, 2004. Disponível em <<https://starlab.vub.ac.be/research/projects/knowledgeweb/KWeb-Del-1.2.3-Revised-v1.3.1.pdf>>. Acesso em 02 de outubro de 2017.
- HE, Y. et al. Product reliability oriented design scheme of control chart based on the convergent CEV for censored characteristics. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2015, 2015.

- HEVNER, A. R.; CHATTERJEE, S. **Design research in information systems: Theory and practice**. Nova Iorque: Springer, 2010.
- HORRIDGE, M. **Justification based explanation in ontologies**. 2011. 304 f. Tese de doutorado em Ciência da Computação. Faculty of Engineering and Physical Sciences - University of Manchester, Manchester, Inglaterra, 2011.
- HORRIDGE, M.; MUNSEN, M. Snap-SPARQL: A Java Framework for Working with SPARQL and OWL. **International Experiences and Directions Workshop on OWL (OWLED 2015)**. pp 154-165, 2016.
- HSU, Y. Y. et al. Design for Reliability of Multi-Layer Thin Film Stretchable Interconnects. **63rd Electronic Components and Technology Conference (Ectc)**, p. 623-628, 2013.
- HUANG, G. Q. **Design for X: Concurrent engineering imperatives**. Londres: Chapman & Hall, 1996.
- ISO 9126:2000 – Information technology — Software product quality —. Genebra, 2000. 34p.
- JAZDI, N. Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. **IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics**, p.1-4, 2014.
- JIN, T. et al. Reliability deployment in distributed manufacturing chains via closed-loop Six Sigma methodology. **International Journal of Production Economics**, v. 130, n. 1, p. 96-103, 2011.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Securing the future of German manufacturing industry**. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0. (ACATECH Working Group.), Munich: Herbert Utz Verlag, 2013.
- KARNIEL, A.; REICH, Y. **Managing the Dynamics of New Product Development Process: A New Product Lifecycle Management Paradigm**. Londres: Springer. 2011.
- KLEYNER, A.; NEBELING, A. Applying automotive robustness validation to reduce the number of unplanned reliability testing cycles. **Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)**, p. 1-7; Jan. 2016.
- KOLLIA, I.; GLIMM, B.; HORROCKS, I. SPARQL Query Answering over OWL Ontologies. In: _____. **The Semantic Web: Research and Applications**. V. 6643, pp. 382–396, 2011.
- LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H-A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**. v.3, p. 18-23, 2015.
- LI, L. Reliability Modeling and Testing of Advanced QFN Packages. **Ieee 63rd Electronic Components and Technology Conference (Ectc)**, p. 725-730, 2013.
- LI, Y. F. et al. Fuzzy sets method of reliability prediction and its application to a turbocharger of diesel engines. **Advances in Mechanical Engineering**, v. 2013, 2013.
- LISCOUET, J. et al. An integrated methodology for the preliminary design of highly reliable electromechanical actuators: Search for architecture solutions. **Aerospace Science and Technology**, v. 22, n. 1, p. 9-18, 2012.
- LOVRENCIC, S.; CUBRILO, M. Ontology Evaluation – Comprising Verification and Validation. **Proceedings of Central European Conference on Information and Intelligent Systems (CECIIS 2008)**, Varazdin, Croácia, 2008.

- MAK, P. I. et al. Enhancing the performances of recycling folded cascode OpAmp in nanoscale CMOS through voltage supply doubling and design for reliability. **International Journal of Circuit Theory and Applications**, v. 42, n. 6, p. 605-619, 2014.
- MARCH, S. T.; STOREY, V. C. Design science in the information systems discipline: An introduction to the special issue on design science research. **MIS Quarterly**, v. 32(4), p. 725–730, 2008.
- MARICAU, E.; GIELEN, G. Computer-Aided Analog Circuit Design for Reliability in Nanometer CMOS. **Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems**, v. 1, n. 1, p. 50-58, 2011.
- MELINDA, H.; TIEN-WEI, H.M. Cleaning historical maintenance work order data for reliability analysis. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 22, n. 2, p. 146-163, 2016.
- MEERKAMM, H. Design for X—A Core Area of Design Methodology. **Journal of Engineering Design**, v. 5, n. 2, p. 165 – 181, 1994.
- MUSEN, M. A., et al. The Evolution of Protégé: An Environment for Knowledge-Based Systems Development. **International Journal of Human–Computer Studies**. v. 58, n. .1, p. 89–123, 2003.
- NAHAL, M.; KHELIF, R. Mechanical reliability analysis of tubes intended for hydrocarbons. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 27, n. 2, p. 367-374, 2013.
- NG, W. L. et al. Design for reliability through engineering optimization. **Reliability Physics Symposium (IRPS)**. Abr., 2013.
- NOY, N. F.; MACGUINNESS, D. L. Ontology development 101: A guide to creating your first ontology. [S.n], Stanford, 2001.
- PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. Springer Science & Business Media, 2013.
- PEFFERS, K. et al. A design science research methodology for information systems research. **Journal of management information systems**, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.
- PERPINA, X. et al. Design for reliability of solid state lighting systems. **Microelectronics Reliability**, v. 52, n. 9-10, p. 2294-2300, 2012.
- PINTO, H. S.; MARTINS, J. P. Ontologies: How can they be built? **Knowledge and Information Systems**, [s.l.], v. 6, n. 4, p. 441-464, 2004.
- POPOVIC, P. et al. Design for reliability of a vehicle transmission system. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D-Journal of Automobile Engineering**, v. 226, n. D2, p. 194-209, 2012.
- PORCIUNCULA, G. S. et al. Identification of the operational configurations of automatic systems for the design for reliability. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 38, n. 2, p. 493-506, 2016.
- PROTÉGÉ**. Versão 5.2. Stanford Center for Biomedical Informatics Research. Stanford University, 2017.
- RAHEJA, D.; GULLO, L.J. **Design for Reliability**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2012.

- ROZENFELD, H.; et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.
- SAAKSVUORI, A.; IMMONEN, A. **Product Lifecycle Management**. 1. ed. Berlim: Springer, 2001. 222 p.
- SAENZ-DE-CABEZON, E.; WYNN, H. P. Hilbert Functions in Design for Reliability. **Transactions on Reliability**, v. 64, n. 1, p. 83-93, 2015.
- SALOTTI, J.M.; SUHIR, E. Manned missions to Mars: Minimizing risks of failure. **Acta Astronautica**, v. 93, p. 148-161, 2014.
- SANCHEZ, L. M.; PAN, R. An Enhanced Parenting Process: Predicting Reliability in Product's Design Phase. **Quality Engineering**, v. 23, n. 4, p. 378-387, 2011.
- SARAKAKIS, G. et al. Special topics for consideration in a design for reliability process. **Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)**. p.1-6, Jan. 2011.
- SAUNDERS, M. et al. **Research methods for business students**. Londres: Pearson Education Limited, 2012.
- SERRA, J.; GIRARDI, R.; NOVAIS, P. Evaluating Techniques for learning non-taxonomic relationships of ontologies from text. **Expert Systems with Applications**, v. 41, p.5201 – 5211, 2014.
- SHARMA, V. et al. Reliability improvement of modern aircraft engine through failure modes and effects analysis of rotor support system. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 28, n. 6, p. 675-687, 2011.
- SHIM, H. J.; KIM, J. K. Durability analysis of an automotive component in consideration of inhomogeneous hardness. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 25, n. 3, p. 621-629, 2011.
- SHROUF, F.; ORDIERES, J.; MIRAGLIOTTA, G. Smart factories in industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the internet of things paradigm. In, IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2014, Malasia. **Proceedings of the 2014 IEEE IEEM**. [S.l.]: IEEE, p. 697–701, 2014.
- SILVERMAN, M. Return on investment for a Design for Reliability program. **Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)**. p.1-5. Jan. 2013.
- SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. USA: MIT Press, 1996.
- SIRIN, E.; PARSIA, B. SPARQL-DL: SPARQL Query for OWL-DL. In: _____. **3rd OWL Experiences and Directions Workshop (OWLED – 2007)**. [S.l.: s.n.], 2007.
- SIRIN, E. et al. Pellet: A practical OWL-DL *Reasoner*. **Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web**, v.5(2), p.51–53, 2007.
- STAAB, S.; STUDER, R. **Handbook on ontologies**. 2nd ed. [s.l.]: Springer Science & Business Media, 2009.
- STARK, J. **Product lifecycle management: 21st century paradigm for product realization**. Nova Iorque: Springer, 2005.

- SU, C. T. et al. Improving the reliability of electronic paper display using FMEA and Taguchi methods: A case study. **Microelectronics Reliability**, v. 54, n. 6-7, p. 1369-1377, 2014.
- SUHIR, E. Could electronics reliability be predicted, quantified and assured? **Microelectronics Reliability**, v. 53, n. 7, p. 925-936, 2013.
- TARASHIOON, S. et al. An approach to “Design for Reliability” in solid state lighting systems at high temperatures. **Microelectronics Reliability**, v. 52, n. 5, p. 783-793, 2012.
- TRAPPEY, A.J.C. et al. A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0. **Advanced Engineering Informatics**, v.33, p. 208-229, 2017.
- VAISHNAVI, V., KUECHLER, W. **Design research in information systems**. Retrieved. Dez. 2011
- VRANDECIC, D. **Ontology Evaluation**. 2010. 235 f. Tese de doutorado em Tecnologia. Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Alemanha, 2010.
- VRANDECIC, D. Ontology Evaluation. In: _____. **Handbook on Ontologies**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2 ed. 2009. p. 293–313.
- WAHLSTER, W. **From Industry 1.0 to Industry 4.0: Towards the 4th Industrial Revolution**, Forum Business meets Research, Luxemburgo, 2012.
- WANG, S. et al. Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. **Computer Networks**, v.101, p. 158-168, 2016.
- WEI, Z. et al. Accelerated durability testing and data analysis for products with multiple failure mechanisms. **International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering**, v. 19, n. 6, 2012.
- WOO, S. W. et al. Reliability design and case study of refrigerator parts subjected to repetitive loads under consumer usage conditions. **Engineering Failure Analysis**, v. 18, n. 7, p. 1818-1830, 2011.
- WU, J.; YAN, S. An approach to system reliability prediction for mechanical equipment using fuzzy reasoning Petri net. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: **Journal of Risk and Reliability**, v. 228, n. 1, p. 39-51, 2014.
- XUE, X. et al. Integration of analytical techniques in stochastic optimization of microsystem reliability. **Microelectronics Reliability**, v. 51, n. 5, p. 936-945, 2011.
- YADU, W.L.; BHIMGONDA, P.R. Reliability analysis and life cycle cost optimization: a case study from Indian industry. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 33, n. 3, p. 414-429, Jul. 2016.
- YANG, D. et al. A novel logic-based approach for failure modes mitigation control and quantitative system reliability analyses. **Eksploracja i Niezawodnosc**, v. 17, n. 1, p. 100-106, 2014.
- YANG, L. et al. Design-for-reliability implementation in microelectronics packaging development. **Microelectronics International**, v. 28, n. 1, p. 29-40, 2011.
- YANG, Q. et al. Reliable life prediction for special equipments with the measurable potential failure mode. **Dongbei Daxue Xuebao/Journal of Northeastern University**, v. 35, n. 1, p. 88-92, 2014.

YU, B. et al. Design for manufacturability and reliability in extreme-scaling VLSI. **Science China Information Sciences**, v. 59, n. 6, p. 1-23, 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A - REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Nesta seção será apresentada a revisão bibliométrica dos principais assuntos ligados a esta pesquisa. Esta revisão demonstra os principais trabalhos, aplicações e tendências observados nos últimos anos (2011-2016). A análise desses trabalhos foi utilizada para a identificação do estado-da-arte e, conseqüentemente, a obtenção de um direcionamento para os eixos da pesquisa.

Levantamento do Estado da Arte

A literatura em *Design for Reliability* contém um número restrito de publicações que demonstram os fundamentos e aplicações para *DfR*. Das publicações existentes, as diferentes abordagens estão ligadas principalmente a: teórico/investigativos (MARICAU;GIELEN, 2011;SARAKAKIS et al., 2011; SHIM;KIM, 2011; YANG, L. et al., 2011; PERPINA et al., 2012; HADI et al., 2012; MAK et al., 2014; SALOTTI; SUHIR, 2014; HE et al., 2015; PORCIUNCULA et al., 2016); estudos de caso (WOO et al., 2011; GRANATA et al., 2012; SU et al., 2014; WU; YAN, 2014; AZADEH et al., 2015; KLEYNER; NEBELING, 2016; YADU; BHIMGONDA, 2016; MELINDA; TIEN-WEI, 2016); modelagens matemáticas (XUE et al., 2011); (LI, 2013; LI et al., 2013; NAHAL; KHELIF, 2013; SILVERMAN, 2013; SUHIR, 2013; CATIC et al., 2015; SAENZ-DE-CABEZON; WYNN, 2015), análise de dados históricos para previsão da confiabilidade de um determinado produto (SANCHEZ; PAN, 2011; GEIGER; SARAKAKIS, 2016); MELINDA; TIEN-WEI, 2016); outros métodos para aumentar a confiabilidade de um produto (CHENG; DHILLON, 2011; JIN et al., 2011; SHARMA et al., 2011; LISCOUET et al., 2012; WEI et al., 2012; HSU et al., 2013; LI et al., 2013; NG et al., 2013; CHANG; KWON; KANG, 2014; YANG, Q. et al., 2014; YU et al., 2016).

Análise Bibliométrica dos Artigos

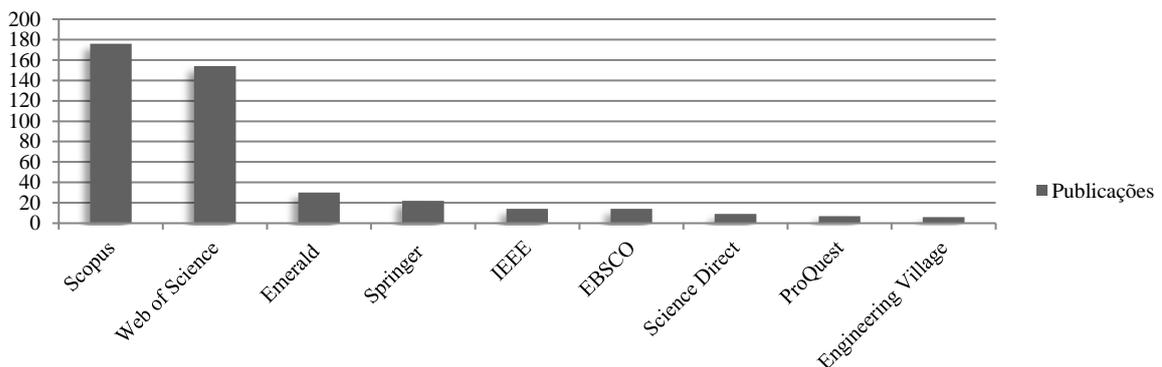
Um processo de seleção contendo diversas etapas e diferentes critérios foi adotado como estratégia para a realização da Análise Bibliométrica e escolha dos artigos da amostra, como será visto a seguir.

Em primeiro lugar, escolheram-se as palavras chave que seriam utilizadas durante todo processo de busca dos artigos. Três termos e suas variações foram escolhidos, seguindo os

objetivos iniciais do artigo e os eixos centrais da pesquisa. Assim, *Design for Reliability*, *DfR*, *New Product Development*, *NPD* e *Failure analysis* foram as palavras-chave escolhidas que, combinadas, compuseram as buscas.

Por meio das ferramentas de busca ProQuest, Engineering Village (COMPENDEX), Scopus, Web of Science, Emerald, Springer, Science Direct, EBSCO e IEEE, encontrou-se um total de 432 publicações (Gráfico 1), adotando-se como critério em todas as buscas um intervalo de tempo para os últimos anos (2011-2016). Todas essas publicações foram exportadas para o software EndNote, para facilitar a análise e manipulação dos dados. Em seguida, como critério inicial, optou-se por remover as referências duplicadas e não analisar nenhum livro ou capítulo de livro que estivesse presente nas publicações encontradas, restando assim 357 publicações. O passo seguinte foi a retirada de quaisquer artigos provenientes de revistas não ligadas à Engenharia (como artigos da área de Medicina, Fisioterapia, Esportes, Biologia etc.), restando então 321 artigos.

Gráfico 1 - Número de publicações por base de pesquisa



Fonte: O próprio autor

A partir desse último critério descrito acima, passou-se a analisar os artigos individualmente para se decidir quais deveriam ou não ser adotados neste projeto. Em primeiro lugar, realizou-se uma leitura dos títulos de todos os itens e, por meio desse critério, selecionaram-se somente os artigos com títulos condizentes com os objetivos e eixos da pesquisa, restando um total de 91 artigos para as análises seguintes.

Dando-se continuidade ao processo de triagem, consultou-se o Google Scholar para se obter o número de citações que cada artigo restante possuía, e assim selecionou-se somente os que haviam sido citados pelo menos uma vez. A partir desse critério, 54 artigos foram

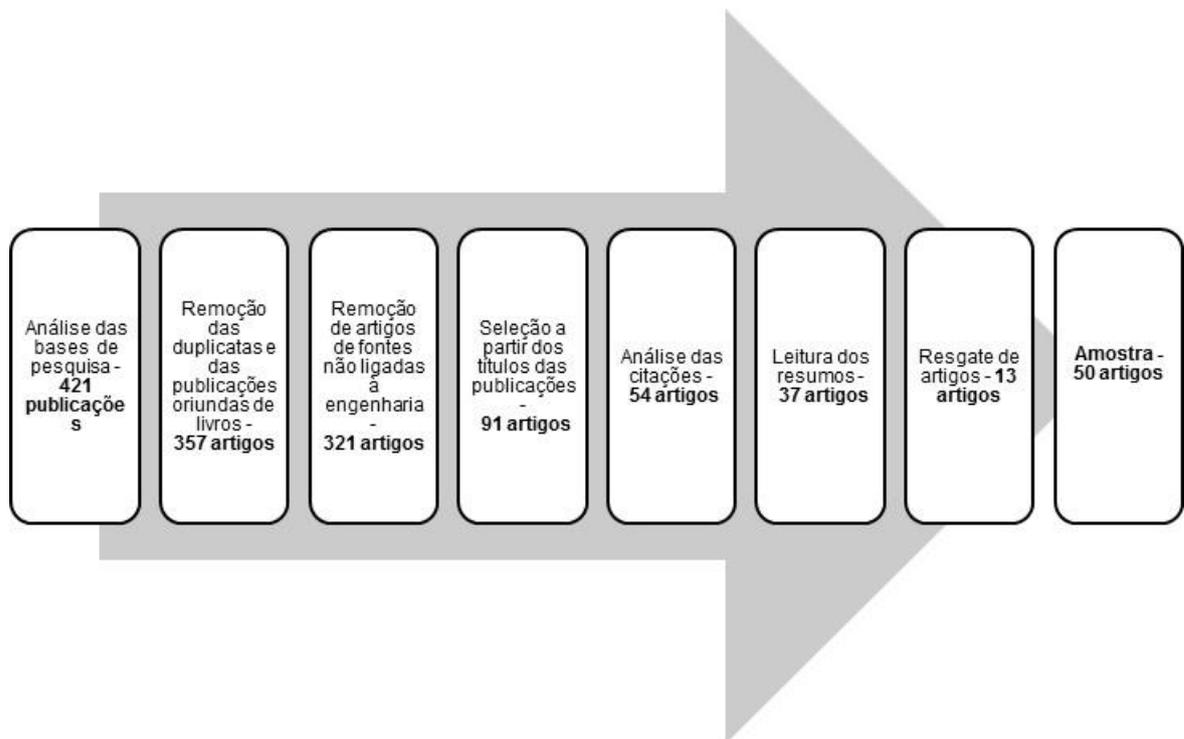
escolhidos e os demais foram colocados em estado de espera, para que se realizasse uma análise posterior e uma possível seleção.

A partir de então, uma leitura dos resumos dos 54 artigos que continuaram na triagem foi feita, para que se pudesse selecionar somente os que de fato tivessem alguma relação com a proposta da análise. Restaram assim, 37 publicações.

Desse ponto, retornou-se aos artigos colocados em estado de espera. Uma análise dos resumos dos que foram publicados no último ano fez com que mais 13 artigos fossem selecionados e adicionados à lista, resultando assim em 50 artigos para análise.

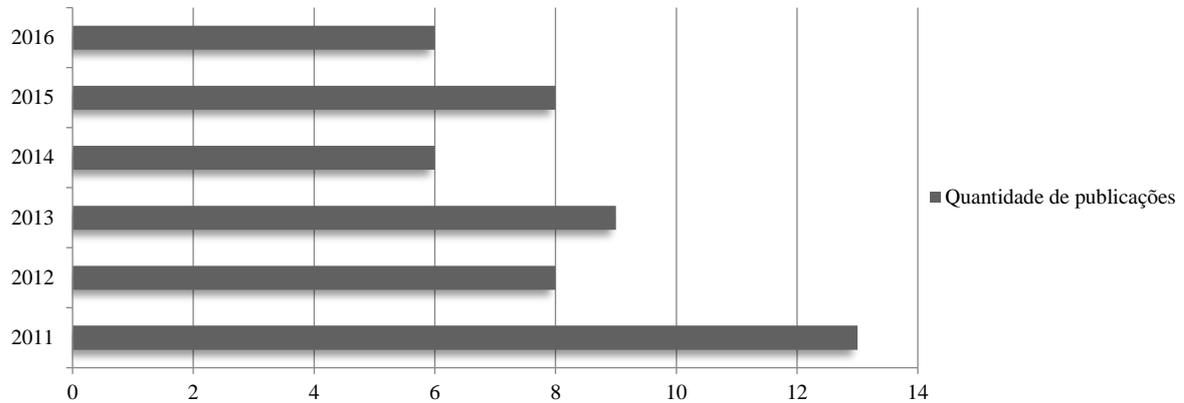
Uma síntese de toda metodologia adotada para seleção e análise dos artigos pode ser visualizada na Figura 28.

Figura 28 - Metodologia para seleção da amostra de artigos

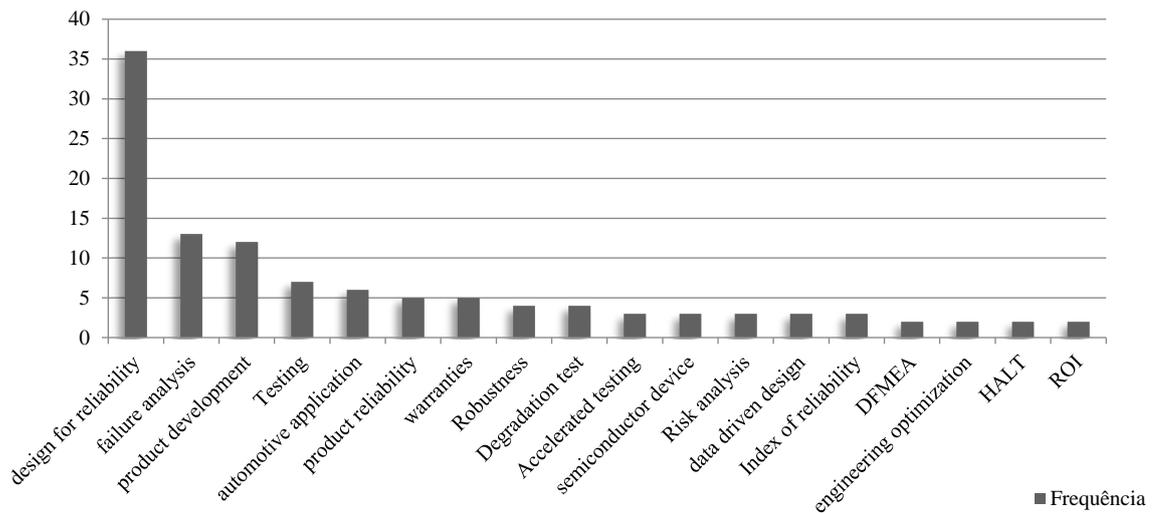


Fonte: O próprio autor

Dando continuidade à análise bibliométrica, realizou-se uma apuração dos autores das publicações, do ano e das principais palavras-chave encontradas nos 50 artigos selecionados. Observou-se que todas as publicações foram escritas por autores diferentes. Com relação ao ano de publicação, pode-se afirmar que o ano de 2011 foi o que mais apresentou publicações a respeito desses assuntos nos últimos anos (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Número de publicações por ano

Fonte: O próprio autor

Gráfico 3 - Análise das palavras chave nos artigos da amostra

Fonte: O próprio autor

Analisando a aparição das palavras chave nos artigos, foi necessário, em alguns casos, agrupar termos semelhantes que estivessem escritos de maneiras diferentes (exemplo: *Design for Reliability*, *Design of Reliability* e *DfR*). Percebeu-se, então, que o termo *Design for Reliability* é o que mais aparece, seguido de *Failure Analysis* e de *Product Development* (Gráfico 3).

Análise Sistêmica dos Artigos

Durante todo o processo de triagem e seleção dos artigos, o número de publicações a serem analisadas passou de 432 para 50. Desse momento em diante, iniciou-se o processo de Análise Sistêmica dos artigos com o intuito de se compreender melhor a abordagem de cada um deles.

Assim, uma leitura cuidadosa dos trabalhos permitiu que se extraíssem as principais informações publicadas. Uma planilha foi então preenchida, com dados oriundos das publicações como objetivos, metodologia, principais resultados, recomendações futuras, unidade de análise adotada, dentre outras.

Por meio de tal planilha, foi possível obter as primeiras conclusões a respeito dos artigos e realizar uma análise inicial das principais recomendações que servirão para pesquisas posteriores. Além disso, foi possível reconhecer as oportunidades e pontos fortes da análise dos temas escolhidos.

Ao final dessa análise, obteve-se uma visão mais crítica do conteúdo trabalhado, bem como conhecimento mais amplo das aplicações, fundamentos e descobertas envolvendo *DfR* nas etapas iniciais de design de produtos, como poderá ser observado na seção intitulada Apresentação do Estado da Arte a Respeito de *DfR*. Além disso, um levantamento sobre os desafios e as abordagens que são esperadas de pesquisas futuras é descrito na seção Oportunidades de Pesquisa.

Apresentação do Estado da Arte a Respeito de *DfR*

Nesta seção, os fundamentos conceituais envolvendo *Design for Reliability* foram avaliados com base na revisão da amostra de artigos adotada neste projeto. Esta avaliação inclui a definição conceitual, a estratégia a ser adotada para utilização de *DfR* nas etapas iniciais de design de produtos e suas vantagens, bem como a demonstração de algumas aplicações já relatadas na literatura e seus principais resultados.

Definição dos Principais Conceitos

Design for Reliability é uma abordagem que descreve o inteiro conjunto de ferramentas que suportam o esforço para se melhorar a confiabilidade de um produto e que são aplicadas do nível conceitual desse bem até a sua obsolescência. O sucesso na aplicação de *DfR* está diretamente ligado à seleção das ferramentas de confiabilidade apropriadas para cada fase do

desenvolvimento do produto e a correta implementação destas ferramentas (SARAKAKIS et al., 2011).

O conceito de *DfR* envolve todos os aspectos do ciclo de vida de um produto, incluindo conceituação, design, manufatura, testes e aplicações em campo. Tal conceito deve ser introduzido no ciclo de desenvolvimento de produtos o mais cedo possível. O conhecimento a respeito de *DfR* é parcialmente acumulado do aprendizado a partir dos erros. O aprendizado é então refletido em novas regras de design, melhor uso dos materiais disponíveis e melhoria nos processos (YANG et al., 2011).

Conforme Silverman (2013), para que um bom programa de aplicação de *DfR* seja implementado com sucesso, é necessário:

1. Definir as metas no início do programa e desenvolver um plano para alcançar tais objetivos.
2. Permitir que os objetivos voltados à confiabilidade sejam dirigidos por uma equipe de confiabilidade.
3. Providenciar métricas de forma que seja possível medir qual o posicionamento da empresa em relação aos objetivos previamente estabelecidos.
4. Escrever um plano de confiabilidade para direcionar o programa.

Para o planejamento de adoção de *DfR*, faz-se necessário utilizar dados de testes, o que envolverá muitos diferentes aspectos e ferramentas que influenciarão a melhoria no design de um produto e sua confiabilidade. Assim, pessoas, departamentos e outros órgãos podem ser envolvidos (GEIGER; SARAKAKIS, 2016).

Para aplicar *DfR*, algumas ferramentas podem ser utilizadas na simplificação das análises relacionadas à confiabilidade dos produtos. Pode-se citar, como exemplo, Popovic et al. (2012), que utiliza *Quality Function Deployment* (QFD) para traduzir as necessidades dos usuários em especificações de design. Por outro lado, Wu e Yan (2014) utilizam as redes de Petri para previsão da confiabilidade de um equipamento mecânico. Chang; Kwon; Kang (2014) utilizam a distribuição estatística Weibull para estimativa de falhas de cilindros pneumáticos. O uso de FTA e de DFMEA, de forma integrada, é feito por Azadeh et al. (2015) para se elaborar a melhor configuração para um determinado produto.

Estratégia para Aplicação do *DfR*

A metodologia para implementação do *DfR* deve, de acordo com Yang et al. (2014), compreender os seguintes aspectos:

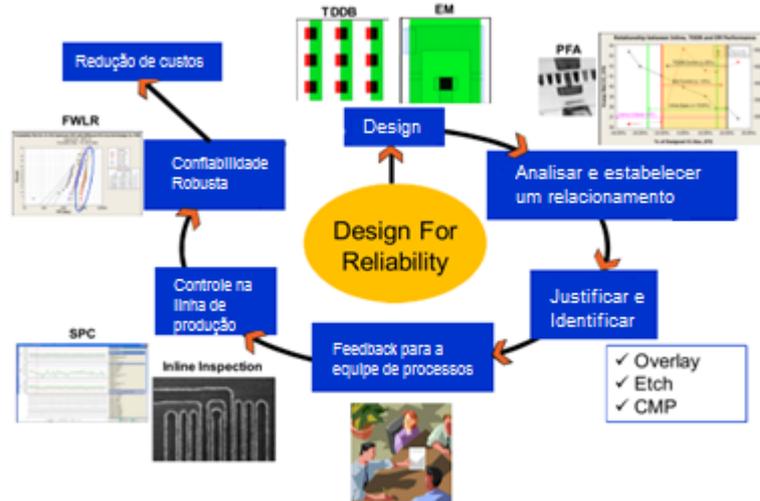
- Compreender as condições de utilização do usuário final;

- Definir as requisições de confiabilidade considerando as necessidades dos consumidores e as capacidades da empresa;
- Identificar os riscos chave de confiabilidade e os mecanismos de falha;
- Estar ciente dos processos de manufatura e dos materiais;
- Estar ciente do que já tenha sido realizado e que não funcionou e as razões;
- Estar ciente da confiabilidade dos itens a serem selecionados;
- Reutilizar designs confiáveis já adotados em produtos anteriores;
- Analisar e assessorar planos que acompanhem os riscos de confiabilidade;
- Participar ativamente no ciclo de desenvolvimento de produtos;
- Assegurar a qualidade e a confiabilidade dos componentes com os fornecedores;
- Todos os processos de manufatura e montagem devem ser capazes de produzir dentro dos limites estatísticos aceitáveis; e
- Monitorar e controlar constantemente a confiabilidade do processo.

Uma estratégia para implementação do *DfR* é proposta por Ng et al. (2013) com o objetivo de se reduzir a taxa de mortalidade infantil (falhas prematuras) dos produtos. De acordo com esta estratégia, o uso da otimização de engenharia é proposto para se compreender os fatores críticos da fase de design e do processo e, assim, determinar com eficácia e eficiência as condições ótimas para o processo, o que pode assegurar a confiabilidade robusta.

Assim, um conjunto de testes de confiabilidade dos itens é usado para avaliar o impacto da variação do processo na margem de confiabilidade. Tais testes permitem a coleta de dados de confiabilidade de uma maneira prática e efetiva desde a fase de desenvolvimento até a de produção. Como os dados de confiabilidade dos itens coletados são simuladas condições de manufatura, com suas devidas variações, esses podem ser usados para estimar a variação do processo com relação à margem de confiabilidade. Dessa maneira, possibilitam-se mudanças nas especificações de design, na otimização do processo ou, ainda, um planejamento do controle de confiabilidade a ser implementado para a redução dos potenciais problemas que afetam a margem de confiabilidade. Por meio da Figura 29, é possível perceber as principais etapas da estratégia descrita.

Figura 29 - Estratégia para implementação de *DfR*



Fonte: Ng et al. (2013)

Algumas Aplicações de *DfR*

A partir da amostra de artigos selecionada, encontra-se diversas aplicações para os estudos de confiabilidade. Há exemplos de aplicações práticas, como nos estudos de caso, investigações teóricas e matemáticas e ainda aplicações de metodologias distintas para se obter uma previsão e uma possível melhoria na confiabilidade dos produtos.

Dentre as aplicações analisadas, pode-se citar o trabalho de Suhir (2013), que aplica os conceitos de probabilidade a *DfR* buscando quantificar, prever e assegurar a confiabilidade de produtos eletrônicos e compreender a natureza das falhas destes produtos. Compara-se então o método proposto com um método tradicional já utilizado, o *Highly Accelerated Life Testing* (HALT), o qual pode testar os limites de confiabilidade de um produto, porém não consegue quantificá-la. O modelo obtido é sugerido para o cálculo da confiabilidade de novos produtos, uma vez que para estes não há dados de confiabilidade operacional nem mesmo experiência das melhores práticas a serem aplicadas.

Em outro trabalho de destaque, Kleyner e Nebeling (2016) realizam estudo de caso que faz aplicação de testes inteligentes e avaliação robusta no processo de *DfR*, com o intuito de se otimizar o fluxo do processo, alcançar uma economia nos custos, reduzir o número de validações em design e, por conseguinte, o número de testes. O estudo de caso ocorre da aplicação desses conceitos em uma unidade de produção de equipamentos automotivos eletrônicos. Como resultado, obtém-se uma melhoria no processo de design e de validação dos

produtos e alcançou-se uma redução de custos de produção. Sugere-se que a metodologia adotada fosse aplicada em outros setores para a avaliação do que fora proposto.

O trabalho realizado por Tarashioon et al. (2012) faz a aplicação do *DfR* em uma nova tecnologia de iluminação, o Solid State Lighting (SSL). Pelo fato desta tecnologia ser ainda recente, não há muitas pesquisas a respeito de sua confiabilidade e, assim, a introdução de *DfR* é realizada em três níveis. Primeiramente, analisa-se a fase de design, quando as falhas do dispositivo e sua confiabilidade são investigadas.

Com base nesses resultados, as causas de falhas e suas relações com o tempo de vida de um dispositivo SSL são definidos. Dessa maneira, sensores são alocados nas posições apropriadas dos pontos críticos de falhas. Assim, a segunda etapa do trabalho consiste no processamento de dados dos sensores enquanto o dispositivo encontrava-se em funcionamento. Esses dados são, então, processados para calcular o tempo de vida do dispositivo.

A última etapa da análise de confiabilidade consiste na capacidade de o sistema prever as suas falhas e ser funcional por um período de tempo mais longo. A abordagem proposta é um exemplo de aplicação de *DfR* em sistemas que disponibilizam muitas informações a respeito da confiabilidade do produto.

Oportunidades de Pesquisa

Analisando a amostra de artigos, foram percebidas cinco oportunidades de pesquisa, descritas a seguir:

(1) Aplicação de ferramentas de qualidade para auxiliar a implementação de *DfR*: A aplicação de ferramentas de qualidade combinadas pode resultar em um aumento significativo na confiabilidade de produtos e processos. Jin et al. (2011) realizam a aplicação da metodologia Seis Sigma nas redes de distribuição de manufaturas, com o objetivo de alcançar um produto de alta confiabilidade em um menor espaço de tempo. Já Su et al. (2014) utilizam dos métodos Taguchi e FMEA para o aumento da confiabilidade de *electronic paper displays* (como *e-book's*). He et al. (2015) utilizam gráficos de controle para monitoramento do processo de manufatura e, com isso, assegurar a confiabilidade dos produtos.

Como a literatura aponta casos de utilização de ferramentas separadas para a melhoria na confiabilidade de produtos, a junção de duas ou mais ferramentas para análise e melhoria do processo de design e manufatura poderia ser mais bem explorada em pesquisas futuras.

(2) Modelagem matemática para prever a confiabilidade de um produto: Boa parte dos artigos analisados adotam métodos matemáticos e estatísticos para previsão da confiabilidade

de determinados produtos (XUE et al., 2011; LI et al., 2013; NAHAL; KHELIF, 2013; SILVERMAN, 2013; SUHIR, 2013; CATIC et al., 2015; SAENZ-DE-CABEZON; WYNN, 2015). Assim, a partir das especificações do produto e das condições de uso, é possível calcular o índice de falhas e a confiabilidade. O uso de métodos estatísticos e matemáticos pode ser adotado para a previsão da confiabilidade de diferentes produtos que não estejam listados na literatura analisada, bem como pode ser realizada uma análise da natureza das falhas desses itens.

(3) Elaboração de uma estratégia global para *DfR*: Entre os artigos analisados, poucos descrevem a aplicação de um programa *DfR*. É sabido que o uso de *DfR* em todas as fases de design de produto traz ganhos significativos em termos econômicos e também para a imagem da empresa. Trabalhos como os de Sarakakis et al. (2011) e Ng et al. (2013) apontam uma estratégia específica para o seu uso. No entanto, em nenhum artigo analisado foi possível encontrar uma estratégia abrangente, que servisse como base para empresas de diferentes setores.

A elaboração de uma estratégia de amplo alcance ou global – que leve em consideração os principais aspectos a serem observados em cada situação específica bem como a sua aplicação para teste em diferentes setores – surge como uma recomendação de pesquisa futura.

(4) Análise de dados históricos de testes e de informações provenientes da assistência técnica: A análise de dados históricos, como o fazem Geiger e Sarakakis (2016) e Melinda e Tien-Wei (2016), pode ser útil para modelagem e previsão da confiabilidade de um produto. Com base nesse trabalho, pode-se estimar o quão próximo do valor inicialmente previsto e esperado encontra-se a confiabilidade de um determinado produto ou mesmo realizar uma modelagem que determine o índice de falhas. A utilização de dados reais para a realização de cálculos permite a aplicação dos resultados em empresas onde haja registros históricos de testes ou de informações de falhas provenientes da assistência técnica.

(5) Análise dos componentes críticos de um produto: Para melhorar a confiabilidade de um item, a análise de componentes críticos e que possuam alguma influência no funcionamento do produto pode ser uma ferramenta útil, particularmente na investigação da natureza das falhas, dos fatores externos e de uso e dos pontos críticos que implicam em redução na confiabilidade. Porciuncula et al. (2016) realizam um estudo similar, no qual se avaliou como cada estado operacional de componentes específicos influencia na estimativa de confiabilidade de equipamentos automáticos. Outro trabalho que realiza uma análise nesses moldes é o de Hadi et al. (2012), o qual encontra seis fatores críticos que afetam a confiabilidade dos subsistemas de uma escavadeira.

A oportunidade de pesquisa (5) foi selecionada como tema central deste projeto, o qual buscou realizar uma investigação mais detalhada dos fatores externos e de uso no planejamento de testes e na consequente confiabilidade de motores de arranque. Observou-se também, na amostra de artigos do portfólio bibliométrico, que em nenhum exemplo houve a utilização de ontologias para análise dos fatores críticos e implementação do *DfR* nas etapas iniciais do PDP.

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO

Quadro 8 - Questionário respondido pelo representante da empresa

Questionário para avaliação do modelo ontológico	
Representante: -	Departamento: Eng. Produto
Dimensão - Estrutura do Modelo	
Acurácia – O conhecimento gerado pela ontologia está de acordo com o contexto de planejamento de testes de motores de arranque?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input checked="" type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável
Coesão – A maneira como os termos da ontologia estão relacionados entre si corresponde ao contexto de planejamento de testes de motores de arranque?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input checked="" type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável
Consistência – A ontologia apresenta uma consistência lógica, i.e., as inferências realizadas não são contraditórias?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input checked="" type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável
Integralidade – Todo conhecimento esperado a respeito do contexto de planejamento de testes de motores de arranque se encontra na ontologia?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input checked="" type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável
Dimensão - Usabilidade	
Possibilidade de reuso – A ontologia pode ser facilmente reutilizada, alterando-se as características do domínio?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input checked="" type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável
Transparência e clareza – É possível se compreender com clareza os detalhes da ontologia, sua utilidade e objetivos?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input checked="" type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável
Dimensão – Qualidade em Uso	
Efetividade – A ontologia responde as questões de competência apresentadas?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input checked="" type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável
Satisfação do usuário - Este modelo ontológico pode ser utilizado na resolução dos problemas relacionados ao planejamento de testes de motores de arranque descritos pela empresa?	<input type="checkbox"/> Ultrapassa as expectativas <input checked="" type="checkbox"/> Atinge o objetivo <input type="checkbox"/> Minimamente aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável

Fonte: O próprio autor