

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

**SISTEMA ESPECIALISTA BASEADO EM MODELO ONTOLÓGICO PARA  
APOIO AO PROJETO DETALHADO DE PRODUTOS NO CONTEXTO DE  
MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

JULIANA SCHMIDT

CURITIBA

2017



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

**SISTEMA ESPECIALISTA BASEADO EM MODELO ONTOLÓGICO PARA  
APOIO AO PROJETO DETALHADO DE PRODUTOS NO CONTEXTO DE  
MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

**JULIANA SCHMIDT**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à 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**

---

S352s Schmidt, Juliana  
2017 Sistema especialista baseado em modelo ontológico para apoio ao projeto detalhado de produtos no contexto de máquinas agrícolas / Juliana Schmidt.-- 2017.  
100 f.: il.; 30 cm.

Texto em português, com resumo em inglês.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, 2017.  
Bibliografia: p. 74-82.

1. Engenharia mecânica - Dissertações. 2. Processos de fabricação. 3. Ontologia. 4. Gestão do conhecimento. 5. Produtos novos - Desenvolvimento. 6. Representação do conhecimento (Teoria da informação). 7. Máquinas agrícolas. I. Borsato, Milton. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 620.1

---

**Biblioteca Ecoville da UTFPR, Câmpus Curitiba**

**TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº \_\_\_\_\_**

A Dissertação de Mestrado intitulada: **Sistema Especialista Baseado em Modelo Ontológico para Apoio ao Projeto Detalhado de Produtos no Contexto de Máquinas Agrícolas**, defendida em sessão pública pela Candidata **Juliana Schmidt**, no dia 10 de agosto 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

Prof. Dr. Milton Pires Ramos - TECPAR

Prof. Dr. Carlos Cziulik – UTFPR

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Carla Cristina Amodio Estorilo - 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

---

SCHMIDT, Juliana. **SISTEMA ESPECIALISTA BASEADO EM MODELO ONTOLÓGICO PARA APOIO AO PROJETO DETALHADO DE PRODUTOS NO CONTEXTO DE MÁQUINAS 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, 100 p.

## **RESUMO**

Uma grande quantidade de informações de projeto, provenientes de diferentes áreas, tornou-se comum na maioria das organizações. Nessas condições, há dificuldades no compartilhamento e reutilização de conhecimento, especialmente pelo fato de que este conhecimento está disponível dentro da empresa em diferentes formatos e em diferentes locais. Devido a isso, os engenheiros de projeto muitas vezes não conseguem utilizar essas informações. Assim, é importante que as empresas possam organizar e integrar o conhecimento disponível de forma colaborativa, a fim de garantir seu melhor aproveitamento. Nesse contexto, a abordagem chamada Engenharia Baseada em Conhecimento (KBE) pode ser associada. Através de conceitos KBE, a presente dissertação tem como objetivo desenvolver um sistema especialista baseado em um modelo de ontologia, que permita o armazenamento e fornecimento de informações úteis no momento certo do desenvolvimento de produtos. Tal solução deve atender às necessidades de seus usuários (i.e. projetistas), bem como melhorar a qualidade de atividades de projeto ao longo do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP). Para este estudo os seguintes passos foram adotados: (a) a delimitação do escopo de ação (i.e. etapas do PDP a serem definidas como foco); (b) captura do conhecimento; (c) normalização; (d) estruturação do conhecimento através de ontologias; (e) elaboração de buscas; e (f) avaliação de desempenho da solução. A presente proposta tem como finalidade facilitar o acesso à informações, reduzir o aparecimento de falhas ao longo do PDP, bem como permitir que o conhecimento adquirido possa ser utilizado em projetos subsequentes (e.g. lições aprendidas).

**Palavras-chave:** Engenharia Baseada em conhecimento; KBE; Ontologia; Processo de Desenvolvimento de Produto.

SCHMIDT, Juliana. **EXPERT SYSTEM BASED ON ONTOLOGICAL MODEL TO SUPPORT THE DETAILED PROJECT OF PRODUCTS IN THE CONTEXT OF AGRICULTURAL MACHINERY**, 2017, Master's Degree Dissertation in Manufacturing Engineering – Post-Graduate Program in Mechanical and Materials Engineering, Federal University of Technology – Paraná, Curitiba, 100 p.

### **ABSTRACT**

The large amount of available design information from different areas has become common in most organizations. Under these conditions, there are difficulties in sharing and reusing knowledge, especially by the fact that this knowledge is available within the company in different formats and locations. Due to this, design engineers often fail to use such information. To ensure a better use, it is important to organize and integrate the available knowledge in a collaborative manner. In this context, the Knowledge-based Engineering (KBE) approach can be associated. Through KBE concepts, the current study aims to develop an expert system based on an ontology model for assisting decision making, by storing and providing useful information in a timely manner. Such solution should meet the needs of its users (i.e. designers), as well as improve the quality of design activities along the Product Development Process (PDP). For this study, the following steps have been adopted: (a) delimitation of action scope (i.e. steps of PDP to be focused); (b) knowledge capture; (c) standardization; (d) knowledge structuring through ontologies; (e) building of queries; (f) evaluation of solution performance. The application of the present proposal aims to facilitate the access to information, significantly reduce the appearance of failures along the PDP, as well as allow acquired knowledge to be used in subsequent projects (e.g. lessons learned).

**Keywords:** Knowledge-Based Engineering, KBE, Ontology, Product Development Process.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Etapas do PDP associadas aos conhecimentos .....	24
<b>Figura 2</b> – PDP sob a perspectiva de processamento de informações.....	24
<b>Figura 3</b> – Relação entre padrões e o PLM .....	28
<b>Figura 4</b> – Estrutura geral de um Sistema baseado em conhecimento .....	32
<b>Figura 5</b> – Estrutura metodológica baseada na abordagem DSR .....	35
<b>Figura 6</b> – Procedimento metodológico .....	41
<b>Figura 7</b> – Representação de um mapa mental através do software XMind .....	49
<b>Figura 8</b> – Taxonomia de classes do modelo de ontologia proposto no editor Protégé.....	50
<b>Figura 9</b> – Exemplo de propriedade de objeto.....	51
<b>Figura 10</b> – Exemplo de propriedade de dado.....	51
<b>Figura 11</b> – Definição da classe HoseHistorical e do indivíduo HoseCase1 .....	52
<b>Figura 12</b> – Representação gráfica gerada pelo <i>plug-in</i> OWLViz .....	53
<b>Figura 13</b> – Descrição de uma classe proposta no modelo no editor Protégé .....	55
<b>Figura 14</b> – Descrição da classe HoseAvailableOption .....	56
<b>Figura 15</b> – Exemplo de indivíduo da classe HoseAvailableOption .....	56
<b>Figura 16</b> – Indivíduo Hose1Supplier1 da classe HoseAvailablePerSupplier .....	57
<b>Figura 17</b> – Representação gráfica gerada pelo <i>plug-in</i> OWLViz .....	57
<b>Figura 18</b> – Descrição da classe Pressure.....	57
<b>Figura 19</b> – Exemplo de indivíduo da classe Pressure .....	58
<b>Figura 20</b> – Resultado da busca através do <i>plug-in</i> Snap-SPARQL .....	60
<b>Figura 21</b> – Resultado da busca no <i>plug-in</i> Snap-SPARQL.....	61
<b>Figura 22</b> – Resultado de busca no <i>plug-in</i> Snap-SPARQL.....	62
<b>Figura 23</b> – Resultado de busca no <i>plug-in</i> Snap-SPARQL.....	63
<b>Figura 24</b> – Resultado de busca no <i>plug-in</i> Snap-SPARQL.....	64
<b>Figura 25</b> – Representação do indivíduo HoseCase2 .....	65
<b>Figura 26</b> – Busca realizada na plataforma Stargod.....	66
<b>Figura 27</b> – Busca realizada na plataforma Stardog.....	67
<b>Figura 28</b> – Variáveis e valores para avaliação de artefatos .....	68
<b>Figura 29</b> – Processo para Mapeamento do Conhecimento de um Tema – ProKnow-C.....	84
<b>Figura 30</b> – Etapas para a construção do portfólio bibliográfico.....	88



## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Evidenciação do número de artigos mais relevantes .....	89
<b>Gráfico 2</b> – Número de citações dos artigos do portfólio .....	89
<b>Gráfico 3</b> – Autores com maior participação nas referências do portfólio .....	90
<b>Gráfico 4</b> – Número de vezes que as palavras-chave aparecem nos artigos do portfólio .....	90
<b>Gráfico 5</b> – Número de artigos com relação ao ano de publicação .....	91
<b>Gráfico 6</b> – Número de artigos por periódico .....	91
<b>Gráfico 7</b> – Periódicos do portfólio com relação aos fatores de impacto .....	92

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Diferenças entre conhecimento tácito e explícito .....	23
<b>Quadro 2</b> – Tipos de representações de conhecimento .....	25
<b>Quadro 3</b> – Métodos propostos para a construção de soluções de KBE .....	29
<b>Quadro 4</b> – Problemas encontrados devido a falhas de projeto .....	44
<b>Quadro 5</b> – Ferramentas computacionais de KBE .....	45
<b>Quadro 6</b> – Cenários considerados na pesquisa .....	47
<b>Quadro 7</b> – Questionário entregue aos engenheiros da empresa.....	69
<b>Quadro 8</b> – Eixos e palavras-chave de pesquisa .....	86

## LISTA DE ACRÔNIMOS

CAD	Desenho Auxiliado por Computador (do inglês <i>Computer-Aided Design</i> )
CAE	Engenharia Auxiliada por Computador (do inglês <i>Computer-Aided Engineering</i> )
CAM	Manufatura Auxiliada por Computador (do inglês <i>Computer-Aided Manufacturing</i> )
CAX	Tecnologias Auxiliadas por Computador (do inglês <i>Computer-Aided Technologies</i> )
CE	Engenharia Simultânea (do inglês <i>Concurrent Engineering</i> )
DL	Lógica Descritiva (do inglês <i>Description Logics</i> )
DSR	Pesquisa em Ciências de Projeto (do inglês <i>Design Science Research</i> )
ECO	Ordem de Alteração de Engenharia (do inglês <i>Engineering Change Order</i> )
ECR	Solicitação de Alteração de Engenharia (do inglês <i>Engineering Change Request</i> )
ERP	Sistema de Gestão Empresarial (do inglês <i>Enterprise Resource Planning</i> )
IA	Inteligência Artificial
IE	Máquina de Inferência (do inglês <i>Inference Engine</i> )
IMPROVE	Método para avaliação (do inglês <i>Integrated Method for PROcess Value Evaluation</i> ),
KBE	Engenharia Baseada em Conhecimento (do inglês <i>Knowledge-Based Engineering</i> )
KBS	Sistemas Baseados em Conhecimento (do inglês <i>Knowledge-Based Systems</i> ).
KM	Gerenciamento do Conhecimento (do inglês <i>Knowledge Management</i> )
KNOMAD	Método para o desenvolvimento de aplicações de Engenharia Baseada em Conhecimento (do inglês <i>Knowledge Nurture for Optimal Multidisciplinary Analysis and Design</i> )
KOMPRESSA	Método orientado a conhecimento para o desenvolvimento de aplicações em pequena escala (do inglês <i>Knowledge-Oriented Methodology for the Planning and Rapid Engineering of Small-Scale Applications</i> )

MOKA	Método para o desenvolvimento de aplicações de Engenharia Baseada em Conhecimento (do inglês <i>Methodology and Tools Oriented to Knowledge-based Applications</i> )
OWL	Linguagem de Semântica Web (do inglês <i>Web Ontology Language</i> )
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PDM	Gerenciamento de Dados do Produto (do inglês <i>Product Data Management</i> )
PLM	Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (do inglês <i>Product Lifecycle Management</i> )
POO	Programação-Orientada a Objeto
RDF	Modelo padrão para Intercâmbio de Dados na Web (do inglês <i>Resource Description Framework</i> )
SCP	Sistemas Ciberfísicos (do inglês <i>Cyber-Physical Systems</i> )
SE	Sistema Especialista
STEP	Padrão internacional para a integração, apresentação e intercâmbio de dados de produtos industriais, via computador (do inglês <i>STandard for the Exchange of Product model data</i> )
TI	Tecnologia da Informação
XML	Recomendação para gerar linguagens de marcação para necessidades especiais (do inglês <i>eXtensible Markup Language</i> )

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	CONTEXTO .....	12
1.2	OBJETIVO .....	19
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>20</b>
1.3	JUSTIFICATIVA .....	20
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	21
<b>2</b>	<b>CONHECIMENTO NO AMBIENTE DO PDP.....</b>	<b>22</b>
2.1	CONHECIMENTO.....	22
2.2	CONHECIMENTO AO LONGO DO PDP .....	23
2.3	GERENCIAMENTO DO CONHECIMENTO .....	26
2.4	FERRAMENTAS DE SUPORTE AO PDP .....	27
2.5	ENGENHARIA BASEADA EM CONHECIMENTO (KBE).....	27
2.6	CAPTURE DO CONHECIMENTO .....	29
2.7	ESTRUTURAÇÃO DO CONHECIMENTO.....	30
<b>2.7.1</b>	<b>Linguagem formal para estruturação do conhecimento .....</b>	<b>30</b>
2.8	SISTEMAS ESPECIALISTAS .....	31
<b>3</b>	<b>ASPECTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>34</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	34
3.2	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO .....	36
<b>3.2.1</b>	<b>Identificação do Problema e Motivação .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Definição de Objetivos e Solução .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Projeto e Desenvolvimento .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Demonstração .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Avaliação .....</b>	<b>41</b>
3.3	LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	42
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
4.1	DIAGNÓSTICO .....	43
<b>4.1.1</b>	<b>Avaliação das ECOs e entrevistas.....</b>	<b>43</b>
4.2	DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO .....	45

<b>4.2.1 Ferramentas computacionais de KBE.....</b>	<b>45</b>
4.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO DE ONTOLOGIA.....	46
4.4 DEMONSTRAÇÃO.....	59
<b>4.4.1 Buscas (<i>Queries</i>).....</b>	<b>59</b>
4.5 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO.....	67
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>83</b>
APÊNDICE A.....	83
APÊNDICE B.....	99
APÊNDICE C.....	100

## 1 INTRODUÇÃO

A cada instante incontáveis novas informações, de diversas origens, se tornam disponíveis a todos. Devido aos diferentes meios de comunicação e a facilidade de acesso, é difícil absorver e avaliar quais destas informações são realmente úteis. Neste sentido, é possível introduzir o contexto industrial. Pode-se evidenciar analogamente que, em tal ambiente, muitas informações estão disponíveis, mas alguns obstáculos são encontrados.

Realidade comum não apenas à indústria automotiva como para outros segmentos, que boas práticas de projeto referentes a sistemas complexos estejam disponíveis sob a forma de normas ou outros documentos de conhecimento técnico. Por se encontrarem em diferentes locais e formatos, muitas vezes tais documentos deixam de ser utilizados por equipes de projeto, o que pode gerar subsequentes falhas ou não conformidades nos produtos.

Este capítulo apresenta inicialmente o contexto industrial com relação ao processo de desenvolvimento de produto, os conhecimentos envolvidos em tal processo e as dificuldades enfrentadas pelos projetistas para encontrá-los. Na sequência, apresenta-se a abordagem de Engenharia Baseada em Conhecimento (KBE) e trabalhos propostos na literatura relacionados a tal abordagem, que se propuseram a auxiliar engenheiros na execução de suas atividades. As lacunas são identificadas em seguida, culminando na pergunta de pesquisa e nos objetivos geral e específicos do presente trabalho. Finalmente, justifica-se o trabalho proposto.

### 1.1 CONTEXTO

O processo de desenvolvimento de produto (PDP) é um processo de negócio e corresponde a um conjunto de atividades que permite, a partir das necessidades de mercado, possibilidades e restrições tecnológicas, delinear desde a definição do produto até a sua descontinuidade (ROZENFELD; FORCELLINI; AMARAL, 2000).

Entre as características apontadas por Cooper e Kleinschmidt (1995) para que as empresas alcancem o sucesso, é possível destacar que o processo de desenvolvimento de novos produtos deve ser de alta qualidade, ou seja, cada etapa deve ser realizada completa e profundamente, com tomadas de decisão mais assertivas. Além disso, a estratégia para desenvolver tal produto deve ser bem comunicada, i.e. todos os envolvidos devem compreender os objetivos pretendidos, para que, ao final, a proposta inicial seja adequadamente atendida.

Assim, observar o produto e processo de desenvolvimento de forma integrada é essencial para a engenharia colaborativa (DÉTIENNE, 2006; LU et al., 2007), principalmente

quando sistemas complexos estão envolvidos (MCMAHON; LOWE; CULLEY, 2004). Além disso, deve-se envolver também o desenvolvimento de novos métodos no processo de projeto, com o aprimoramento do contexto de Engenharia Simultânea (CE – do inglês *Concurrent Engineering*) (MONTICOLO et al., 2015).

No entanto, dificuldades relacionadas ao complexo relacionamento entre as diversas áreas envolvidas ao longo do PDP são frequentemente encontradas (RELICH; ŚWIĆ; GOLA, 2015). Esta multidisciplinaridade torna o processo ainda mais complexo e iterativo, o que demanda intensivo conhecimento (THOMKE; FUJIMOTO, 2000; GOFFIN; KONERS, 2011; HUANG et al., 2016).

A combinação de equipes distribuídas, complexidade de produtos e grande quantidade de conteúdo intelectual traz à tona a preocupação com o gerenciamento do capital intelectual (MCMAHON; LOWE; CULLEY, 2004). Assim, ser capaz de capturar, armazenar e disponibilizar conhecimento permite que empresas conquistem vantagens competitivas, melhorando o desempenho de seu PDP. Diante disso, é possível destacar o conhecimento como um componente chave no processo de desenvolvimento.

De acordo com Wiig (1997), o capital intelectual ou conjunto de conhecimentos é o bem mais importante das empresas, pois representam seu potencial futuro. Ao longo do processo de desenvolvimento, uma grande quantidade de dados, informações e conhecimentos (CHANDRASEGARAN et al., 2013; ZHANG; LI, 2013) são conduzidos.

O PDP é um processo complexo que envolve uma grande rede de informações e, segundo Ullman (2001), pode ser destacado por tomadas de decisão a serem realizadas. Dentro desta rede, participantes ou equipes de desenvolvimento coletam informações de entrada necessárias, realizam avaliações ou análises, tomam decisões e então disponibilizam informações de saída que são utilizadas em atividades subsequentes (YASSINE; SREENIVAS; ZHU, 2008).

A cada etapa do processo de desenvolvimento pode-se associar então, conhecimentos específicos (PAHL, 2007; CHANDRASEGARAN et al., 2013), sendo a etapa de Projeto Detalhado uma das que mais acumulam informações (CHANDRASEGARAN et al., 2013). Como o trabalho dos engenheiros é, normalmente, desenvolvido a partir da combinação de muitos problemas que precisam ser solucionados, encontrar tais conhecimentos e informações é essencial.

Neste sentido destaca-se o Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PLM – do inglês *Product Lifecycle Management*), que é uma abordagem estratégica capaz de auxiliar o



gerenciamento do capital intelectual da empresa relacionado a determinado produto. Com o apoio da tecnologia de informação (TI), o PLM envolve a modelagem, captura, troca e uso de informações e dados em todo o processo de tomada de decisão do ciclo de vida do produto (SUBRAHMANIAN et al., 2005).

Ferramentas computacionais, tais como CAD (*Computer-Aided Design*), CAE (*Computer-Aided Engineering*), CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) e PDM (*Product Data Management*) apoiam o PLM. Por meio dessas ferramentas é possível facilitar a execução de atividades, assim como gerar informações que podem ser utilizadas ao longo do desenvolvimento de projetos, tanto correntes quanto futuros. No entanto, Subrahmanian et al. (2005) e Rachuri et al. (2008) apontam que ferramentas de PLM não são capazes de manipular todas as informações disponíveis. Ainda segundo tais autores, isso ocorre devido à falta de semântica explícita e padrões que permitam o compartilhamento de conhecimento entre aplicações de PLM.

De acordo com Monticolo et al. (2015), Marconnet et al. (2016), Rahmani e Thomson (2012) e Panetto, Dassisti e Tursi (2012), há uma grande quantidade de informações disponíveis mas uma baixa interoperabilidade entre as ferramentas existentes. Pode-se apontar também que os conteúdos disponíveis (e.g. conceitos, discussões, lições aprendidas) não são facilmente compreendidos por todos os envolvidos (RAHMAWATI; UTOMO, 2015; HUANG et al., 2016).

Além disso, outros problemas podem ser apontados. Nos ambientes de manufatura, alguns fatores como implementação efetiva de métodos e ferramentas, confidencialidade das empresas e complexidade dos processos de colaboração dificultam a captura, interpretação e distribuição de informações (VALILAI; HOUSHMAND, 2013). Ahlers et al. (2016) e Mas et al. (2016) apontam também que informações referentes a manufatura são difíceis de ser acessadas por outras áreas.

Assim, é importante apontar que, atualmente, um novo período industrial acontece. Na Europa, a Alemanha lançou o que chama de quarta revolução industrial (ou Indústria 4.0), que segue o uso da mecanização, eletricidade e tecnologia da informação. Esta promete transformar a produção industrial, através da criação de “Fábricas Inteligentes” e assim, transformar bens manufaturados em “Produtos Inteligentes” com base na adoção de novas tecnologias como Sistemas Ciberfísicos (SCP – do inglês *Cyber-Physical Systems*), Computação em Nuvem (do inglês *Cloud Computing*) e Internet das Coisas (IoT – do inglês *Internet of Things*). Espera-se que a Indústria 4.0 aconteça a partir do uso de inovações tecnológicas na tecnologia de

informação, análises, engenharia de automação, entre outras (IVEZIC; KULVATUNYOU; SRINIVASAN, 2014).

A Indústria 4.0 assume que, no futuro, a produção industrial será caracterizada pelo alto grau de customização de produtos, apoiada por operações de fabricação altamente flexíveis, reconfiguráveis e ágeis, facilmente adaptáveis às mudanças nas demandas de mercado e requisitos dos clientes. Espera-se também um trabalho colaborativo entre empresas, assim como entre estas e seus fornecedores. Portanto, a transparência na fabricação, na forma de trocas de informações e recursos através e entre redes de Fábricas Inteligentes, pode ser considerada um conceito chave (LEE; BAGHERI; KAO, 2015).

Dentro da Indústria 4.0 é possível destacar a Manufatura Digital. Esta propõe a incorporação de tecnologias que permitem representar virtualmente as empresas (i.e. construções, recursos, equipamentos, pessoas), a fim de permitir uma maior integração entre desenvolvimento de produto e processos, através de modelos e simulações (CHRYSSOLOURIS et al., 2009).

Para tornar possível relacionar de fato a definição do produto às atividades reais de produção nas empresas dentro do contexto da Manufatura Digital, pode-se considerar como prioridades a transformação completa de conhecimentos tácitos sobre manufatura em conhecimentos tangíveis e, finalmente, conhecimentos digitais, otimizando o gerenciamento de dados e desenvolvendo novos modelos padronizados (CHRYSSOLOURIS et al., 2009). Para que isso possa ser de fato realizado, é necessário o emprego de Sistemas de Manufatura Inteligente. Estes, por sua vez, necessitam de representações semânticas das informações de engenharia para que estas possam ser interpretadas por máquinas.

No entanto, é possível observar que a realidade atual das indústrias ainda está bem distante deste novo conceito. Desenhos de engenharia e documentos textuais são uma tradição que ainda domina a prática dentro das empresas, ao longo de todo ciclo de vida do produto. Desenhos gerados por computador (e.g. que utilizam sistemas assistidos por computador) e arquivos ricos em texto (e.g. sistemas modernos de processamento de texto com gráficos) ainda são os meios pelos quais grande parte das informações são comunicadas aos envolvidos. Conseqüentemente, isso requer leitura e interpretação humana, o que suscita o aparecimento de erros e aumento de tempo (IVEZIC; KULVATUNYOU; SRINIVASAN, 2014).

Assim, Sistemas de Manufatura Inteligente demandam que modelos geométricos tridimensionais (3D) e arquivos ricos em texto sejam substituídos por modelos de informações de produtos e processos. Estas alternativas permitem que máquinas possam fazer a leitura deste

conteúdo, o que resulta em um processamento de informações mais rápido e livre de erros, do início ao fim do ciclo de vida do produto.

A visão de um ambiente de projeto, produção e suporte de produtos digitalmente orientado tornou-se um importante direcionador de estratégias empresariais de fabricação na década de 1990, como um prolongamento da Engenharia Simultânea, desenvolvimento integrado de produtos e processos e outras disciplinas emergentes. A realização do desenvolvimento integrado surgiu como um conceito abrangente que foi além da integração básica de atividades de produtos e processos, a fim de demandar um novo conjunto de ferramentas capazes de apoiar um sistema de gerenciamento do ciclo de vida de produtos totalmente digital.

Reconhecendo esse novo contexto e os problemas ainda enfrentados pelas empresas, pode-se apontar que, especificamente na etapa de Projeto Detalhado, boas práticas de projeto que se encontram na forma de documentos técnicos, estão dispersos em diferentes locais e em diferentes formatos (SUBRAHMANYAN et al., 2005; CHANDRASEGARAN et al., 2013; VALILAI; HOUSHMAND, 2013), o que dificulta seu emprego por parte dos engenheiros de projeto.

Devido à dificuldade de acesso, restrições de tempo ou de como tais informações estão disponíveis, falhas (i.e. não conformidades) nos produtos podem ocorrer, principalmente devido a análises importantes que são ignoradas ou informações que deixam de ser fornecidas para as atividades de projeto subsequentes.

Negligenciar informações no início do processo de desenvolvimento de produto possibilita não apenas o aparecimento de falhas como também aumenta o número de retrabalhos (YASSINE; SREENIVAS; ZHU, 2008) que, por sua vez, tornam o processo de desenvolvimento mais longo. Além disso, como apresentado por Ullman (1992), grande parte dos custos de fabricação estão associados ao não uso ou uso inadequado das informações nas etapas iniciais do PDP.

Assim, para que as empresas sejam capazes de capturar, estruturar e armazenar esses conhecimentos e permitir que estejam disponíveis e possam ser empregados adequadamente em um ambiente colaborativo, destaca-se a abordagem denominada Engenharia Baseada em Conhecimento (KBE – do inglês *Knowledge-based Engineering*).

KBE pode ser caracterizada como um conjunto de soluções capaz de auxiliar o desenvolvimento de atividades de engenharia em diferentes etapas do processo de desenvolvimento de produto, na forma de sistemas baseados em conhecimento (KBS – do

inglês *Knowledge-Based Systems*). Neste sentido, soluções de KBE podem contribuir com a rastreabilidade, reutilização e busca por conhecimento, o que garante um ambiente colaborativo e possibilita a redução do tempo de projeto, pelo aspecto de automação associado.

Reconhecendo esta abordagem, uma revisão bibliométrica foi conduzida a fim de encontrar um portfólio de artigos relevante para embasar este trabalho. Tal revisão foi desenvolvida através da aplicação do método ProKnow-C (ENSSLIN et al., 2010; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; VIANNA, W. B., 2007; EDUARDO TASCA, J. et al., 2010) e está integralmente exposta no Apêndice A.

A partir desta revisão, soluções baseadas em KBE, que têm como objetivo principal otimizar a execução de atividades de projeto, foram encontradas.

Algumas pesquisas estão atreladas a sistemas CAx (do inglês *Computer-Aided Technologies*). Valilai e Houshmand (2013) propõem uma plataforma para auxiliar engenheiros a utilizar dados do produto e compartilhar informações para facilitar o ambiente colaborativo de manufatura. Tal ferramenta é chamada XMLAYOD, plataforma colaborativa integrada, baseada no padrão STEP. Para a colaboração de sistemas CAx a plataforma utiliza uma solução alinhada com a capacidade do padrão STEP para apoiar as estruturas de dados XML (eXtensible Markup Language). A partir das observações realizadas em estudos cognitivos, Goel et al. (2012) abstraem requisitos funcionais para uma ferramenta CAD baseada em conhecimento chamada DANE, para apoiar o processo de design inspirado na biologia. Para representar modelos funcionais de sistemas biológicos e tecnológicos no protótipo de software CAD, DANE, usa-se o esquema de representação de conhecimento de Estrutura de Comportamento Funcional (FBS). O modelo KCMModel, proposto por Monticolo et al. (2015), tem como objetivo melhorar a interoperabilidade de diferentes modelos especialistas através da extração de dados cruciais, e reagrupá-los em configurações de conhecimento. Assim, o objetivo principal apresentado nesse artigo é partir da informação embutida em modelos geométricos e de simulação para uma estrutura centralizada de conhecimento que pode ser compartilhada e identificada através de uma configuração de gerenciamento, evitando erros especialmente nas etapas iniciais do processo de projeto.

Estas propostas, no entanto, não atendem a necessidade dos usuários de utilizar outras formas de conhecimento além das originadas a partir de geometria e simulações, mas que são também importantes para o desenvolvimento de projetos.

Em outros estudos, o uso de ontologias formais para representar o conhecimentos de atividades de projeto são propostas. Panetto, Dassisti e Tursi (2012) utilizam uma ontologia

denominada ONTO-PDM para gerenciar informações heterogêneas através da conceptualização, formalização e construção de um produto. O objetivo é permitir a troca de informações entre os sistemas, minimizando incertezas semânticas. Ahlers et al. (2016) apresentam uma estrutura de sistema com base em um domínio de ontologia, voltado a fornecer informações a usuários. A utilidade da ontologia é capturar conhecimento, modelar e assim, refinar os interesses com relação a documentos que estão associadas às atividades dos usuários.

Imran e Young (2013) e Kim, Manley e Yang (2006) apontam o uso de ontologias formais para representar informações de montagem principalmente para o compartilhamento de conhecimento, estabelecendo uma taxonomia de conceitos neste domínio. Chungoora et al. (2013) utilizam uma ontologia formal para representar o conhecimento na forma de padrões, o que, associado a um significado computacional, traz maiores expectativas para um uso efetivo dessa informação. O estudo conduzido por Chang, Sahin e Terpenny (2008) apresenta um método para capturar relações potenciais em um grande conjunto de dados através do uso de uma ontologia, que permite o armazenamento e reutilização do conhecimento. Uma ferramenta gráfica fornece uma interface amigável e o método baseado em ontologias descritas no artigo ajuda na integração de fontes de dados heterogêneas.

Alguns estudos empregam o uso de estruturas (i.e. *frameworks*), tais como as apresentadas por (BERMELL-GARCIA et al., 2012); (IGBA et al., 2015). Bermell-Garcia et al. (2012) apresentam uma estrutura cuja intenção é codificar e customizar as atividade de desenvolvimento de produto a fim de automatizar o processo conceitual de projeto. A estrutura apresentado por Igba et al. (2015) é voltada para o gerenciamento do conhecimento adquirido por meio do uso de produtos complexos.

Outras pesquisas estão relacionadas a criação de sistemas e ferramentas. O trabalho de Kaljun e Dolšak (2012) oferece um sistema de aconselhamento inteligente voltado a fornecer conhecimentos relacionados ao projeto de ergonomia. Conhecimentos sobre a concepção ergonômica de uma ferramenta de mão foram coletados, organizados e codificados sob a forma de regras de produção, identificadas como regras de decisão. O conhecimento construído no protótipo do sistema inteligente é estruturado na forma de diferentes classes interconectadas com vários atributos e seus valores na entrada. Na saída do sistema, o usuário pode esperar recomendações para (re)projeto que levam a atingir determinados objetivos e que podem melhorar o valor ergonômico do desenvolvimento do produto.

Um sistema baseado em conhecimento (KBS) é proposto no artigo apresentado por Vieira, Varela e Ribeiro (2016) e tem como objetivo auxiliar na tomada de decisão durante o

gerenciamento da manufatura. Este sistema está associado a objetos inteligentes para a coleção de dados a nível de máquina e fábrica, assim como tecnologias e ferramentas de apoio ao armazenamento e processamento de dados, com a finalidade de melhorar o processo de tomada de decisão.

No entanto, observa-se que nenhum desses trabalhos apresenta uma solução que permita o apoio ao projetista, integrável às ferramentas computacionais de apoio ao projeto de produto (i.e. computacionalmente implementada) e orientada a capturar o conhecimento de forma não ambígua a partir de várias fontes e formatos (e.g. requisitos de manufatura, normas, boas práticas de engenharia), capaz de se colocar como um mentor virtual inteligente, oferecendo informação qualificada para o detalhamento de componentes e subsistemas a partir de premissas, requisitos e restrições de projeto. Reconhecendo esta lacuna, definida também com base no que foi encontrado como resultado da revisão bibliométrica (Apêndice A), o presente trabalho objetiva responder a seguinte questão:

**Como capturar, organizar e disponibilizar conhecimentos contextualizados de produto e processos existentes para contribuir com o desenvolvimento de produtos, dentro da perspectiva da Manufatura Digital?**

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo do presente trabalho é desenvolver uma solução na forma de sistema especialista baseado em um modelo de ontologia, capaz de atender as necessidades dos usuários (i.e. engenheiros projetistas), assim como melhorar a qualidade das atividades de projeto realizadas ao longo do PDP.

Através da disponibilização de conhecimento relacionado a um determinado produto, esta solução deve auxiliar na tomada de decisão, através da captura, armazenamento e disponibilização de informações úteis aos interessados (e.g. engenheiros projetistas), no momento certo do processo de desenvolvimento.

A solução proposta nesse trabalho deve ser aplicada e avaliada em um ambiente real de manufatura, especificamente uma empresa multinacional de máquinas agrícolas localizada na região de Curitiba. Por meio de estudos realizadas *in loco* e que são apresentados em detalhe

posteriormente, um tipo de componente específico (i.e. mangueiras hidráulicas) foi definido como foco de estudo.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo proposto, o presente trabalho deve cumprir os seguintes objetivos específicos:

- O1.realizar diagnóstico do PDP da empresa em estudo;
- O2.definir contexto de estudo;
- O3.levantar conhecimento empregado por engenheiros projetistas para execução de suas atividades;
- O4.estruturar conhecimento através de ontologias;
- O5.desenvolver a solução de aplicação, i.e. interface com o usuário, com base em um sistema especialista;
- O6.aplicar a solução; e
- O7.avaliar a solução.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O processo de desenvolvimento de produtos tem, ao longo dos anos, exigido cada vez mais uma maior integração entre as diferentes áreas de uma empresa, haja vista a grande oferta de produtos, a grande preocupação com o consumidor e a necessidade de reduzir custos e tempo (VERHAGEN et al., 2012; MONTICOLO et al., 2015; RELICH; ŚWIĆ; GOLA, 2015; LIU et al., 2012), para alcançar maiores níveis de competitividade. Junto das mudanças frequentes no mercado e do rápido avanço tecnológico (DALKIR, 2013), estas necessidades fazem com que as empresas se preocupem ainda mais com a disponibilização e gerenciamento do conhecimento.

Diante disso, o presente trabalho se mostra pertinente. A solução apresentada se propõe a identificar, capturar e disponibilizar conhecimentos, a fim de facilitar a realização de tomadas de decisão inerentes ao trabalho de engenheiros projetistas. O sistema especialista permitirá centralizar conhecimentos, tornando possível reduzir o tempo das atividades, pois não será necessário buscá-los em locais diferentes. O modelo de ontologia permitirá a padronização do conhecimento, o que também auxiliará neste sentido, pois visa facilitar a interpretação do

conteúdo. Além disso, lições aprendidas em projetos passados podem ser reutilizadas, diminuindo o número de reincidência de problemas.

Com o conhecimento adequado, no momento certo, é possível evitar ou pelo menos diminuir a ocorrência de problemas em etapas posteriores. Desta forma, pode-se melhorar o processo de desenvolvimento de produto, principalmente no que se refere a sua eficiência. Paralelamente, é possível reduzir custos, melhorar a qualidade dos produtos, e assim, auxiliar no aumento da produtividade das empresas.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro deles, Introdução, apresenta o contexto do PDP e os problemas relacionados ao fluxo de conhecimento envolvido nesse processo, bem como pesquisas propostas na literatura que propuseram soluções relacionadas a esses problemas e as lacunas encontradas em tais propostas. Em seguida, apresenta-se os objetivos e a justificativa que levaram ao desenvolvimento dessa pesquisa. O Capítulo 2 aborda a fundamentação teórica necessária para a compreensão do trabalho. O Capítulo 3 descreve os aspectos metodológicos considerados, com as atividades propostas para desenvolver a pesquisa proposta. O Capítulo 4 apresenta de que forma este trabalho pode contribuir com o projeto de mangueiras hidráulicas, através da exposição dos resultados. Isto é feito a partir da apresentação do desenvolvimento do modelo proposto, de sua demonstração e avaliação. O último capítulo, Considerações finais, resume o trabalho e destaca as oportunidades descobertas e dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento da pesquisa.



## 2 CONHECIMENTO NO AMBIENTE DO PDP

Este capítulo aborda os conceitos e definições necessários para a compreensão do presente trabalho. Inicialmente, apresenta-se o conceito de conhecimento. Em seguida, o fluxo de conhecimento que permeia o PDP e o conceito de gerenciamento de conhecimento. Depois disso, na Seção 2.4, apresentam-se as ferramentas que dão suporte ao PDP e, na sequência, o conceito de Engenharia Baseada em Conhecimento. A Seção 2.6 destaca como o conhecimento pode ser capturado e a Seção 2.7, de que forma esse conhecimento pode ser estruturado. Finalmente, apresenta-se o conceito de sistema especialista.

### 2.1 CONHECIMENTO

Um conceito importante neste trabalho é o conhecimento. Todos os outros que serão apresentados posteriormente estão de alguma forma relacionados ao conhecimento, justificando assim introduzi-lo nesse momento.

Inicialmente, segundo Kneebone (1998), pode-se diferenciar os conceitos de dados, informações e conhecimentos. Dados são obtidos por meio de sensores ou outros artefatos. A sintetização desses dados dá origem ao que chamamos de informação. O conhecimento, por sua vez, corresponde a interpretação dessa informação, que pode variar de acordo com um determinado propósito.

O conhecimento pode ser definido como:

“Conhecimento é uma mistura fluida de experiência estruturada, valores, informações contextuais e uma visão especializada que fornece uma estrutura para avaliar e incorporar novas experiências e informações. Origina-se e é aplicado na mente dos conhecedores. Nas organizações está muitas vezes embutido não só em documentos e repositórios, mas também em rotinas organizacionais, processos, práticas e normas” (DAVENPORT; PRUSAK, 1998).

Alavi e Leidner (2001) também sugerem uma definição, segundo a qual o conhecimento é uma crença justificada que aumenta a capacidade de uma entidade para tomar uma ação. Nonaka e Toyama (2003) apontam que o conhecimento é criado através da interação entre humanos e estruturas sociais.

Diante destas definições, pode-se concluir que o conhecimento é fruto da compreensão ou interpretação de informações, tanto oriundas de documentos (e.g. textos, imagens) como da interação entre pessoas.

Conhecimentos podem ser classificados em dois tipos, explícito e tácito.

**Quadro 1**– Diferenças entre conhecimento tácito e explícito

	Conhecimento Explícito	Conhecimento Tácito
Natureza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil identificação</li> <li>• Relativamente fácil de compartilhar</li> <li>• Intrinsecamente incompleto; falta contexto e requer interpretação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecimento intrapessoal</li> <li>• Difícil de articular</li> <li>• Difícil compartilhar</li> <li>• Pode ser compartilhado apenas indiretamente</li> </ul>
Exemplos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecimento teórico</li> <li>• Saber que (<i>know-that</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intuição e percepção</li> <li>• Inteligência prática e habilidades</li> <li>• Saber como (<i>know-how</i>) e heurística</li> <li>• Modelos mentais e crenças</li> </ul>

**Fonte:** Adaptado de Goffin; Koners (2011).

Estes conhecimentos são de origens diferentes, mas coexistem e interagem entre si (NONAKA; TOYAMA, 2003).

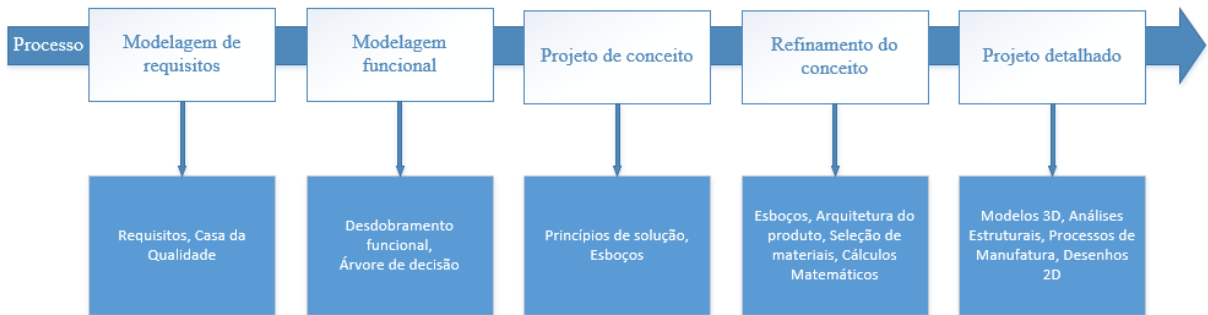
Para que conhecimentos personalizados e informações sejam úteis para outros, devem ser expressos e comunicados de uma forma que possibilite a interpretação dos receptores, além de que as informações disponíveis devem ser processáveis na mente dos indivíduos através de um processo de reflexão ou aprendizado (ALAVI; LEIDNER, 2001).

Apresentado este conceito, apresenta-se na seção seguinte o fluxo de informações e conhecimentos ao longo do processo de desenvolvimento de produto.

## 2.2 CONHECIMENTO AO LONGO DO PDP

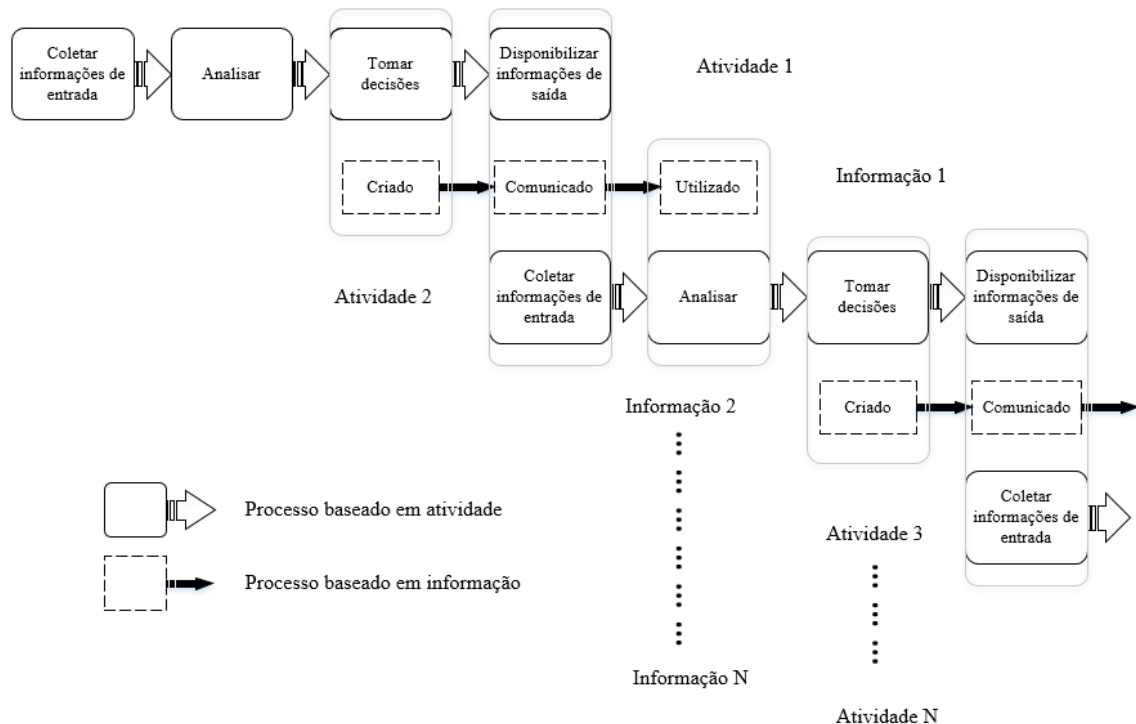
Como apresentado na introdução, sabe-se que o PDP é um processo que demanda intenso conhecimento. De acordo com Owen e Horváth (2002), este conhecimento é dinâmico e vivo, pois atualmente vive-se um período de investigação, aprendizagem intensiva, inovação e mudanças tecnológicas constantes.

Ao longo desse processo existem diversos fluxos de informação que envolvem diferentes áreas. De acordo com o PDP proposto por Pahl (2007), grande parte destas informações se acumulam nas etapas finais do processo (i.e. Projeto detalhado) (CHANDRASEGARAN et al., 2013), como mostra a Figura 1.

**Figura 1**– Etapas do PDP associadas aos conhecimentos

**Fonte:** adaptado de Chandrasegaran et al. (2013)

Assim, é possível apresentar o PDP como uma rede de informações. Dentro dessa rede, cada participante ou equipe coleta as informações de entrada necessárias, realiza análises, toma decisões e então disponibiliza informações de saída (YASSINE; SREENIVAS; ZHU, 2008), conforme representado na Figura 2.

**Figura 2** – PDP sob a perspectiva de processamento de informações

**Fonte:** Yassine; Sreenivas; Zhu (2008).

Essas informações, quando interpretadas e reutilizadas, tornam-se conhecimentos. Segundo Owen e Horváth (2002), pode-se decompor os conhecimentos associados ao PDP em várias classes. Entre elas conhecimento sobre o desenvolvimento do produto (e.g.

conhecimento sobre classes e instâncias do produto, conhecimento sobre custos), conhecimento da representação do produto (e.g. modelagem de partes em CAD, reuso de normas), conhecimento de avaliação do produto (e.g. aplicação de fatores de segurança, consideração da confiabilidade), conhecimento para produção do produto, conhecimento do uso, operação e suporte e conhecimento relacionado a sustentabilidade do produto.

Estas classes são exprimidas a partir de representações de conhecimento, que são apresentadas no Quadro 2.

**Quadro 2** – Tipos de representações de conhecimento

Pictórica	Simbólica	Linguística	Virtual	Algorítmica
Fotos	Representações	Comunicação	Modelos	Expressões
Rascunhos	lógicas	verbal gravada	geométricos	matemáticas com
Desenhos	Regras de produção	Comunicação	computacionais	restrições
Diagramas	Tabelas de decisão	textual	Modelos de	Procedimentos
...	Modelos de	Textos interativos	realidade virtual	computacionais
	raciocínio	....	Simulações	Algoritmos
	...		....	....

**Fonte:** a própria autora. Adaptado de Owen; Horváth (2002)

Devido a práticas de Engenharia Simultânea que têm como finalidade acelerar o processo de desenvolvimento, equipes podem considerar informações de requisitos preliminares. Tais informações podem se encontrar não finalizadas ou mudar em etapas posteriores, oferecendo assim grande potencial de retrabalho (YASSINE; SREENIVAS; ZHU, 2008).

O conhecimento adquirido com base nessas informações também requer tempo e experiência para ser adquirido, sendo o tempo um recurso escasso no contexto atual (OWEN; HORVÁTH, 2002). Assim, desenvolver habilidades para solucionar problemas demanda tempo, pois este processo é baseado na criação e compartilhamento de conhecimento. Além disso, lições aprendidas com projetos anteriores precisam ser repassadas para outros times de projeto (GOFFIN; KONERS, 2011), a fim de melhorar a performance de equipes envolvidas no PDP.

Diante deste cenário, destaca-se a importância de gerenciar o conhecimento ao longo do ciclo de vida do produto.

### 2.3 GERENCIAMENTO DO CONHECIMENTO

Como exposto anteriormente, é indispensável que as empresas sejam capazes de gerenciar os conhecimentos associados a seus produtos. O Gerenciamento do Conhecimento (KM – do inglês *Knowledge Management*), ou Processo de Gerenciamento do Conhecimento (ALAVI; LEIDNER, 2001), corresponde a disponibilizar a informação correta, no momento adequado, à pessoa certa (MCELROY, 2003). Segundo Seufert, Von Krogh e Bach (1999), o gerenciamento do conhecimento pode também ser definido como um processo de identificação, captura e aproveitamento do conhecimento coletivo para auxiliar a organização, a fim de torná-la mais competitiva.

O KM proporciona melhorar o conhecimento disponível e o processo de aprendizado de uma empresa, através da determinação de suas necessidades, do estado em que se encontra o conhecimento, das falhas no conhecimento e barreiras para o aprendizado da organização, com a finalidade de determinar estratégias que auxiliem nesse processo (KOTNOUR et al., 1997).

Gerenciar o conhecimento no entanto, não é algo trivial. Conteúdo do desenvolvimento de projeto (e.g. conceitos, discussões, desenhos) pode ser interpretado de diferentes formas pelos envolvidos, que podem reproduzir diversas perspectivas e causar conflitos no processo de tomada de decisão. Assim, muitas vezes essa falta de colaboração pode dificultar a execução de atividades, impedindo assim alcançar uma melhor integração das atividades de projeto (RAHMAWATI et al., 2015).

Na área de KM, Sistemas de Gerenciamento de Conhecimento (KMS – do inglês *Knowledge Management Systems*) que correspondem a sistemas de tecnologia de informação (TI), são propostos para contribuir com a gestão de uma empresa. KMS correspondem basicamente a três iniciativas básicas: (i) codificação e compartilhamento de boas práticas; (ii) criação de diretórios de conhecimento; e (iii) criação de redes de conhecimento (ALAVI; LEIDNER, 2001).

Neste sentido, o gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PLM) é uma abordagem estratégica capaz de auxiliar o gerenciamento do capital intelectual relacionado a determinado produto e melhorar o desempenho da empresa (STARK, 2015). Com o apoio da TI, o PLM envolve a modelagem, captura, troca e uso de informações e dados em todo o processo de tomada de decisão do ciclo de vida do produto (SUBRAHMANIAN et al., 2005). Algumas

ferramentas, que são apresentadas na próxima seção, apoiam o PLM e auxiliam as atividades realizadas ao longo do PDP.

#### 2.4 FERRAMENTAS DE SUPORTE AO PDP

Sistemas PLM são amplamente utilizados nas empresas devido a capacidade de suporte centrado no produto, que unifica seu ciclo de vida, permitindo o compartilhamento de conhecimento e aplicações de negócio (MING et al., 2005).

Para desenvolver um sistema de apoio ao PLM, um intercâmbio de dados e informações é necessário, envolvendo assim diferentes tipos de padrões (e.g. STEP, XrML, JX3D) provenientes das diferentes ferramentas como CAx (CAD/CAE/CAM), PDM (do inglês *Product Data Management*) e ERP (do inglês *Enterprise Resource Planning*) que estão envolvidas no ciclo de vida do produto.

No entanto há, atualmente, falta de semântica explícita e padrões que permitam o compartilhamento de conhecimento entre as aplicações de PLM (RACHURI et al., 2008). Esse problema está associado aos diferentes tipos de padrões utilizados, como pode ser observado na Figura 3.

Diante disso, é possível apontar que sistemas PLM não são capazes de manipular todas as informações necessárias para melhor desenvolver atividades de design. Assim, é necessário conceptualizar o conhecimento que deve ser gerado e aplicado em cada etapa do PDP (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

Nesse sentido destaca-se a abordagem chamada engenharia baseada em conhecimento (KBE).

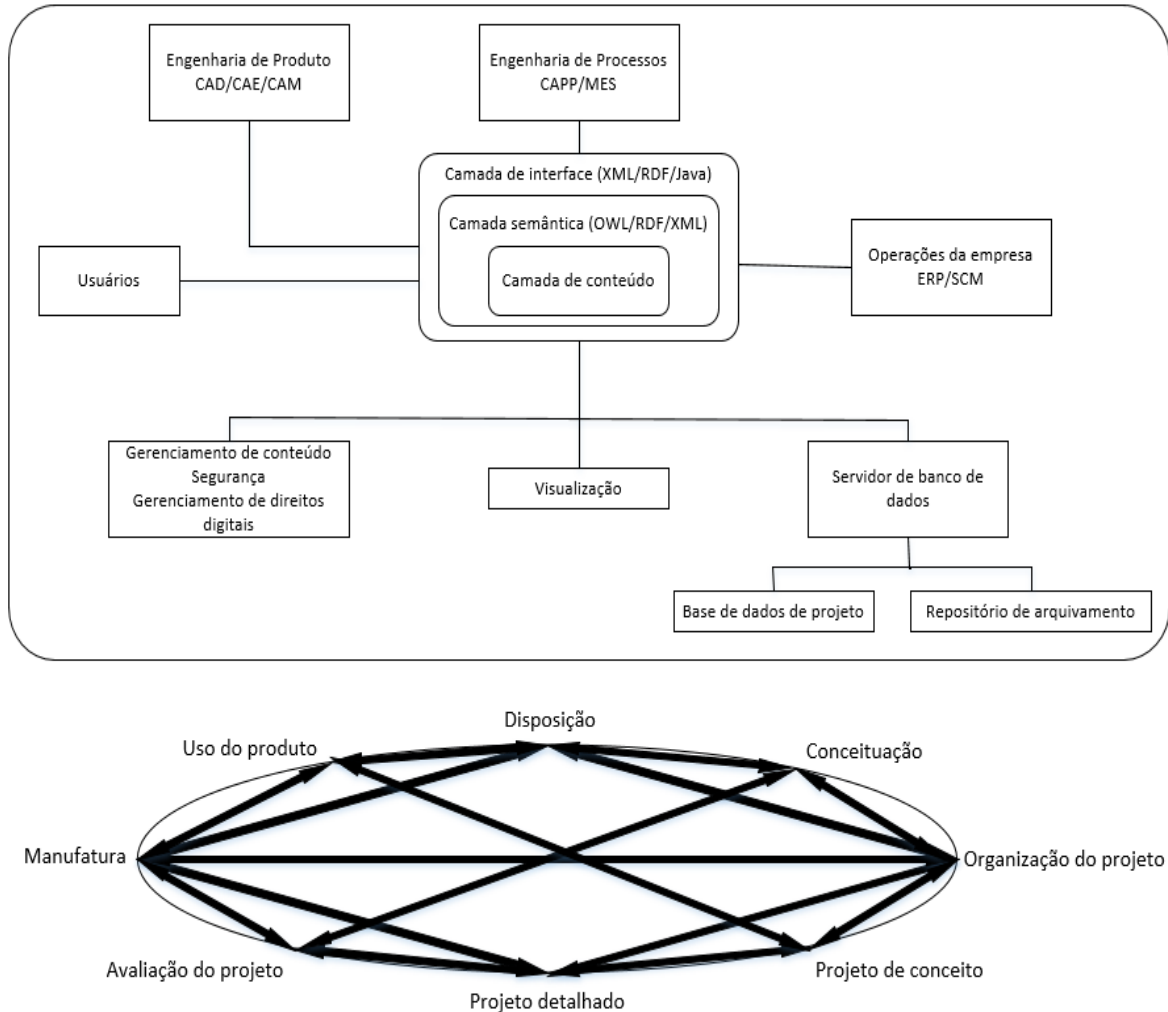
#### 2.5 ENGENHARIA BASEADA EM CONHECIMENTO (KBE)

KBE foi definida por vários autores como Chapman e Pinfold (2001), Bermell-García e Ip-Shing (2002) e Cooper e La Rocca (2007) e pode ser caracterizada como um conjunto de soluções capaz de auxiliar o desenvolvimento de atividades de engenharia, na forma de sistemas baseados em conhecimento (KBS – do inglês *Knowledge-Based Systems*).

Segundo Chapman e Pinfold (2001) e Verhagen et al. (2012) é possível destacar a habilidade da KBE de proporcionar soluções que permitem a automação e customização de atividades de projeto, pela união de programação-orientada a objeto (POO), técnicas de

inteligência artificial (IA) e tecnologias CAD. Além disso, tecnologias de sistemas KBE orientadas a objeto permitem a construção de classes de objeto que contém diversas representações úteis relacionadas a um produto (e.g. definições de geometria, custos)

**Figura 3** – Relação entre padrões e o PLM



**Fonte:** Adaptado de Rachuri et al. (2008)

(BERMELL-GARCÍA; IP-SHING, 2002), que tornam o conhecimento explícito. Outra característica da KBE é sua capacidade de criar estruturas para capturar, armazenar e reutilizar conhecimento adquirido (VERHAGEN et al., 2012).

A fim de justificar a implementação de sistemas KBE, alguns pesquisadores propuseram o uso de métodos. MOKA (*Methodology and Tools Oriented to Knowledge-based Applications*) (OLDHAM et al., 1998), IMPROVE (*Integrated Method for PROcess Value Evaluation*) (VERHAGEN et al., 2015), KOMPRESSA (*Knowledge-Oriented Methodology for the Planning and Rapid Engineering of Small-Scale Applications*) (LOVETT; INGRAM;

BANCROFT, 2000), KNOMAD (*Knowledge Nurture for Optimal Multidisciplinary Analysis and Design*) (CURRAN et al., 2010) são algumas das técnicas propostas. Grande parte dos métodos apresentados baseia-se no método MOKA. O Quadro 3 apresenta resumidamente os objetivos de cada uma delas.

**Quadro 3** – Métodos propostos para a construção de soluções de KBE

<b>MOKA</b>	<b>IMPROVE</b>	<b>KOMPRESSA</b>	<b>KNOMAD</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzir o tempo de espera e custos para o desenvolvimento de aplicações de KBE;</li> <li>- Proporcionar uma forma consistente de desenvolver e manter aplicações de KBE;</li> <li>- Ser a base de um padrão internacional;</li> <li>- Não está focada ao uso de aplicações de KBE no processo de projeto;</li> <li>- Não considera cuidadosamente a manutenção e reutilização do conhecimento;</li> <li>- Predominantemente orientada ao produto, não ao processo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pretende justificar as oportunidades de automação de processos de engenharia através da quantificação de informações;</li> <li>- Pretende adequar-se aos processos de engenharia de serviços;</li> <li>- Utiliza o conceito de desperdício de informação para quantificar ineficiências de processo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apoia a implementação de KBE em pequenas e médias empresas;</li> <li>- Semelhante a MOKA, mas com maior ênfase na análise e gestão de riscos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilização analítica, desenvolvimento e evolução do conhecimento multidisciplinar de projeto e produção;</li> <li>- Posiciona o KBE dentro do processo de desenvolvimento;</li> <li>- Vai na direção da captura do conhecimento, formalização e entrega a fim de manter as aplicações KBE;</li> <li>- Enfatiza e aborda o papel do usuário.</li> </ul>

**Fonte:** a própria autora.

Reconhecendo o conceito de KBE e os métodos propostos na literatura para construção de soluções relacionadas a essa abordagem, sabe-se que, para desenvolver uma aplicação de KBE, um dos desafios iniciais é a elicitación ou captura do conhecimento.

## 2.6 CAPTURA DO CONHECIMENTO

Existem diferentes formas presentes na literatura que auxiliam na elicitación do conhecimento. De acordo com Burge (2001), é possível categorizar a captura do conhecimento em métodos diretos e indiretos. Métodos diretos (e.g. entrevistas, estudos de caso, simulações) envolvem questionar diretamente especialistas de um domínio particular sobre como conduzem suas atividades. Métodos indiretos (e.g. *role-playing*, análise de documentos, *laddering*<sup>1</sup>) são usados quando informações são difíceis de serem expressas.

<sup>1</sup> Técnica utilizada em entrevistas, a qual emprega questões estruturadas que permitem estabelecer uma hierarquia de conceitos.



Schiuma, Gavrilova e Andreeva (2012) apontam que, entre as formas mais apropriadas de capturar conhecimento explícito e tácito estão os métodos de questionários, entrevistas, *storytelling*, *brainstorming* e mesa redonda. O propósito dos questionários pode ser relacionado ao conhecimento explícito, i.e. previamente verbalizado/formalizado. Os outros métodos mencionados tornam possível capturar o conhecimento tácito, ou seja, o conhecimento que um especialista adquiriu ao longo do tempo.

Para permitir subsequente uso e rastreabilidade do conhecimento adquirido através destes métodos, é necessário estruturá-lo.

## 2.7 ESTRUTURAÇÃO DO CONHECIMENTO

Entre as diferentes possibilidades de representar e estruturar o conhecimento, um é através do uso de ontologias. O uso de ontologias para estruturar o conhecimento foi empregado em muitos trabalhos, tais como os apresentados por (KIM; MANLEY; YANG, 2006; IMRAN; YOUNG, 2013; CHUNGOORA et al., 2013; RAHMANI; THOMSON, 2012; BORSATO et al., 2010). O termo ontologia teve origem na filosofia e foi criado para tentar classificar as coisas no mundo. Segundo Gruber (1993), ontologias podem ser definidas como uma especificação explícita de conceptualização e qualquer base de conhecimento ou sistema baseado em conhecimento está relacionado a algum tipo de conceptualização, implícita ou explicitamente. Além disso, Staab e Studer (2013) se referem a ontologias como um tipo especial de informação de objeto ou artefato computacional. Ontologias computacionais são capazes de modelar formalmente a estrutura de um sistema (i.e. entidades e relacionamentos que emergem dessas observações) e que podem ser úteis para um fim específico. Para construir uma ontologia, uma linguagem formal é necessária.

### 2.7.1 Linguagem formal para estruturação do conhecimento

Baseada na RDF (*Resource Description Framework*), OWL (*Web Ontology Language*) é uma linguagem de Web Semântica criada para representar conhecimento rico e complexo. O propósito da Web Semântica é criar documentos com conteúdo processável tanto por máquinas quanto por humanos (BERNERS-LEE; HENDLER; LASSILA, 2001). Nesse sentido, OWL tem uma sintaxe bem definida, que é uma condição básica para permitir o processamento por máquina (STAAB; STUDER, 2013).

O objetivo desta linguagem é atender a dois requisitos principais: apoiar o raciocínio efetivo e fornecer uma expressão lógica mais completa. No entanto, estes dois requisitos são contraditórios, o que levou a uma subdivisão da linguagem em OWL Full, OWL DL e OWL Lite (STAAB; STUDER, 2013). Entre elas, OWL DL (abreviatura de *Description Logic*) seria a linguagem intermediária para atender a esses dois requisitos; restringe algumas construções ao mesmo tempo que assegura maior eficiência em termos de apoio ao raciocínio.

É importante destacar que a linguagem RDF, que deu origem a OWL, tem como base a Lógica Descritiva (DL – do inglês *Description Logics*). Com grande ênfase em uma semântica bem definida, baseada em lógica e uma investigação minuciosa de problemas básicos relacionados ao raciocínio, juntamente com a disponibilidade de sistemas altamente otimizados, esta linguagem de formalismos de representação se tornou um ponto de partida ideal para a criação das linguagens de ontologia (STAAB; STUDER, 2013). DL tem como objetivo representar formalmente o conhecimento, por meio de uma estruturação na forma de conceitos e seus relacionamentos. Antes desta linguagem, conceitos e relacionamentos eram associados hierarquicamente. Assim, sua principal característica é a capacidade de representar outros tipos de associações que podem existir entre diferentes conceitos (BAADER, 2003).

O estudo apresentado por Feilmayr e Wöß (2016) destacam os principais benefícios das ontologias: o princípio de compartilhamento pela expressividade semântica das ontologias, possibilidade de criar modelos complexos e de melhorar a colaboração por proporcionar uma ampla gama de aplicações. Além disso, Feilmayr e Wöß (2016) enfatizam que um modelo conceitual resultante deve ser transformado em um esquema executável antes de ser implementado e aplicado em um sistema.

Uma forma de implementar modelos ontológicos é através de sistemas especialistas.

## 2.8 SISTEMAS ESPECIALISTAS

Sistemas especialistas são aplicações de Inteligência artificial (IA) que tem como objetivo representar o conhecimento de especialistas e, assim, auxiliar nas atividades de tomada de decisão e solução de problemas (LIAO, 2005). Muitas vezes são associados a sistemas baseados em conhecimento (KBSs) ou considerados equivalentes (MILTON, 2008; AKERKAR; SAJJA, 2010). A IA associada a esses sistemas permite que tanto computadores quanto humanos entendam o conhecimento expresso através deles (RYCHENER, 2012), e sua capacidade de resolução de problemas torna possível a realização de inferências úteis para seus

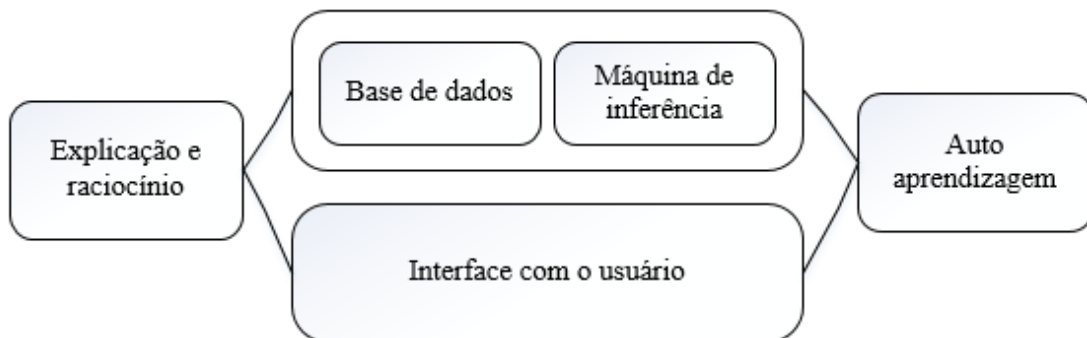
usuários (BOOSE, 1985). Ao criar regras, é possível avaliar os dados contidos em um domínio para atingir um objetivo específico (ABRAHAM, 2005).

Esses sistemas, em termos de componentes, consistem de uma base de conhecimento e um programa de busca chamado máquina de inferência (IE – do inglês *Inference Engine*). A IE é um programa de software que infere o conhecimento que está disponível na base de conhecimento (AKERKAR; SAJJA, 2010).

Akerkar e Sajja (2010) salientam as principais situações de uso dos sistemas especialistas e seus benefícios. Esses sistemas são particularmente úteis quando:

- a) Um especialista não está disponível;
- b) Uma especialidade deve ser armazenada para uso futuro ou deve ser clonada ou multiplicada;
- c) Assistência inteligente e/ou treinamento são necessários para a tomada de decisão ou solução de problemas;
- d) Mais de um conjunto de conhecimento de especialistas necessita ser agrupado em uma plataforma.

**Figura 4** – Estrutura geral de um Sistema baseado em conhecimento



**Fonte:** Akerkar; Sajja (2010)

Entre seus benefícios, destacam-se:

- a) Aumento da produção e da produtividade;
- b) Melhoria da qualidade;
- c) Tempo de inatividade reduzido;
- d) Captura de conhecimentos escassos;

- e) Flexibilidade e confiabilidade;
- f) Conhecimento integrado;
- g) Benefícios educacionais e facilidade de treinamentos;
- h) Melhoria da capacidade de solução de problemas;
- i) Documentação do conhecimento e facilidade de transferência do conhecimento.

Os conceitos e definições acima esclarecidos servem como base para a compreensão desse trabalho. A seção subsequente apresenta como foi realizado o levantamento do estado da arte, necessária para mapear e avaliar o que tem sido feito no campo de pesquisa de KBE no processo de desenvolvimento de produto.

### 3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Esse capítulo apresenta a abordagem metodológica empregada no estudo, cujo propósito é permitir alcançar os objetivos propostos.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

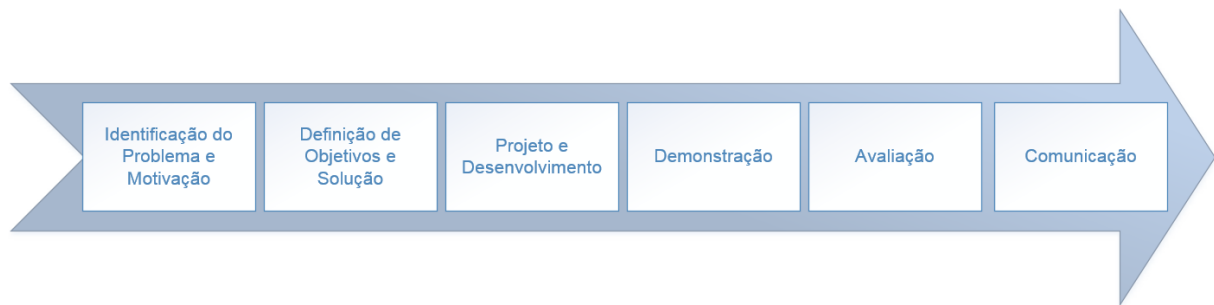
O presente trabalho é conduzido com base na abordagem denominada *Design Science Research* (DSR) (SIMON, 1996; PEFFERS et al., 2007), cuja base epistemológica é a *Design Science*. Essa abordagem foi desenvolvida devido a necessidade de diferenciar estudos relacionados às ciências naturais das relacionadas às ciências de projeto, ciências do artificial ou *design science*. No primeiro caso, os estudos estão relacionados a como e por que coisas acontecem. No segundo, estão relacionados a como coisas devem ser para alcançar um determinado objetivo (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015). Assim, a principal função da DSR é projetar e desenvolver artefatos, ou seja, meios pelos quais um objetivo pode ser atingido (SIMON, 1996).

Para Van Aken, Berends e Van der Bij (2012), a natureza dos artefatos é prescritiva, ou seja, é voltada à solução de problemas. Segundo Dresh, Lacerda e Júnior (2015), artefatos são projetados com a finalidade de inserir uma mudança em um sistema, tanto para resolver problemas quanto para melhorar seu desempenho.

Nessa abordagem os artefatos podem ser definidos como modelos, métodos, construções e instanciações. Para o presente trabalho, propõe-se um modelo para alcançar o objetivo proposto. Modelos são um conjunto de proposições ou afirmações que expressam relacionamentos entre construções (e.g. ontologias formais) que representam situações como problema e solução (LACERDA et al., 2013). Devem ser capazes de capturar a estrutura da realidade para que, assim, possam ser de fato úteis.

A abordagem DSR sugere um conjunto de fases de trabalho, que conduzem a proposta de um artefato consolidado e aprovado para uso. Essas fases são: (i) Identificação do problema e motivação; (ii) Definição de objetivos e solução; (iii) Projeto e desenvolvimento; (iv) Demonstração; e (v) Avaliação. Cada uma dessas fases ou etapas são detalhadas na sequência, de acordo com (HEVNER; CHATTERJEE, 2010).

**Figura 5** – Estrutura metodológica baseada na abordagem DSR



**Fonte:** adaptado de Peffers et al. (2007)

A primeira etapa, Identificação do Problema e Motivação, consiste da definição do problema de pesquisa específico e de uma justificativa de valor para uma solução proposta. Os recursos necessários para tal incluem o conhecimento do estado do problema e da importância da solução.

A segunda etapa está relacionada a inferir os objetivos da solução a partir da definição do problema e conhecimento do que é possível e viável. Os recursos necessários incluem o conhecimento do problema, assim como as soluções já propostas na literatura (e.g. o que foi alcançado, o que ainda não foi feito).

A terceira fase corresponde a criação do artefato. Como apresentado anteriormente, artefatos podem ser construções, métodos, modelos ou instanciações. Além da criação, deve-se incluir também a determinação da funcionalidade desejada do artefato e como será sua arquitetura. Os recursos necessários compreendem o objetivo, o projeto e desenvolvimento, assim como o conhecimento teórico que pode ser introduzido na solução.

Na quarta etapa, Demonstração, o uso do artefato para solucionar uma ou mais instâncias do problema é demonstrado. Isso pode ser realizado através de experimentos, simulações, estudos de caso ou outras atividades apropriadas. Os recursos necessários para a demonstração incluem o conhecimento de como usar o artefato para solucionar o problema.

A quinta etapa corresponde a observar e medir quanto o artefato auxilia a solucionar o problema. Isso inclui comparar os objetivos da solução com os resultados obtidos a partir do artefato em sua demonstração. Alguns critérios podem ser empregados nesta etapa para avaliar a solução.

A última fase, Comunicação, corresponde a disseminação do que foi produzido na pesquisa. Através da publicação de artigos e da escrita de trabalhos (e.g. dissertações, teses), o público deve compreender qual foi o contexto considerado, o processo de construção do artefato

e como este foi avaliado. Isso possibilita a repetibilidade do projeto assim como pode servir como base para uma nova pesquisa.

Nesse sentido, o presente trabalho apresenta um modelo ontológico como artefato, a ser implementado através de um sistema especialista. Além disso, cada uma dessas atividades é detalhada na sequência, a fim de apresentar como e o que foi feito.

## 3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

### 3.2.1 Identificação do Problema e Motivação

De acordo com a abordagem apresentada, a criação do modelo proposto acontece através de atividades realizadas em cada etapa. Na Identificação do Problema e Motivação, uma estratégia baseada em um diagnóstico realizado na empresa de máquinas agrícolas, considerada neste estudo, foi conduzida.

O diagnóstico foi caracterizado pela realização de entrevistas com os envolvidos, (e.g. engenheiros de produto, engenheiros de manufatura, engenheiros de suporte ao produto) e da avaliação de documentos (e.g. documentação do PDP da empresa, normas). Além disso, as ordens de alteração de engenharia (ECOs - do inglês *Engineering Change Orders*) de um determinado produto foram avaliadas. ECO é um documento que pode ser gerado em diferentes áreas da empresa, tais como Protótipo, Engenharia de Manufatura e Engenharia de Produto. Quando um problema é identificado (e.g. falha em componente), uma solicitação de alteração de engenharia deve ser criada (ECR – do Inglês *Engineering Change Request*). Quando confirmada, uma ECR se torna então uma ECO, ou seja, tal problema vai ser submetido a uma correção ou alteração. Informações como componente afetado, conjunto ao qual pertence e produtos finais que possuem tal componente são informações básicas que devem ser inseridas nestes documentos.

Para realizar a avaliação das ECOs, inicialmente uma classificação foi realizada, a fim de identificar e organizar tais documentos com relação aos sistemas e componentes do produto, resultando em uma lista. Na sequência, fez-se uma avaliação que permitiu definir quais eram os componentes e sistemas mais críticos. Conseqüentemente, entre os componentes mais críticos, destacaram-se os elementos flexíveis (i.e., mangueiras hidráulicas e chicotes elétricos).

Uma análise cuidadosa com relação as informações fornecidas pelos engenheiros

projetistas relacionada a suas atividades revelou que grande parte das ECOs surgiram devido a negligência ou uso inapropriado das informações durante a etapa de Projeto Detalhado.

### **3.2.2 Definição de Objetivos e Solução**

Na etapa Definição de Objetivos e Solução, foi possível concluir que projetistas poderiam ser beneficiados com a criação de um modelo de ontologia. Este modelo deve conter o conhecimento necessário para o projeto de mangueiras hidráulicas, definido como contexto de estudo.

Atualmente, projetistas são pressionados a desenvolver rapidamente seus projetos diretamente em ferramentas CAD. Tais projetistas acabam fracassando muitas vezes, pois deixam de empregar boas práticas de projeto. Essas informações estão, normalmente, sob a forma de normas e recomendações, ou mesmo tacitamente, a partir da experiência conquistada em projetos anteriores. Diante disso, um modelo de ontologia pode não só funcionar como um repositório desse conhecimento, mas também servir como um elemento condutor para auxiliar na execução apropriada das atividades dos projetistas. Modelos ontológicos permitem que o conhecimento de um domínio específico seja registrado, depurado e propagado para uso futuro.

Com base no método de construção de ontologias, é necessário não só definir o contexto que se deseja representar, como também criar questões de competência para que, ao final, seja possível avaliar se a ontologia atende de fato ao que foi inicialmente proposto (GRÜNINGER; FOX, 1995).

A revisão bibliométrica foi, cronologicamente, realizada depois dessa etapa. No entanto, corroborou com a definição de objetivos e soluções propostas, haja vista o levantamento do estado da arte no que tange o problema encontrado.

### **3.2.3 Projeto e Desenvolvimento**

O Projeto e Desenvolvimento do artefato proposto baseia-se no método apresentado por Curran et al. (2010) para o desenvolvimento de soluções de KBE. Esse método consiste da seguinte sequência de atividades: (i) Captura do conhecimento; (ii) Normalização; (iii) Organização; (iv) Modelagem; (v) Análise; e (vi) Entrega.

A etapa de Captura do Conhecimento compreende a identificação do escopo, objetivos e premissas do projeto (i.e., recursos de conhecimento necessários são identificados). Tanto



conhecimento tácito quanto explícito são capturados. O conhecimento capturado deve ser então documentado para ser utilizado em etapas posteriores.

Pode-se associar a essa etapa o levantamento do conhecimento relacionado às atividades de projeto para o desenvolvimento de elementos flexíveis. Documentos como normas, planilhas e catálogos foram coletados (i.e. conhecimento explícito). Além disso, entrevistas com engenheiros projetistas e arquitetos de produto foram conduzidas, a fim de identificar conhecimentos adquiridos com a experiência e que muitas vezes não estão documentados (i.e. conhecimento tácito).

Na Normalização as informações obtidas na etapa anterior são sujeitas a um controle de qualidade e normalização, onde o conhecimento é avaliado com relação a critérios de qualidade, submetido a normalização e padronizado para uso posterior. Os critérios empregados para avaliar o conhecimento capturado nesse trabalho correspondem a rastreabilidade, propriedade, precisão e confiabilidade. Esses critérios permitem facilitar o emprego e manutenção do conhecimento posteriormente.

A Organização é proposta para proporcionar uma estrutura de conhecimento que permita que qualquer interessado, de qualquer área, possa acessar essas informações para utilizar em modelos ou análises. Uma possível forma de construir essa estrutura é através do uso de ontologias. O método de construção de ontologias utilizado no presente trabalho é chamado 101 e será apresentado posteriormente nessa seção.

A etapa de Modelagem corresponde a modelar produto e processos. O KNOMAD adota a abordagem MMG (do inglês - *Multi-Model Generator*) introduzida no DEE (do inglês - *Design Engineering Engine*). MMG é uma estrutura de modelagem que usa valores de parâmetros do modelo de um componente combinados ao domínio formal do conhecimento (i.e. ontologias) para gerar novos modelos. A intenção do presente trabalho não é, no entanto, gerar novos modelos, mas sim auxiliar engenheiros projetistas ao longo do desenvolvimento de suas atividades. Isso deve ser realizado através de uma interface que permita ao usuário acessar uma base de conhecimento que, nesse caso, deve-se apresentar na forma de um sistema especialista.

Segundo o método KNOMAD, durante a etapa Análises, relatórios produzidos no modelagem são utilizados na forma de módulos de análise detalhados. Esses módulos calculam as implicações no design de acordo com a disciplina, como a implicação de decisões em termos de custo ou tempo de projeto. Compreende também a otimização com relação aos objetivos do

projeto. A última etapa corresponde a entrega da solução otimizada para os envolvidos e a avaliação dos recursos. A solução é implementada e comparada aos requisitos exigidos.

No caso do presente trabalho, essas duas últimas atividades devem ser adaptadas e estão associadas a demonstração e avaliação da solução proposta, que são apresentadas posteriormente. Como pode ser observado, as etapas do método KNOMAD se associam de alguma forma, as da abordagem DSR.

Como mencionado anteriormente, é necessário apresentar também o método de construção de ontologia adotado nesse trabalho.

### 3.2.3.1 Método 101

Apresentado por Noy e McGuinness (2001), o método de construção de ontologias chamado 101 foi considerado. A sequência de atividades realizadas corresponde a: (a) especificação; (b) conceptualização; (c) formalização; e (d) implementação (PINTO; MARTINS, 2004).

A etapa de especificação corresponde a identificação de informações relevantes relacionadas a um domínio. É necessário identificar a razão pela qual a ontologia vai ser desenvolvida e quais as intenções de uso e dos usuários. Assim, a primeira atividade realizada foi a identificação de um potencial domínio de conhecimento que, caso estruturado na forma de uma ontologia, poderia beneficiar engenheiros projetistas ao longo do processo de modelagem de produtos.

A conceptualização é caracterizada pelo desenvolvimento de um modelo conceitual da ontologia a ser construída, a partir da especificação apresentada na etapa anterior. Inicialmente as principais classes da ontologia são determinadas. Além disso, através de verbos e substantivos, algumas relações entre essas classes também são identificadas. Modelos conceituais podem ser formais (e.g. diagramas de relação binária) ou informais (e.g. mapas mentais).

Na formalização, o conteúdo do modelo conceitual é descrito de modo mais formal, através da atribuição de propriedades e axiomas. As classes então definidas são estruturadas na forma de uma taxonomia. Mesmo com esta formalização esse ainda não é o modelo final da ontologia.

A implementação é a etapa na qual a ontologia, agora estruturada através de uma linguagem de representação de conhecimento, se torna formal e permite executar buscas (i.e.

*queries*) e realizar inferências. Os axiomas que expressam os conceitos do modelo são construídos, assim como as propriedades de objeto, propriedades de dados e indivíduos.

É importante destacar que o processo de construção de uma ontologia é iterativo, ou seja, requer que atividades já realizadas sejam novamente analisadas e adaptadas. Muitas vezes somente ao longo deste processo identifica-se que algo precisava ser realizado, como por exemplo, a adição de uma nova classe ou propriedade.

Durante a especificação, o domínio de aplicação do artefato foi definido (i.e. projeto de mangueiras hidráulicas). Na conceptualização as principais classes da ontologia foram determinadas. Para esse propósito, mapas mentais (DAVIES, 2011) foram utilizados. Na formalização, as classes previamente definidas foram organizadas na forma de uma taxonomia. Nessa etapa, o editor de ontologias Protégé foi utilizado. Finalmente, na implementação, axiomas que expressam os conceitos chave do modelo foram construídos, assim como as propriedades de objeto, propriedades de tipos de dado (*datatype*) e indivíduos.

### **3.2.4 Demonstração**

Como apresentado anteriormente, o presente trabalho foi desenvolvido com base em uma demanda real de uma empresa multinacional do segmento de máquinas agrícolas, localizada na região de Curitiba. Amplamente reconhecida no mercado, esta empresa fabrica diversos produtos e implementos, tais como plantadeiras, colheitadeiras, pulverizadoras e tratores, não só no Paraná como também em instalações estabelecidas em outros estados do Brasil. Uma vez realizado o diagnóstico, que considerou um produto específico produzido (i.e. trator), o contexto de projeto de mangueiras hidráulicas foi definido como foco para o desenvolvimento da solução proposta, assim como para posterior demonstração e avaliação.

Especificamente para a etapa de demonstração, buscas por conhecimento relacionadas ao domínio de projeto de mangueiras hidráulicas são executadas. Isso é feito através do uso do *plug-in* Snap-SPARQL do Protégé e através da plataforma Stardog (2017). Esta plataforma permite que engenheiros de projeto possam acessar de forma mais rápida e fácil informações necessárias para desenvolver tais componentes.

As buscas realizadas basearam-se em alguns cenários reais fornecidos pela equipe de hidráulica da empresa e em questões de competência que serão apresentadas posteriormente.

### 3.2.5 Avaliação

Para avaliar o artefato proposto neste trabalho, alguns artigos que tinham como foco a etapa de avaliação da DSR foram encontrados. Pesquisas como as apresentados por (CHEN; HIRSCHHEIM, 2004; CLEVEN; GUBLER; HÜNER, 2009; VENABLE; PRIES-HEJE; BASKERVILLE, 2012) destacam a falta de orientação no que se refere a escolha de estratégias e métodos para avaliação de artefatos. No entanto, Venable, Pries-Heje e Baskerville (2012) destacam que se não há avaliação do artefato, tem-se apenas uma teoria de projeto não fundamentada ou uma hipótese com relação ao artefato desenvolvido e não se pode afirmar se este resolve algum problema ou contribui com alguma melhoria.

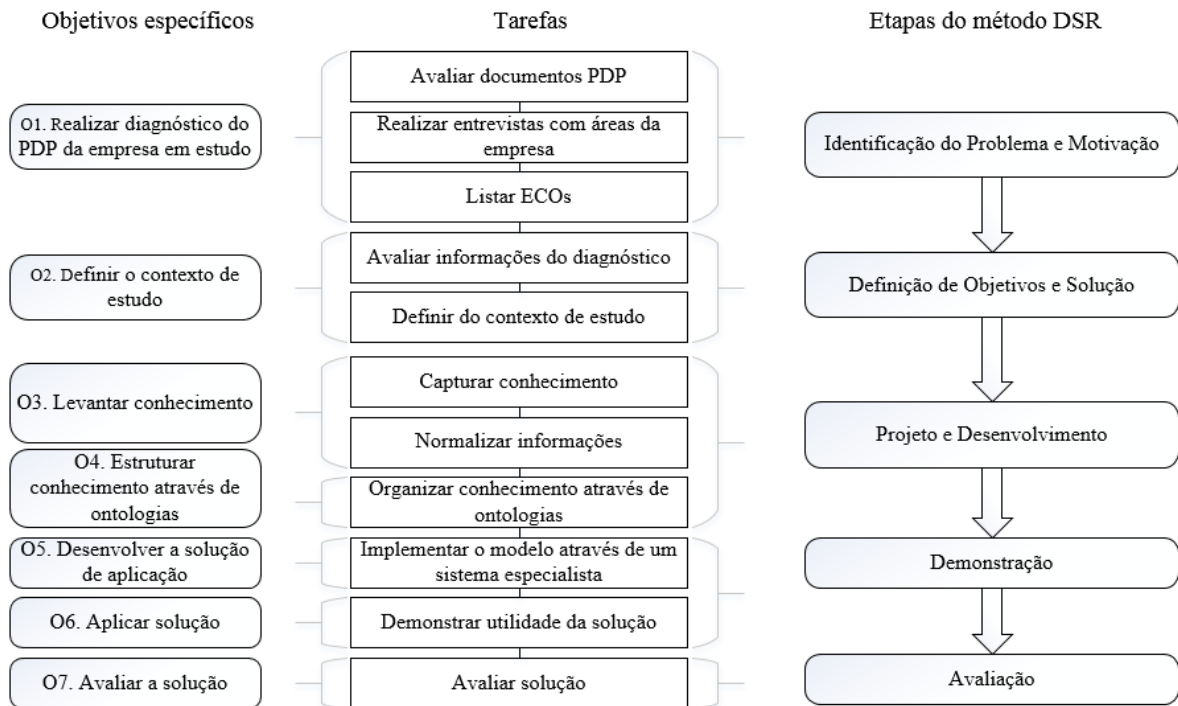
Diante disso, alguns recursos foram considerados para verificar se a proposta atenderia de fato às necessidades dos projetistas ou se ajustes ou implementações precisariam ser feitos.

Nesse sentido, de acordo com a metodologia DRS, alguns critérios são prescritos para avaliar o artefato proposto nesse trabalho. Esses correspondem a fidelidade do modelo com relação a realidade, completeza, robustez, consistência e nível de detalhe (PEFFERS et al., 2007).

Para avaliar a solução proposta, tais critérios foram empregados e assim, tanto o ponto de vista de seus desenvolvedores (i.e. pesquisadores) quanto o de seus potenciais usuários (i.e. engenheiros projetistas) foram apreciados.

Os detalhes desta etapa são descritos na seção intitulada Avaliação do artefato. A Figura 6 ilustra as etapas da metodologia DRS e as tarefas propostas em cada etapa, correlacionadas aos objetivos apresentados na Seção 1.2.2.

**Figura 6** – Procedimento metodológico



**Fonte:** a própria autora

### 3.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho segue todas as etapas propostas pela abordagem DSR, apresentadas na Seção 3.1. No entanto, deve-se destacar que existem algumas limitações relacionadas as etapas de demonstração e avaliação.

Na primeira delas, o sistema especialista proposto corresponde ao uso de uma plataforma disponível no mercado. Isso pode impossibilitar sua utilização em um ambiente corporativo, haja vista a necessidade da compra de licenças. Além disso, na etapa de avaliação, é importante ressaltar que o artefato proposto foi avaliado pelos potenciais usuários da empresa em estudo, mas não foi de fato implementado, impedindo assim uma avaliação mais aprofundada.

O próximo capítulo descreve os resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho.

## 4 RESULTADOS

Este capítulo visa apresentar os resultados obtidos, seguindo as etapas presentes no capítulo de aspectos metodológicos.

### 4.1 DIAGNÓSTICO

O diagnóstico foi conduzido no ambiente da empresa e durou cerca de 45 dias. Ao longo desse período, os documentos relacionados ao PDP da empresa foram avaliados a fim de encontrar possíveis inconsistências. Reuniões com diversas áreas (e.g. Engenharia de Produto, Engenharia de Manufatura, Engenharia de Qualidade, Suporte ao Produto) foram realizadas assim como a coleta das ECOs do produto em estudo (e.g. trator). Além da grande quantidade de ECOs associadas, outros critérios também foram considerados para escolher este produto como foco de estudo. Esses critérios correspondem a fidelidade do modelo digital do produto, ou DMU (*Digital Mockup*), disponibilidade de informações e facilidade de rastrear tais informações. Essas características auxiliaram uma melhor condução do diagnóstico.

A primeira etapa, avaliação do PDP, fez parte de um projeto maior (i.e. MBmE – Engenharia de Manufatura Baseada em Modelos) mas não será apresentada nesse trabalho, pois não faz parte deste escopo. A segunda etapa, de entrevistas e avaliação das ECOs, é apresentada a seguir de forma mais detalhada.

#### 4.1.1 Avaliação das ECOs e entrevistas

As ECOs relacionadas ao trator considerado nesse estudo foram coletadas e classificadas de acordo com o tipo de problema, i.e. problemas de montabilidade, ergonomia, funcionalidade, entre outros. Apenas as ECOs que estavam relacionadas de alguma forma à fidelidade do DMU no que diz respeito a seu impacto em etapas subsequentes (e.g. de montagem do produto na manufatura, prototipagem, uso do produto pelo cliente) foram consideradas.

Com base nessas ECOs, entrevistas foram realizadas tanto com os solicitantes quanto aqueles que deveriam realizar a alteração ou que estavam de alguma forma relacionados. Um roteiro de entrevista foi utilizado para avaliar as razões que levaram ao surgimento do problema e para rastrear o fluxo de informações (Apêndice B).

Como resultado da avaliação das ECOs e das entrevistas, foi possível destacar os problemas mais recorrentes, como apresentado no Quadro 4.

**Quadro 4** – Problemas encontrados devido a falhas de projeto

<b>Falhas no produto</b>	<b>Área solicitante</b>
Interferências mecânicas	Manufatura
Caminhos dos chicotes elétricos dificultam a montagem, ou colidem com peças ou mecanismos	Testes em campo
Desconexão de mangueiras hidráulicas	Cliente
Freio de serviço e embreagem exigindo esforço excessivo do usuário	Manufatura
Trincas em juntas soldadas	Cliente
Dificuldades de acesso para manutenção	Protótipo
Problemas relacionados à eficiência do produto (e.g. torque; frenagem)	Cliente
Ausência de furos os rasgos necessários a montagem	Protótipo
Falha em sistemas elétricos (e.g. luz indicadora de pressão de óleo não acendendo)	Cliente
Mau funcionamento do ar condicionado da cabine	Cliente

**Fonte:** a própria autora

A partir da avaliação dos problemas apresentados, identificou-se que grande parte deles estavam associados ao não uso ou uso inadequado de informações na etapa de Projeto Detalhado, oriundas de boas práticas de projeto, documentos ou da experiência com projetos passados, haja vista a reincidência de problemas semelhantes.

O período de permanência na empresa, combinado ao que foi obtido através das entrevistas, permitiu identificar que as informações de projeto necessárias para a execução de atividades de engenheiros projetistas estavam muitas vezes dispersas e se encontravam em diferentes formatos (e.g. normas, planilhas). Além disso, o conhecimento adquirido ao longo dos anos também exercia influência na realização de suas tarefas, conhecimento esse que não está documentado.

Como motivos para a não utilização das informações, projetistas destacaram como principal fator a falta de tempo, obrigando-os a deixar de lado considerações importantes. Consequentemente, deixar de considerar informações reflete, como observado, em problemas em etapas posteriores do PDP, que demandam esforços muito maiores para serem solucionados.

Diante disso, uma oportunidade de pesquisa foi encontrada e, como apresentado na Seção 3.2 de aspectos metodológicos, uma solução foi proposta. Para desenvolver tal solução, com base na avaliação das ECOs apresentada anteriormente, o contexto de projeto de mangueiras hidráulicas foi considerado.

Documentos relacionados a esse contexto foram coletados e entrevistas com integrantes da equipe de hidráulica da empresa foram conduzidas.

A seção seguinte apresenta o que foi realizado ao longo do desenvolvimento da solução proposta.

## 4.2 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

Essa seção apresenta as atividades realizadas, conforme apresentado na Seção 3.2.3. Antes de iniciar o processo de construção da solução, uma busca por ferramentas computacionais comerciais que poderiam auxiliar engenheiros projetistas no que tange o problema levantado foi realizada.

### 4.2.1 Ferramentas computacionais de KBE

Existem no mercado algumas ferramentas computacionais de KBE que tem como objetivo principal permitir a automatização de atividades. Entre elas estão: CREO Behavioral Modeling (PTC), Knowledeware CATIA (Dassault), DFMPPro (Geometric), iLogic (Autodesk), CADEC Works (SolidWorks), descritas no Quadro 5. Tais ferramentas estão voltadas, basicamente, a fomentar a colaboração com ferramentas CAx. Assim, têm a capacidade de reduzir o tempo de atividades de projeto pela característica de automação associada.

No entanto, essas soluções não compreendem conhecimentos oriundos de outras fontes que não modelos geométricos e de simulação, mas que são também de extrema importância para a execução de atividades de projeto. Assim, deu-se continuação ao desenvolvimento da solução proposta na Seção 1.2.2.

**Quadro 5** – Ferramentas computacionais de KBE

<b>Ferramentas comerciais</b>	<b>Empresa desenvolvedora</b>	<b>Características</b>
CREO® Behavioral Modeling	PTC®	Possibilita estudos de projeto, modelos inteligentes (i.e., <i>smart</i> ) e um ambiente aberto para uso de resultados de cálculo provenientes de programas externos. Além disso, possibilita fornecer valores de dimensões e requisitos para o modelo CAD que atendem determinadas especificações. Apresenta como benefícios a melhoria na inovação, através da exploração de diversos cenários que estão de acordo com o critério do projeto; entendimento claro do impacto das alterações de projeto e impedimento de comportamentos inconsistentes; redução e custos através da otimização do projeto; economia de tempo por meio da iteração automática do projeto com seus requisitos; redução de erros através



		do uso de resultados provenientes de ferramentas externas, sem transferência de dados manual (PTC; 2016).
Knowledeware CATIA®	Dassault	Assim como a PTC Creo Behavioral Modeling, essa solução permite criar modelos inteligentes e automatizados de um modelo. Isso pode ser feito simplesmente por parâmetros intrínsecos ou definidos pelo usuário para criar um grupo de parâmetros que permitem a criação rápida de um novo projeto a partir de outro já existente (CATIA; 2016).
DFMPro	© Geometric	Permite que o projetista cheque a manufacturabilidade e montagem de componentes e sistemas, podendo assim corrigir problemas previamente. Automatiza o processo de design através de uma série de checagens baseadas em regras, o que ajuda o projetista a melhorar sua produtividade e minimizar seu trabalho. Apresenta como principais benefícios a redução do consumo de tempo com transferência de arquivos através de formatos de arquivos padrão como IGES e STP, possibilidade de integração com PLM e ERP; geração de resultados e relatórios em múltiplos formatos (e.g. HTML, Excel) (GEOMETRIC; 2012).
iLogic™	Autodesk®	Além do que foi apontado pelas outras ferramentas, permite atualizar informações da lista de materiais (BOM do inglês <i>Bill of Materials</i> ) quando mudanças no modelo resultam em uma nova configuração; pode ler e escrever arquivos HTML, texto, Word e outros; se comunica com outras aplicações Windows; conecta-se com aplicações de bancos de dados externas como Microsoft Access ou SQL Server (AUTODESK; 2014).
CADEC™ Works	SolidWorks®	Baseada em uma base de dados relacional, permite a captura, gerenciamento, revisão, controle e implementação de regras. Acessa a base de dados <i>model tree</i> do CAD 3D para capturar e modificar a geometria. Usa a própria base de dados de variáveis para criar, gerenciar e implementar regras (SOLIDWORKS; 2016).

Fonte: a própria autora.

#### 4.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO DE ONTOLOGIA

A partir da sequência de atividades apresentadas na seção de aspectos metodológicos, previstas pelo método 101, inicialmente é necessário definir qual domínio deve ser

representado. Este domínio foi definido por meio do diagnóstico realizado na empresa, o que foi apresentado anteriormente. Para construir uma ontologia, outra etapa importante é a definição do escopo, ou seja, o que se deseja alcançar a partir de sua utilização. Para tal, reuniões com integrantes da equipe de hidráulica da empresa foram realizadas. Dessa forma, foi possível identificar quais conhecimentos precisavam ser conhecidos para que uma mangueira pudesse ser selecionada.

Diante disso, cenários foram solicitados aos engenheiros projetistas da equipe de hidráulica e, a partir deles, foi possível definir também as questões de competência. A combinação entre estes cenários e as questões permite que, ao final, a solução possa ser demonstrada e avaliada. O Quadro 6 mostra os cenários considerados.

**Quadro 6** – Cenários considerados na pesquisa

<b>Aplicação (caso de uso)</b>	<b>Dados de entrada</b>
Bomba de Engrenagem	Vazão = 20 a 50 l/min (litros por minuto) Pressão máxima de trabalho = 21 MPa (megapascal) Pressão de ruptura = 84 MPa
Transmissão Hidrostática	Mangueira utilizada nos Estados Unidos = tipo 100R13 Pressão de ruptura = 34,5 MPa Pressão máxima válvula de alívio = 42.5 MPa

Fonte: a própria autora

No caso do primeiro cenário, a bomba de engrenagem pode fornecer de 20 a 50 l/min e o sistema pode chegar a uma pressão de 21 MPa. Na vazão máxima, a velocidade do fluido chega a 5 metros por segundo (m/s) e na mínima, em torno de 2,5 m/s. Para que não houvesse muita perda de carga em alta vazão e para ser capaz de apresentar bom funcionamento em baixa vazão, optou-se por uma mangueira com diâmetro de 10 mm, classe SAE 100R17. O diâmetro é obtido através da aplicação de seguinte equação:

$$Velocidade\ do\ Fluido\ (m/s) = 21,2 \times \frac{Vazão\ (l/min)}{[Diâmetro\ Interno\ da\ mangueira\ ID\ (mm)]^2} \quad (1)$$

Além de atender aos requisitos mínimos como pressão de ruptura e diâmetro, esta mangueira foi escolhida devido ao fato de apresentar um raio de curvatura menor do que as demais e por ser normalmente utilizada na empresa, o que facilita sua adoção.

O segundo cenário está relacionado a um produto originado nos Estados Unidos, que foi trazido ao Brasil. Este possuía uma mangueira de transmissão hidrostática da classe SAE 100R13, ou seja, que atende até 34,5 MPa de pressão de trabalho. No entanto, o sistema em que está inserida possui uma válvula de alívio com capacidade para 42,5 MPa de pressão de trabalho. Devido as condições as quais o produto pode ser submetido no Brasil (e.g. subidas íngremes), seria possível que o sistema alcançasse a pressão máxima da válvula. Assim, antes de apresentar problemas em campo, a equipe de hidráulica sugeriu substituir a mangueira por outra, agora da classe SAE 100R15. É importante ressaltar que a pressão de trabalho é equivalente a um quarto da pressão de ruptura da mangueira.

Diante destas informações, da sequência de atividades executada pelos engenheiros projetistas e da avaliação das normas utilizadas por eles, foi possível criar as questões de competência, necessárias para a construção de uma ontologia. As questões definidas são as seguintes:

1. Qual é a aplicação de uma mangueira X?
2. Para uma dada condição de pressão P e diâmetro D, quais mangueiras podem ser utilizadas?
3. Para uma dada condição de pressão P e diâmetro D, quais os custos das mangueiras que podem ser utilizadas?
4. Para o caso de uso Z, quais aplicações (não) obtiveram sucesso?

As incógnitas X, D, P e Z estão assim descritas pois devem ser posteriormente substituídas por valores neste trabalho.

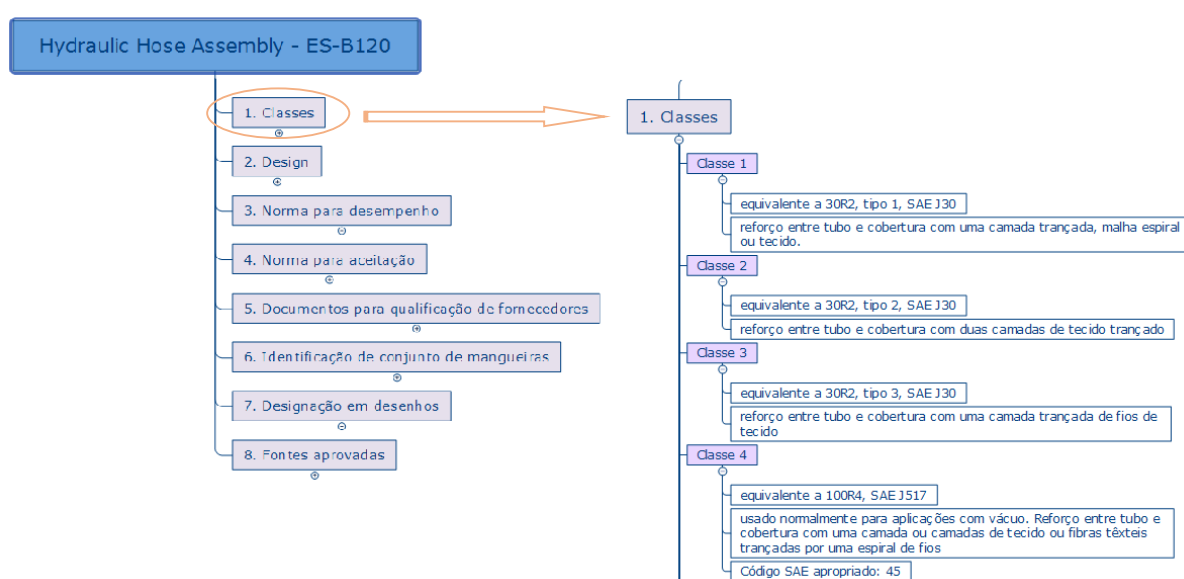
É muito importante destacar que se deve estabelecer limites durante a construção de um modelo de ontologia. Esta limitação é necessária para que o trabalho seja direcionado a um determinado objetivo, i.e. responder as questões inicialmente propostas. Quando isso não é feito, há grandes chances de se prolongar o tempo de desenvolvimento do modelo, assim como do modelo não corresponder às expectativas inicialmente propostas.

Reconhecendo o contexto de projeto de mangueiras hidráulicas, uma procura foi conduzida em bancos de ontologias disponíveis na internet (DAML Ontology Library, 2016; DMOZ, 2016), com o objetivo de identificar possíveis ontologias já existentes que poderiam ser reutilizadas. Nenhuma ontologia útil foi encontrada, ou seja, construir um modelo completo seria necessário.

A etapa seguinte corresponde a avaliação e interpretação do conhecimento capturado. Isso deve ser feito para que, posteriormente, seja possível transformar tal conhecimento em

entidades da ontologia (e.g. classes, propriedades, indivíduos). Assim, o domínio de conhecimento definido foi inicialmente estruturado como um modelo conceitual, na forma de mapas mentais. A Figura 7 ilustra a representação de parte de uma norma como exemplo. Esta norma apresenta tipos de classes das mangueiras hidráulicas, cada uma delas associadas a classes das normas SAE J517 e J30. Além disso, características técnicas de cada tipo de mangueira são definidas, tais como dimensões, materiais, temperatura de trabalho, pressão, entre outras.

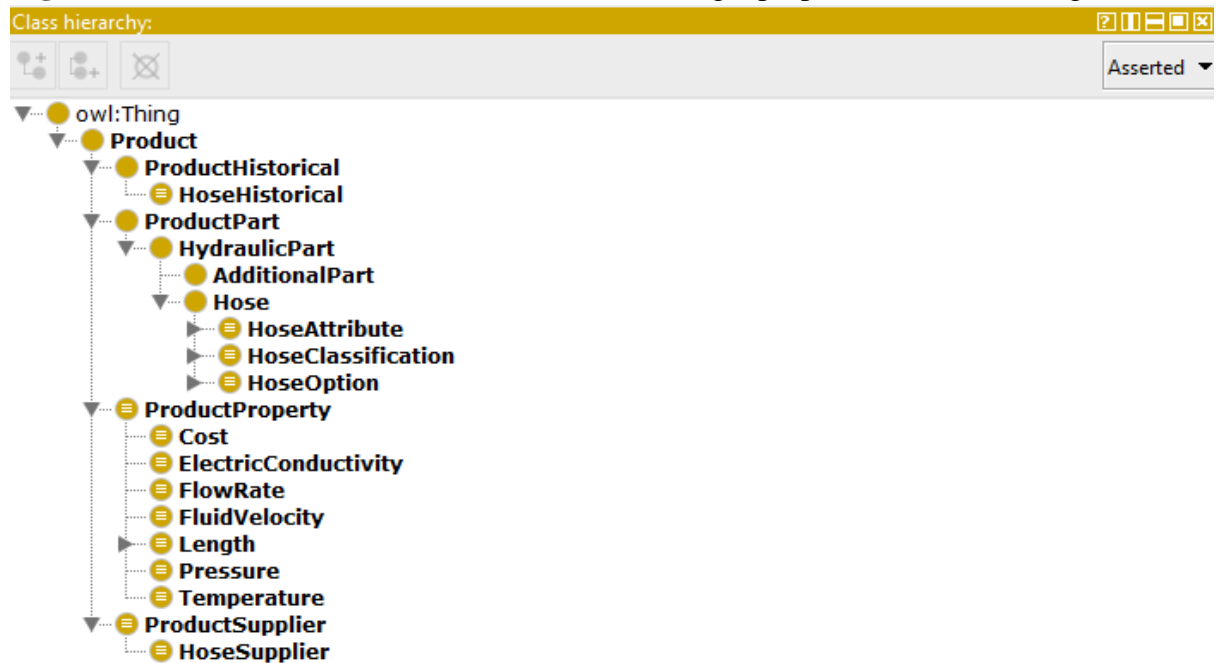
**Figura 7** – Representação de um mapa mental através do software XMind



**Fonte:** a própria autora

Em seguida, o conhecimento foi normalizado. Conhecimento inicialmente descrito em linguagem natural foi reestruturado, passando a ser representado na forma sujeito – predicado – objeto (e.g. Pressão1 tem pressão 1 MPa). Este, encontrava-se adequado para tal normalização, pois atendia aos critérios de rastreabilidade, propriedade, precisão e confiabilidade, visto que foi retirado de normas e de reuniões com os envolvidos. Além disso, a taxonomia do modelo de ontologia foi definida. Nessa etapa o editor de ontologias Protégé foi utilizado. Para sua construção as seguintes classes foram criadas: `Product`, `ProductHistorical`, `ProductPart`, `ProductProperty` e `ProductSupplier`. A representação dessa taxonomia com as principais classes e subclasses é ilustrada na Figura 8.

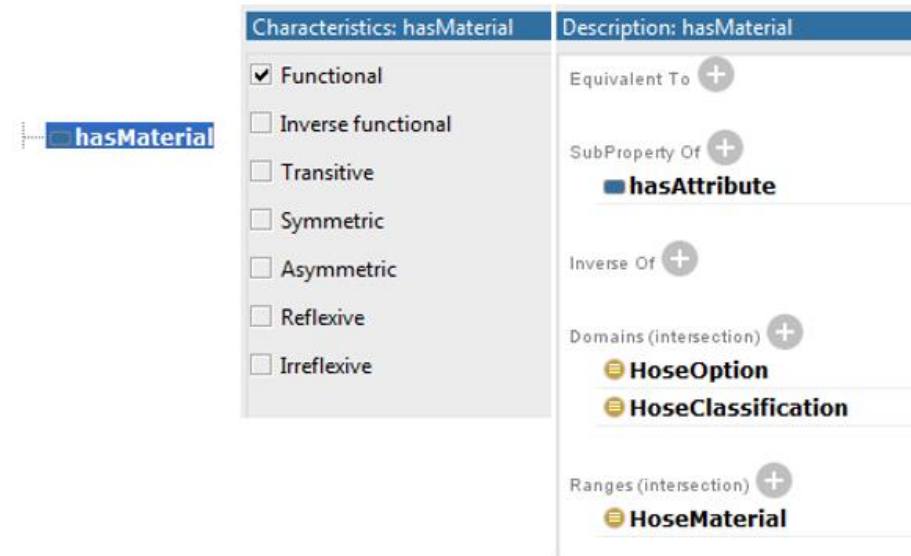
**Figura 8** – Taxonomia de classes do modelo de ontologia proposto no editor Protégé



Fonte: a própria autora

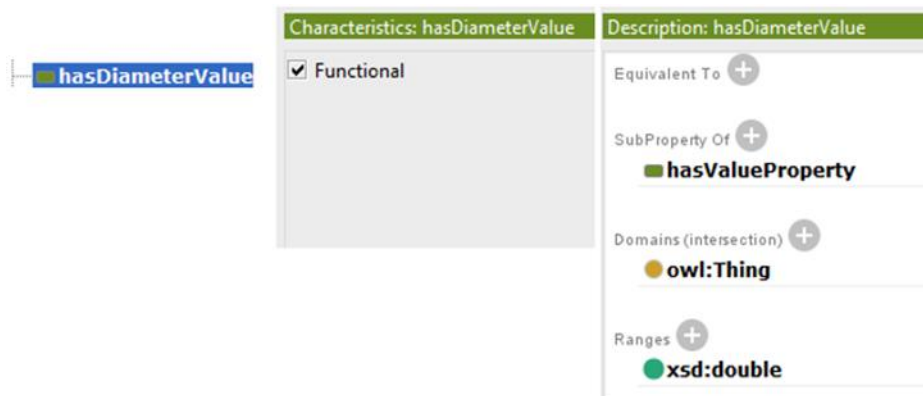
Para definir e relacionar classes, axiomas e propriedades de objeto foram criados, assim como propriedades de dados para relacionar objetos a valores de tipos de dados. Alguns exemplos de propriedades podem ser observados nas figuras 9 e 10. A primeira delas é um exemplo de propriedades de objeto, chamada *hasMaterial*. Propriedades de objeto relacionam objetos (e.g. instâncias de classes ou elementos do domínio) a outros objetos (STAAB; STUDER, 2013). Para tal propriedade, tem-se como domínio as classes *HoseOption* e *HoseClassification* e o *range* é definido como a classe *HoseMaterial*. Na Figura 11, um exemplo de propriedade de dado, *hasDiameterValue*, é ilustrado. Propriedades de tipo de dado relacionam objetos a valores de tipos de dados (STAAB; STUDER, 2013). Neste caso, nota-se que o *range* foi definido como *double*, um tipo de dado que representa valores com casas decimais. Estes dois exemplos correspondem à propriedades funcionais, i.e. que tem pelo menos um valor para cada objeto (STAAB; STUDER, 2013).

**Figura 9** – Exemplo de propriedade de objeto



Fonte: a própria autora

**Figura 10** – Exemplo de propriedade de dado



Fonte: a própria autora

A partir da exemplificação das propriedades, é possível apresentar de forma mais clara cada uma das classes presentes no modelo. A classe intitulada `ProductHistorical` tem `HoseHistorical` como subclasse. Esta contém informações relacionadas ao histórico de mangueiras utilizadas em diferentes casos de uso que, neste trabalho, estão relacionados aos cenários apresentados anteriormente. Para tal, indivíduos foram criados, a fim de representar de forma mais específica cada um dos casos de uso, conforme pode ser observado na Figura 11.

**Figura 11** – Definição da classe `HoseHistorical` e do indivíduo `HoseCase1`

The screenshot displays the Protégé OWL editor interface. On the left, a class hierarchy shows `owl:Thing` as the superclass of `Product`, which is the superclass of `ProductHistorical`, and `HoseHistorical` is a subclass of `ProductHistorical`. The main area is divided into three panels:

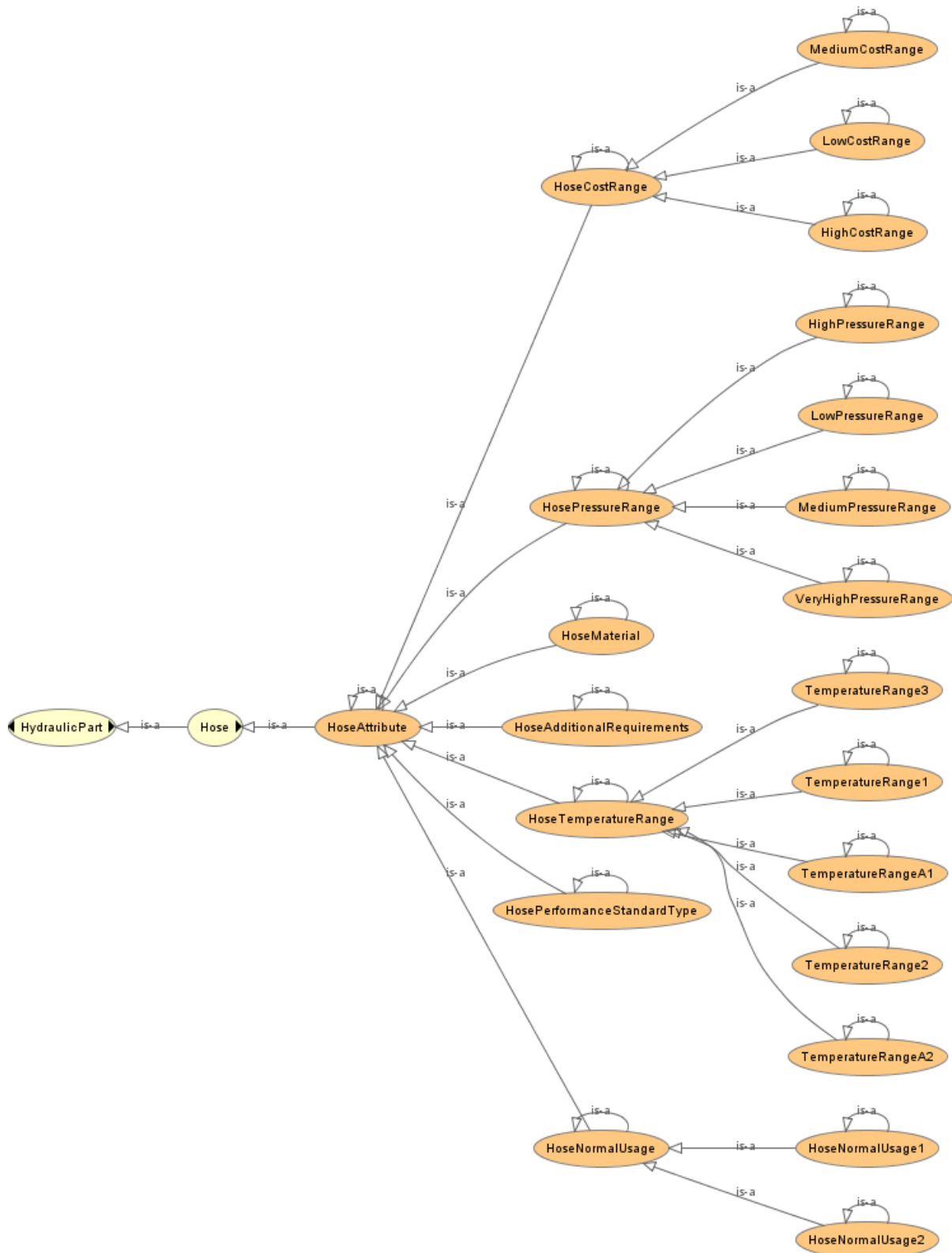
- Description: HoseHistorical:** Shows the class definition. It is equivalent to `(hasApplication some xsd:string) and (hasGoodTrackRecord some xsd:boolean)`. It is a subclass of `(hasClassification some HoseClassification) and (hasMaterial some HoseMaterial) and (hasTemperatureRange some HoseTemperatureRange) and (hasDiameter min 1 Diameter) and (hasMinBendRadius min 1 BendRadius) and (hasBurstPressure exactly 1 HosePressureRange) and (hasNormalUse exactly 1 HoseNormalUsage) and (hasElectricConductivity some xsd:boolean)`.
- Instances: HoseCase1:** Lists three instances: `HoseCase1`, `HoseCase2`, and `HoseCase3`. `HoseCase1` is selected.
- Description: HoseCase1:** Lists the types and property assertions for the instance. Types include `hasBurstPressureValue some xsd:double[>="84.0"^^xsd:double]`, `hasElectricConductivity some xsd:boolean`, `hasHoseAvailable value true`, `hasHoseOption some HoseAvailableOption`, `hasMaterial some HoseMaterial`, `hasMinBendRadius some BendRadius`, `hasNormalUse some HoseNormalUsage`, `hasPreferenceAttribute some xsd:boolean`, `hasTemperatureRange some HoseTemperatureRange`, and `HoseHistorical`. Property assertions include `hasMinFlowRate FlowRate20.0`, `hasMaxFlowRate FlowRate50.0`, and `hasDiameter Diameter10.0`.

Fonte: a própria autora

A classe `ProductPart` representa componentes que pertencem a um produto. No caso da presente pesquisa, apenas uma classe (i.e. classe `HydraulicPart`) foi inserida, devido ao fato de este ser o domínio que se deseja representar. Esta classe possui duas subclasses, `AdditionalPart` e `Hose`. A primeira delas corresponde a identificar componentes hidráulicos adicionais necessários para definição desta ontologia. A segunda é caracterizada por informações e conhecimentos necessários para se definir uma mangueira, tais como seus atributos (i.e. `HoseAttribute`) e sua classificação (i.e. `HoseClassification`), assim como opções de mangueiras que podem ser utilizadas (i.e. `HoseOption`).

A classe `HoseAttribute` e suas subclasses (e.g. `HoseCostRange`, `HosePressureRange`, `HoseAdditionalRequirement`, `HoseMaterial`, `HoseNormalUsage`, `HoseTemperatureRange` e `HosePerformanceStandard`) são apresentadas na Figura 12, no formato disponível pelo *plug-in* OWLViz do Protégé na forma de hierarquia declarada. Exceto a subclasse `HoseCostRange`, todas as outras correspondem à informações provenientes de uma das normas da empresa.

Figura 12 – Representação gráfica gerada pelo *plug-in* OWLViz



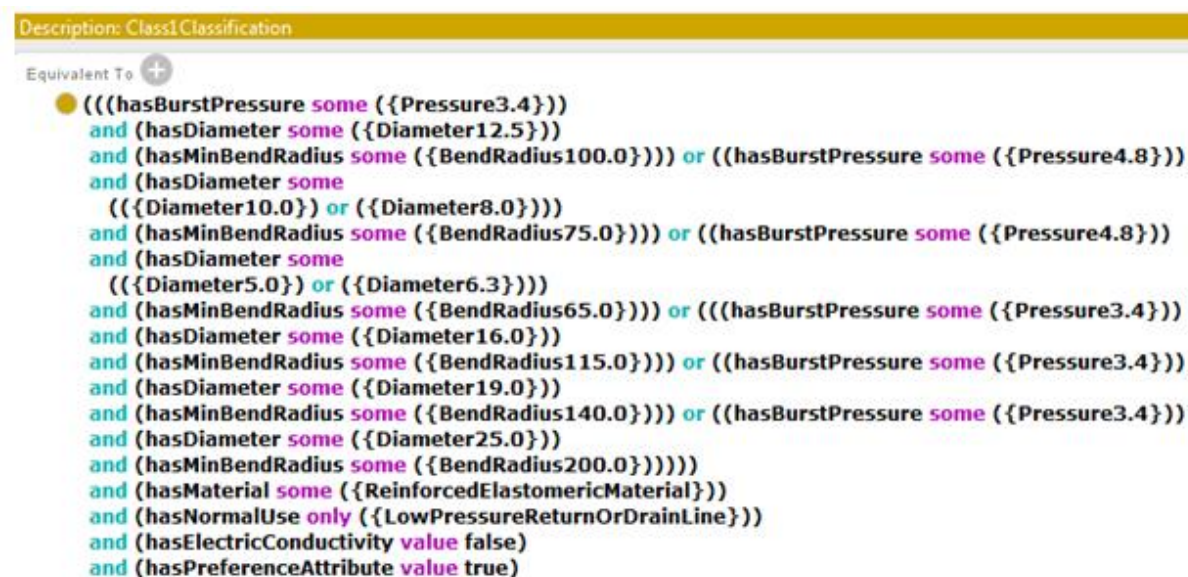
Fonte: a própria autora



A classe `HoseCostRange` foi criada a fim de definir intervalos de custos normalmente associados a mangueiras hidráulicas. O mesmo pode ser atribuído às classes `HosePressureRange` e `HoseTemperatureRange` mas que estão, respectivamente, relacionadas a intervalos de pressão (e.g. `HighPressureRange`, `MediumPressureRange`, `LowPressureRange`) e temperatura (e.g. `TemperatureRange1`, `TemperatureRange2`). A classe `HoseMaterial` contém possíveis materiais utilizados em mangueiras (e.g. elastomérico reforçado, termoplástico reforçado), que foram definidos como indivíduos. A classe `HoseAdditionalRequirements` corresponde a requisitos adicionais que podem ser conferidos a algumas classes de mangueiras. Um exemplo de requisito adicional é aquele relacionado ao aumento da faixa de temperatura de trabalho, na qual uma mangueira deve ter um desempenho satisfatório no intervalo que vai de  $-40^{\circ}\text{C}$  até  $121^{\circ}\text{C}$ . A classe `HosePerformanceStandardType` está relacionada ao cumprimento de requisitos estabelecidos em normas SAE diante da submissão das mangueiras a testes (e.g. `Standard Type 1`, `Standard Type 2`). Para definir as possíveis situações de aplicação das mangueiras, a classe `HoseNormalUsage` foi criada. Basicamente, cada uma destas aplicações está associada a uma faixa de pressão e é atribuída a uma determinada classificação de mangueira (i.e. 30R2, 100R1).

A classe `HoseClassification` foi criada a fim de representar as possíveis classificações de mangueiras, ou seja, pela norma SAE e pela norma da empresa. As informações contidas em cada uma das classes são oriundas de tabelas e outras informações presentes na norma. Na Figura 13, uma das classes representadas no modelo é ilustrada. Como pode ser observado, esta contém informações técnicas tais como pressão de ruptura, diâmetro, raio de curvatura, material, entre outras. Além disso, a propriedade `hasPreferenceAttribute` foi criada a partir de informações coletadas em reuniões com a equipe de hidráulica da empresa. Segundo os engenheiros entrevistados, algumas classes de mangueira têm preferência diante de outras, haja vista suas características técnicas e disponibilidade, o que permite empregá-las em diferentes projetos.

**Figura 13** – Descrição de uma classe proposta no modelo no editor Protégé



```

Description: Class1Classification
Equivalent To +
(((hasBurstPressure some {{Pressure3.4}})
and (hasDiameter some {{Diameter12.5}})
and (hasMinBendRadius some {{BendRadius100.0}})) or ((hasBurstPressure some {{Pressure4.8}})
and (hasDiameter some
({{Diameter10.0}} or {{Diameter8.0}}))
and (hasMinBendRadius some {{BendRadius75.0}})) or ((hasBurstPressure some {{Pressure4.8}})
and (hasDiameter some
({{Diameter5.0}} or {{Diameter6.3}}))
and (hasMinBendRadius some {{BendRadius65.0}})) or (((hasBurstPressure some {{Pressure3.4}})
and (hasDiameter some {{Diameter16.0}})
and (hasMinBendRadius some {{BendRadius115.0}})) or ((hasBurstPressure some {{Pressure3.4}})
and (hasDiameter some {{Diameter19.0}})
and (hasMinBendRadius some {{BendRadius140.0}})) or ((hasBurstPressure some {{Pressure3.4}})
and (hasDiameter some {{Diameter25.0}})
and (hasMinBendRadius some {{BendRadius200.0}}))))
and (hasMaterial some {{ReinforcedElastomericMaterial}})
and (hasNormalUse only {{LowPressureReturnOrDrainLine}})
and (hasElectricConductivity value false)
and (hasPreferenceAttribute value true)

```

Fonte: a própria autora

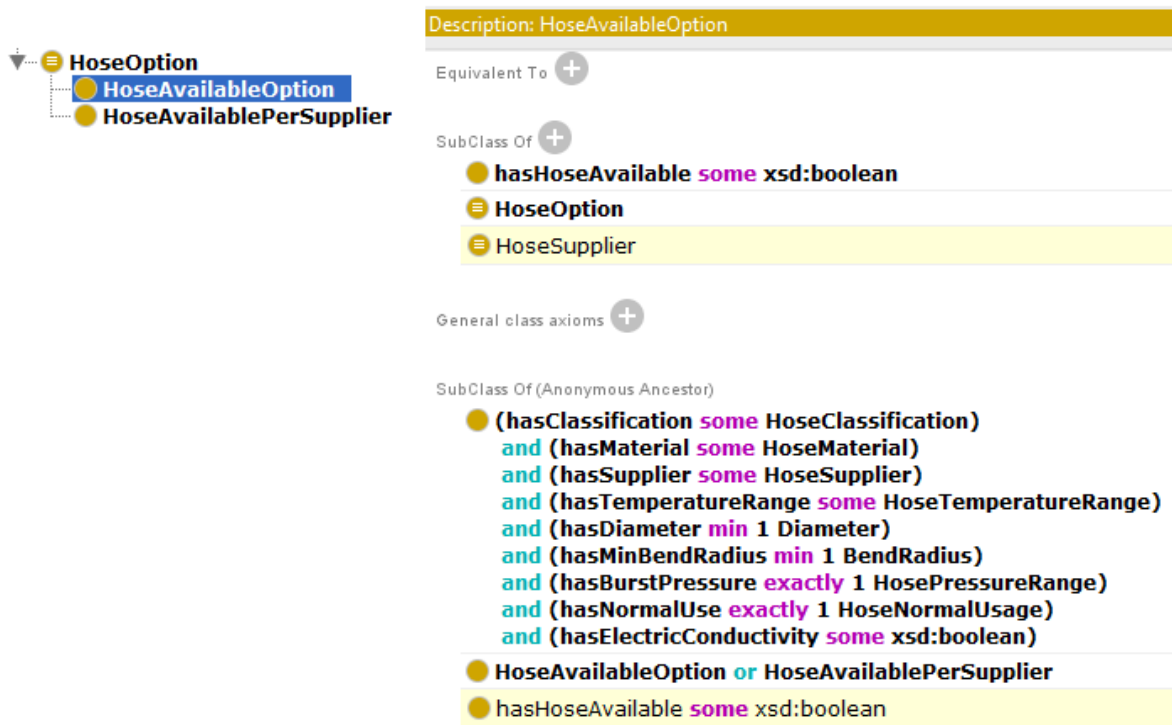
A classe `HoseOption` possui duas subclasses, `HoseAvailableOption` e `HoseAvailablePerSupplier`. A primeira delas tem como objetivo representar possíveis mangueiras disponíveis na empresa, como explicita a Figura 14. A classe `HoseAvailablePerSupplier` corresponde à atribuição de custos a mangueiras, com base em possíveis fornecedores. Fornecedores reais da empresa foram contatados para obtenção destas informações. Para tal, algumas condições foram estabelecidas, tais como algumas classes de mangueiras mais usadas (e.g. 100R1, 100R16, 100R17 100R6 e 30R2) e volume de vendas igual a 100 unidades/mês. No entanto, apenas um fornecedor retornou informações quando solicitado, o que impossibilitou representar os custos de forma fidedigna. A Figura 16 apresenta um dos indivíduos criados na classe `HoseAvailablePerSupplier`.

A classe `ProductProperty`, ilustrada na Figura 17 com suas subclasses na forma de hierarquia inferida, corresponde as propriedades necessárias para definição e criação da presente ontologia. Cada uma destas propriedades é descrita de acordo com o tipo de dado e unidade de medida, como pode ser visto na Figura 18. Além disso, cada uma delas possui também indivíduos com valores específicos, como mostra a Figura 19.

A última classe, `HoseSupplier`, tem como objetivo representar possíveis fornecedores de mangueira da empresa. Para tal, indivíduos foram criados, cada um relacionado a um fornecedor. Esta informação é necessária devido à sua associação com custos, o que foi indispensável para a criação dos indivíduos da classe `HoseAvailablePerSupplier`.

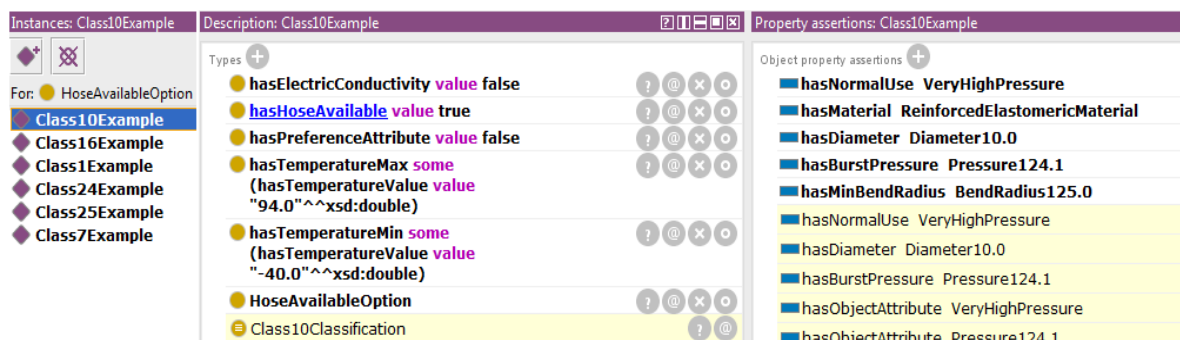
É importante enfatizar que taxonomia, indivíduos e propriedades mudaram e foram readaptados muitas vezes ao longo do desenvolvimento, sempre em busca de uma melhor representação do domínio.

**Figura 14** – Descrição da classe `HoseAvailableOption`



Fonte: a própria autora

**Figura 15** – Exemplo de indivíduo da classe `HoseAvailableOption`



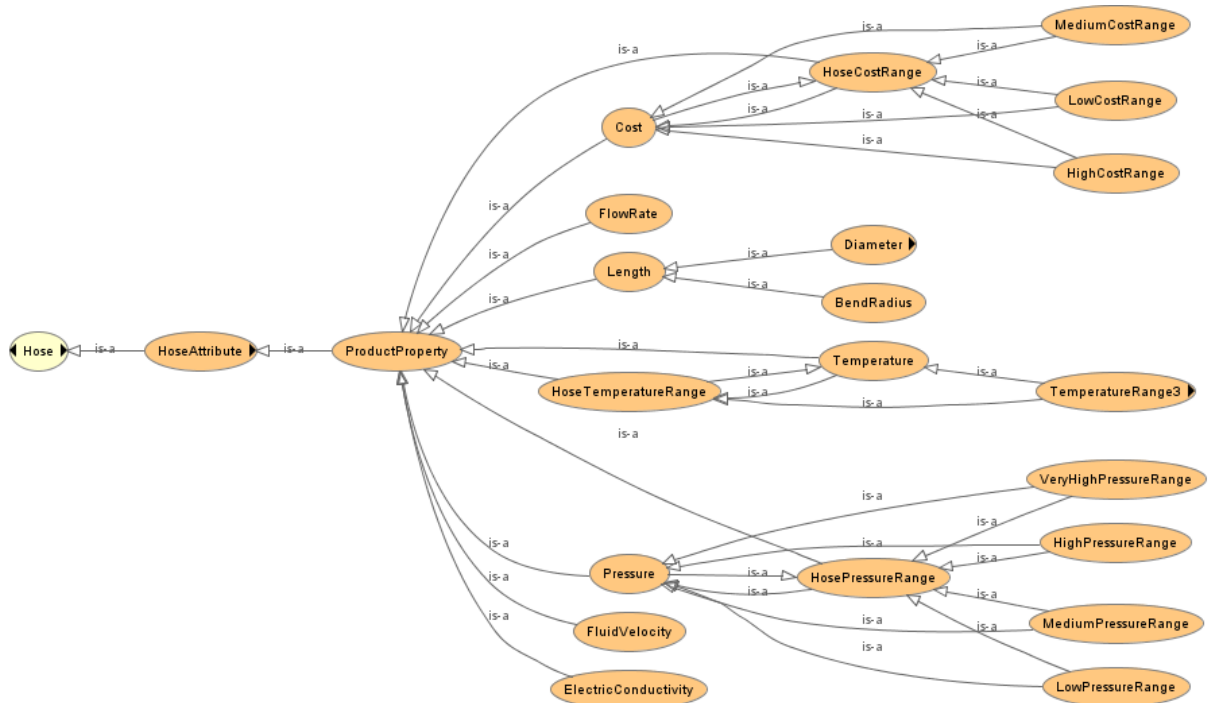
Fonte: a própria autora

Figura 16 – Indivíduo Hose1Supplier1 da classe HoseAvailablePerSupplier

The screenshot shows a software interface with two main panels. The top panel has a purple header with 'Description: Hose1Supplier1' on the left and 'Property assertions: Hose1Supplier1' on the right. Below the header, there are two sections: 'Types' and 'Object property assertions'. The 'Types' section lists several properties with their values and data types, such as 'hasElectricConductivity value false', 'hasPreferenceAttribute value true', and 'hasTemperatureMax some (hasTemperatureValue value "94.0"^^xsd:double)'. The 'Object property assertions' section lists specific assertions for this individual, including 'hasMinBendRadius BendRadius65.0', 'hasCost Cost10.59', 'hasSupplier ParkerSupplier', 'hasBurstPressure Pressure84.0', 'hasNormalUse MediumPressure2', 'hasDiameter Diameter10.0', 'hasMaterial ReinforcedElastomericMaterial', and 'hasSupplier ParkerSupplier'.

Fonte: a própria autora

Figura 17 – Representação gráfica gerada pelo plug-in OWLViz



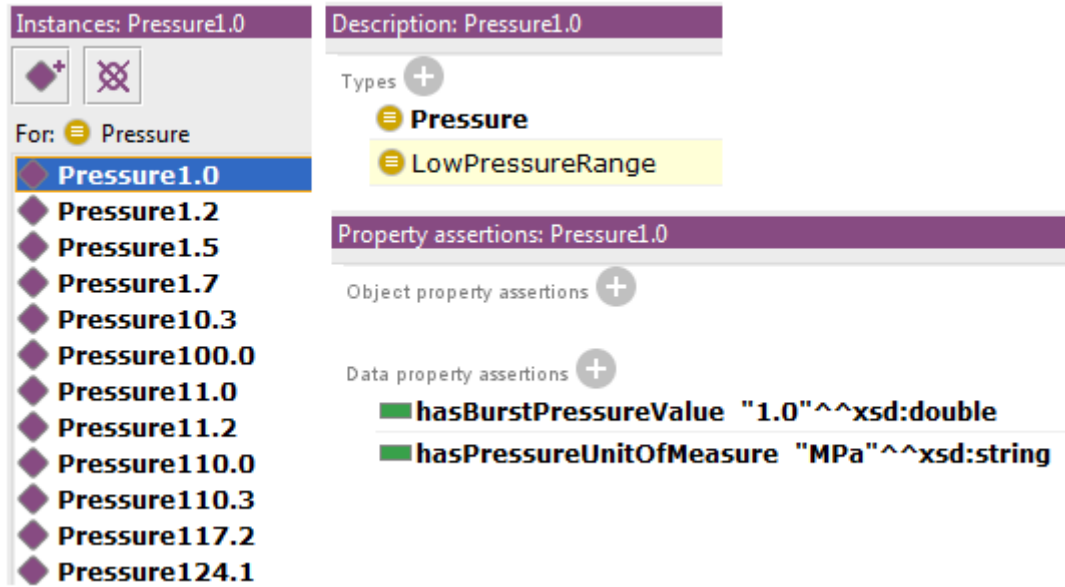
Fonte: a própria autora

Figura 18 – Descrição da classe Pressure

The screenshot shows a software interface with two main panels. The top panel has a yellow header with 'Description: Pressure'. Below the header, there is a section 'Equivalent To' with a plus sign. This section lists two equivalent classes: '(hasBurstPressureValue some xsd:double) and (hasPressureUnitOfMeasure value "MPa")' and 'HosePressureRange'. On the left side of the interface, there is a tree view showing a hierarchy of classes: 'ProductProperty' (expanded), 'Cost', 'ElectricConductivity', 'FlowRate', 'FluidVelocity', 'Length', 'Pressure' (selected), and 'Temperature'.

Fonte: a própria autora

**Figura 19** – Exemplo de indivíduo da classe *Pressure*



Fonte: a própria autora

Para verificar possíveis inconsistências e realizar inferência no modelo, um dos *reasoners* do Protégé chamado Pallet foi utilizado. Um *reasoner* avalia se há alguma contradição na ontologia, comparando classes testadas com a base de conhecimento resultante (PARSIA; SIRIN; KALYANPUR, 2005).

Os resultados desta avaliação indicaram que nenhuma inconsistência foi encontrada no modelo proposto. Além disso, informações que se encontram acima de um fundo amarelo, o que pode ser visto em várias das figuras apresentadas anteriormente (e.g. Figuras 17, 18, 20, 21), são aquelas inferidas pelo *reasoner*. Este é um dos maiores benefícios de modelos ontológicos visto que permitem, através de informações atribuídas aos indivíduos ou classes, que o modelo compreenda as relações existentes entre tais entidades.

A partir das informações inseridas no indivíduo `Hose1Supplier1` (Figura 16), foi possível inferir que este poderia ser considerado da Classe 25 conforme classificação da empresa. Isso corresponde a afirmar que este indivíduo compreende os requisitos definidos na classe `Class25Classification`.

A próxima seção apresenta buscas que foram elaboradas a fim de identificar se o modelo de ontologia criado responde às questões propostas inicialmente.

#### 4.4 DEMONSTRAÇÃO

Para executar a etapa de demonstração da solução proposta neste trabalho, algumas buscas foram feitas. Para tal, o *plug-in* Snap SPARQL do Protegé foi inicialmente utilizado. Depois disso, a plataforma Stardog (2017) foi adotada. Entre as plataformas disponíveis no mercado, capazes de manipular bases de dados de grafos, Stardog foi selecionada devido ao fato de apresentar licenças gratuitas, assim como pelo conhecimento necessário para utilizá-la. No entanto, plataformas como Neo4j também poderiam ter sido empregadas.

Como apresentado no trabalho de (GRÜNINGER; FOX, 1995), cenários são a chave para construção, demonstração e avaliação de modelos ontológicos. Ainda segundo estes autores, cenários podem ser descritos como históricos de problemas ou situações que não podem ser associados a ontologias já existentes. Diante disso, os dois cenários propostos pelos engenheiros da empresa, anteriormente apresentados, foram considerados.

A partir destes casos reais, algumas buscas foram realizadas, a fim de identificar se o modelo de ontologia seria capaz de responder possíveis questões dos engenheiros de forma satisfatória. Estas buscas estão baseadas nas questões de competência definidas no início da etapa de desenvolvimento da solução.

##### 4.4.1 Buscas (*Queries*)

Para identificar se a ontologia criada seria capaz de retornar informações pretendidas, o *plug-in* Snap SPARQL do Protégé foi utilizado. As buscas iniciais foram mais simples e corresponderam a identificar indivíduos a partir de uma de suas características, ou seja, do tipo base de dados.

A primeira busca pretendia identificar quais eram os indivíduos que possuíam pressões com valor acima de 4,8 MPa. A expressão utilizada para essa finalidade é apresentada na Figura 20, assim como o resultado obtido. Outras buscas similares podem ser encontradas no Apêndice C.

Uma busca sempre é composta de duas partes, SELECT e WHERE. A primeira delas, SELECT, identifica as variáveis que devem aparecer no resultado da busca. A segunda, WHERE, representa o padrão básico de bases de dados de grafos, ou seja, na forma de triplos (i.e. sujeito, predicado e objeto).

```

PREFIX hose:<http://www.semanticweb.org/m5/ontologies/2016/hose#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

SELECT ?subject
WHERE { ?subject hose:hasBurstPressureValue ?y .
FILTER (?y >= 4.8)
}

```

**Figura 20** – Resultado da busca através do *plug-in* Snap-SPARQL

The screenshot shows the Snap SPARQL Query interface. The query is displayed in the top section, and the results are shown in a table below. The table has a single column labeled '?subject' and contains 15 rows of pressure values.

?subject
hose:Pressure275.8
hose:Pressure20.7
hose:Pressure31.0
hose:Pressure66.0
hose:Pressure140.0
hose:Pressure55.2
hose:Pressure68.9
hose:Pressure68.5
hose:Pressure33.1
hose:Pressure22.1
hose:Pressure344.7
hose:Pressure11.2

**Fonte:** a própria autora

Buscas mais complexas foram desenvolvidas, a fim de se chegar em estruturas de buscas que permitissem descrever as questões de competência. Isso é necessário para demonstrar a utilidade da ontologia caso esta fosse submetida a uma situação real (i.e. etapa de projeto de mangueiras hidráulicas).

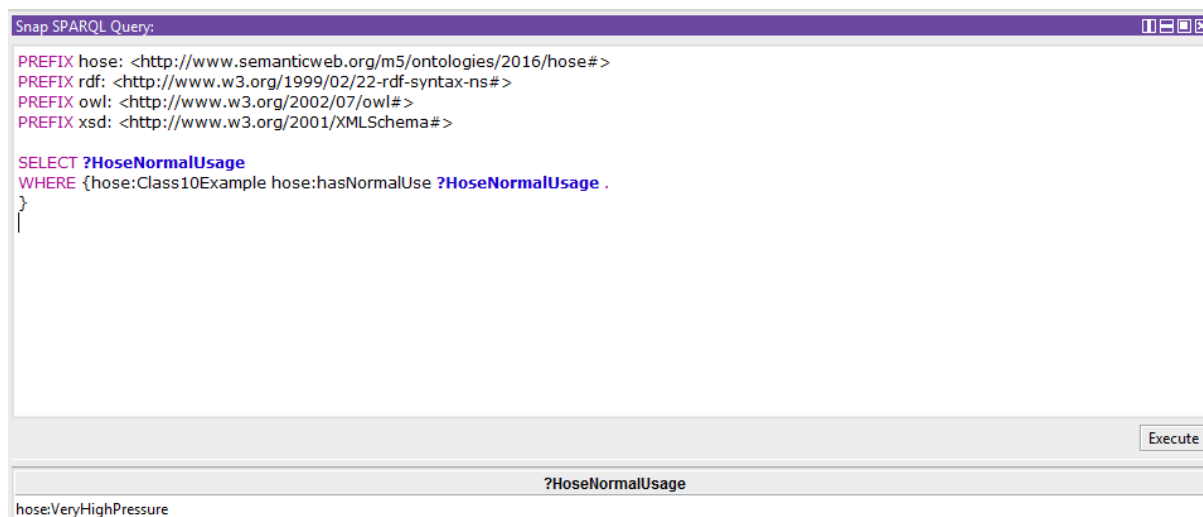
A busca ilustrada na Figura 21 está associada a primeira questão de competência, ou seja, tem como objetivo demonstrar que a ontologia é capaz de apontar qual é a aplicação de uma determinada mangueira disponível na empresa. A mangueira, aqui representada pelo indivíduo `Class10Example`, está associada a uma propriedade que a relaciona a uma aplicação ou uso (i.e. `hasNormalUse`). Assim, a variável que contém essa informação, representada por `?HoseNormalUsage`, deve ser o resultado da busca.

```

SELECT ?HoseNormalUsage
WHERE {hose:Class10Example hose:hasNormalUse ?HoseNormalUsage .
}

```

**Figura 21** – Resultado da busca no *plug-in* Snap-SPARQL



**Fonte:** a própria autora

Como pode ser observado, a mangueira *Class10Example* é normalmente empregada quando se tem uma pressão muito alta (i.e. *VeryHighPressure*), que tem valores acima de 350 MPa de pressão de ruptura.

Na sequência, outra busca representa a segunda questão de competência, que corresponde a identificar qual mangueira pode ser utilizada, conhecendo-se os valores de diâmetro e pressão. Assim, esta busca retorna quais as mangueiras disponíveis na empresa que possuem um diâmetro igual a 10 mm e que atendem a uma pressão de ruptura maior ou igual a 84 MPa. A resposta obtida permite ao engenheiro projetista avaliar, dentre as possíveis mangueiras apresentadas (*Class25Example*, *Classe24Example* e *Class10Example*), qual seria a mais adequada.

Como pode ser observado na Figura 22, as mangueiras que poderiam ser usadas estão associadas aos respectivos raios de curvatura e pressão de ruptura da mangueira. Grande parte das vezes, os engenheiros dão preferência àquelas que apresentam menor raio de curvatura. Tal informação se encontra exposta no resultado da busca.

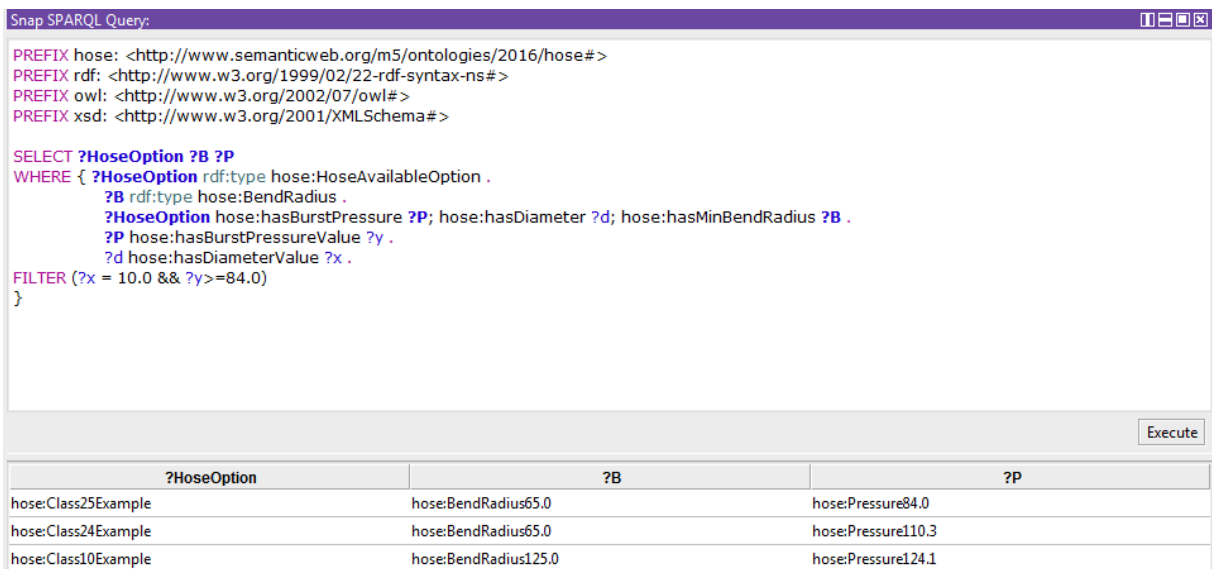


```

SELECT ?HoseOption ?B ?P
WHERE {
  ?HoseOption rdf:type hose:HoseAvailableOption .
  ?B rdf:type hose:BendRadius .
  ?HoseOption hose:hasBurstPressure ?P; hose:hasDiameter ?d;
hose:hasMinBendRadius ?B .
  ?P hose:hasBurstPressureValue ?y .
  ?d hose:hasDiameterValue ?x .
FILTER (?x = 10.0 && ?y>=84.0)
}

```

**Figura 22** – Resultado de busca no *plug-in* Snap-SPARQL



The screenshot shows a window titled "Snap SPARQL Query:" with a text area containing the SPARQL query from Figure 22. Below the text area is an "Execute" button. The results are displayed in a table with three columns: "?HoseOption", "?B", and "?P".

?HoseOption	?B	?P
hose:Class25Example	hose:BendRadius65.0	hose:Pressure84.0
hose:Class24Example	hose:BendRadius65.0	hose:Pressure110.3
hose:Class10Example	hose:BendRadius125.0	hose:Pressure124.1

**Fonte:** a própria autora

A próxima busca é semelhante a anterior, no entanto permite aos engenheiros projetistas identificar o custo das mangueiras entre aquelas adequadas para uma determinada situação. Esta tem como objetivo ilustrar que a ontologia proposta poderia trazer informações que não estão normalmente disponíveis no ambiente de engenharia de produto. A pergunta realizada corresponde a: quais são as mangueiras com pressão de ruptura maior ou igual a 84 MPa e com 10 mm de diâmetro, de acordo com o custo?

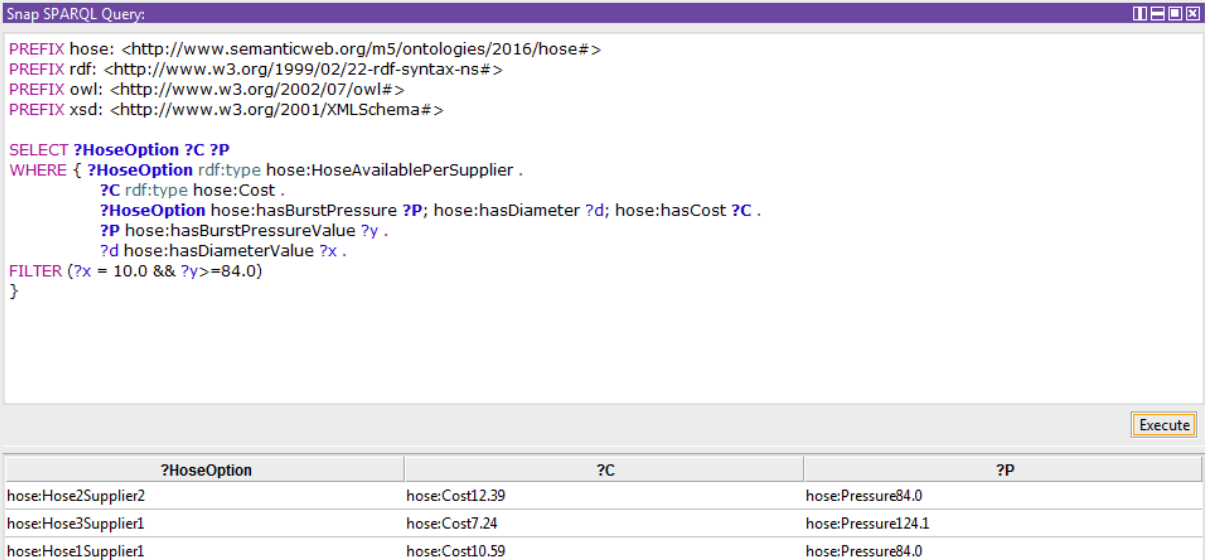
Com base nos resultados obtidos com esta busca (Figura 23), engenheiros projetistas podem selecionar uma possível mangueira com base no menor custo, que atenda aos requisitos necessários (i.e. pressão, diâmetro).

```

SELECT ?HoseOption ?Cost ?BurstPressure
WHERE { ?HoseOption rdf:type hose:HoseAvailablePerSupplier.
        ?Cost rdf:type hose:Cost .
        ?BurstPressure rdf:type hose:Pressure .
        ?HoseOption hose:hasBurstPressure ?BurstPressure;
hose:hasDiameter ?Diameter; hose:hasCost ?Cost.
        ?BurstPressure hose:hasBurstPressureValue ?BP .
        ?Diameter hose:hasDiameterValue ?D .
FILTER (?D =10.0 && ?BP>=84.0)
}

```

**Figura 23** – Resultado de busca no *plug-in* Snap-SPARQL



The screenshot shows a window titled "Snap SPARQL Query:" containing a SPARQL query and its results. The query is identical to the one in Figure 23. Below the query editor is an "Execute" button. The results are displayed in a table with three columns: ?HoseOption, ?C, and ?P.

?HoseOption	?C	?P
hose:Hose2Supplier2	hose:Cost12.39	hose:Pressure84.0
hose:Hose3Supplier1	hose:Cost7.24	hose:Pressure124.1
hose:Hose1Supplier1	hose:Cost10.59	hose:Pressure84.0

**Fonte:** Autora

A última busca corresponde a identificar o histórico de um determinado caso de uso, a fim de identificar possíveis problemas passados ou casos em que se obteve êxito. O objetivo desta busca é demonstrar que informações normalmente inseridas em ECOs podem também estar estruturadas em um modelo de ontologia.

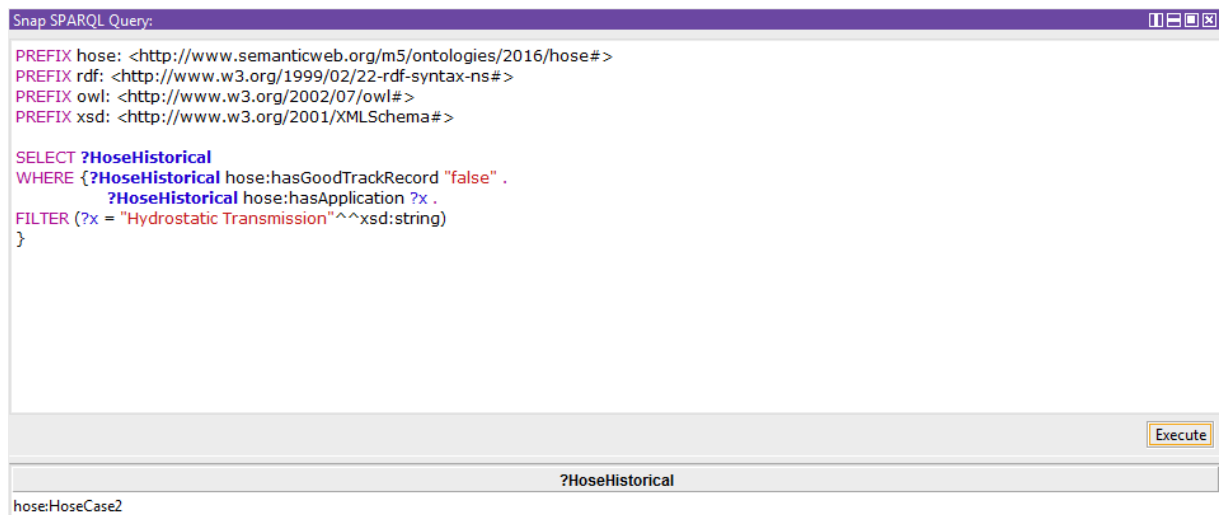
A busca ilustrada na Figura 24 corresponde a seguinte pergunta: para o caso de uso transmissão hidrostática, quais aplicações não obtiveram sucesso? Esta questão é respaldada por duas propriedades, *hasGoodTrackRecord* e *hasApplication*. A primeira delas é uma propriedade de dados do tipo booleana, criada para atribuir a um caso de uso se seu histórico é satisfatório, ou seja, não apresentou problemas (i.e. *true*) ou como insatisfatório, que corresponde aos casos em que determinado componente envolvido passou por algum tipo de

problema ou necessitou ser alterado (i.e. *false*). A segunda propriedade permite encontrar o caso de uso desejado pelo engenheiro.

A resposta obtida através desta busca corresponde ao indivíduo HoseCase2 (i.e. Figura 25). Conforme ilustração, é possível identificar qual tipo de mangueira foi utilizada neste caso (i.e. classificação SAE 100R13) e qual problema ocorreu (i.e. comentário associado ao indivíduo).

```
SELECT ?HoseHistorical
WHERE {?HoseHistorical hose:hasGoodTrackRecord "false" .
      ?HoseHistorical hose:hasApplication ?x .
FILTER (?x = "Hydrostatic Transmission"^^xsd:string)
}
```

**Figura 24** – Resultado de busca no *plug-in* Snap-SPARQL



**Fonte:** a própria autora

**Figura 25** – Representação do indivíduo HoseCase2

The screenshot displays the SPARQL query result viewer for the individual `HoseCase2`. The interface is organized into several panels:

- Instances: HoseCase2:** A list of instances including `HoseHistorical`, `HoseCase1`, `HoseCase2` (selected), and `HoseCase3`.
- Annotations: HoseCase2:** Shows an `rdfs:comment` with the text: "A product originated in the USA was brought to Brazil with a hydrostatic transmission hose class 100R13 (up to 345 bar). However, it has a relief valve with a capacity of 425 bar. Due to the conditions under which the product can be subjected in Brazil, it is possible that in cases of steep ascent, for example, eventually reach the maximum pressure of the valve. In this way, the hose used would not be enough. Thus, before presenting any problem in the field, it was suggested to change the hose."
- Description: HoseCase2:** Lists various properties and their values:
  - `hasElectricConductivity` some `xsd:boolean`
  - `hasHoseAvailable` value `true`
  - `hasHoseClassification` some `100R13Classification`
  - `hasMaterial` some `HoseMaterial`
  - `hasMinBendRadius` some `BendRadius`
  - `hasNormalUse` some `HoseNormalUsage`
  - `hasPreferenceAttribute` some `xsd:boolean`
  - `hasTemperatureRange` some `HoseTemperatureRange`
  - `HoseHistorical`
  - `HoseSupplier`
- Property assertions: HoseCase2:** Shows object and data property assertions:
  - Object property assertions:**
    - `hasAdditionalPart` `ReliefValve`
    - `hasObjectAttribute` `ReliefValve`
    - `hasAdditionalPart` `ReliefValve`
  - Data property assertions:**
    - `hasGoodTrackRecord` `false`
    - `hasApplication` `"Hydrostatic Transmission"^^xsd:string`
    - `hasGoodTrackRecord` `false`
    - `hasHistoricalProperty` `false`
    - `hasHistoricalProperty` `"Hydrostatic Transmission"^^xsd:string`
    - `hasHoseAvailable` `true`
    - `hasApplication` `"Hydrostatic Transmission"^^xsd:string`

Fonte: a própria autora

#### 4.4.1.1 Stardog

Uma vez realizadas no *plug-in* Snap-SPARQL, todas as buscas apresentadas anteriormente foram executadas na plataforma Stardog. Esta plataforma está disponível em três versões, i.e. empresarial, comunitária e desenvolvedor, sendo a versão comunitária a que foi empregada nesta pesquisa. Através dela, é possível observar o conhecimento e realizar buscas em bases de dado em RDF, de forma muito mais rápida do que através do Protégé. Isso se deve a algumas de suas características, tais como sua semântica de grafos, modelagem de dados e da utilização de um raciocínio mais aprofundado. A Stardog permite também que as bases de dados salvas fiquem disponíveis para que outras pessoas, em outros computadores e locais, possam editar, visualizar ou realizar buscas, de acordo com permissões que podem ser atribuídas a cada usuário. Outra característica relevante é que plataformas como esta permitem a utilização de informações e dados oriundos de outras bases já existentes, na forma de um sistema de federação de dados (FDBS – do inglês *Federated Database System*), que é basicamente um sistema que possui diferentes componentes (i.e. bases de dados) autônomos que cooperam entre si (SHETH; LARSON, 1990).

Assim, para inserir o modelo de ontologia como uma base de dados nesta plataforma, inicialmente um arquivo em RDF foi criado a partir do OWL utilizado no Protégé. A criação da base é um processo simples, ou seja, um usuário com pouca experiência pode fazê-lo, pois apresenta uma configuração padrão previamente definida. Usuários com mais experiência têm,

contudo, uma grande quantidade de possibilidades de configuração. No entanto isso não será abordado nesta pesquisa, devido a não constar em seu escopo.

Depois de criada a base, as buscas puderam ser feitas de acordo com as mesmas estruturas apresentadas anteriormente, devido ao fato de que esta plataforma permite o emprego da linguagem SPARQL. A seguir são apresentadas algumas das buscas, a fim de ilustrar como é a interface com usuário.

**Figura 26** – Busca realizada na plataforma Stargod

Query Panel

Hide SPARQL Editor

Explore Reasoning ON Execute Clear

Prefixes:

[rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>](http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#)
[owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>](http://www.w3.org/2002/07/owl#)
[xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>](http://www.w3.org/2001/XMLSchema#)  
[rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>](http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#)
[hose: <http://www.semanticweb.org/m5/ontologies/2016/hose#>](http://www.semanticweb.org/m5/ontologies/2016/hose#)

```

1 SELECT ?HoseOption ?B ?P
2 WHERE {
3   ?HoseOption rdf:type hose:HoseAvailableOption .
4   ?B rdf:type hose:BendRadius .
5   ?HoseOption hose:hasBurstPressure ?P; hose:hasDiameter ?d; hose:hasMinBendRadius ?B .
6   ?P hose:hasBurstPressureValue ?y .
7   ?d hose:hasDiameterValue ?x .
8   FILTER (?x = 10.0 && ?y>=84.0)
9 }
10

```

Results

SPARQL Results

HoseOption	B	P
<a href="#">hose:Class24Example</a>	<a href="#">hose:BendRadius65.0</a>	<a href="#">hose:Pressure110.3</a>
<a href="#">hose:Class10Example</a>	<a href="#">hose:BendRadius125.0</a>	<a href="#">hose:Pressure124.1</a>
<a href="#">hose:Class25Example</a>	<a href="#">hose:BendRadius65.0</a>	<a href="#">hose:Pressure84.0</a>

Fonte: a própria autora

**Figura 27** – Busca realizada na plataforma Stardog

Query Panel

Hide SPARQL Editor

Explore Reasoning ON Execute Clear

Prefixes:

[rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>](http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#)
[owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>](http://www.w3.org/2002/07/owl#)
[xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>](http://www.w3.org/2001/XMLSchema#)  
[rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>](http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#)
[hose: <http://www.semanticweb.org/m5/ontologies/2016/hose#>](http://www.semanticweb.org/m5/ontologies/2016/hose#)

```

1 SELECT ?HoseOption ?Cost ?BurstPressure
2 WHERE {
3   ?HoseOption rdf:type hose:HoseAvailablePerSupplier.
4   ?Cost rdf:type hose:Cost .
5   ?BurstPressure rdf:type hose:Pressure .
6   ?HoseOption hose:hasBurstPressure ?BurstPressure; hose:hasDiameter ?Diameter; hose:hasCost ?Cost.
7   ?BurstPressure hose:hasBurstPressureValue ?BP .
8   ?Diameter hose:hasDiameterValue ?D .
9   FILTER (?D =10.0 && ?BP>=84.0)
10 }

```

Results

SPARQL Results

HoseOption	Cost	BurstPressure
<a href="#">hose:Hose3Supplier1</a>	<a href="#">hose:Cost7.24</a>	<a href="#">hose:Pressure124.1</a>
<a href="#">hose:Hose1Supplier1</a>	<a href="#">hose:Cost10.59</a>	<a href="#">hose:Pressure84.0</a>
<a href="#">hose:Hose2Supplier2</a>	<a href="#">hose:Cost12.39</a>	<a href="#">hose:Pressure84.0</a>

**Fonte:** a própria autora

As Figuras 26 e 27 representam, respectivamente, as ilustradas nas figuras 22 e 23. Percebe-se que os resultados obtidos foram os mesmos, o que justifica a adoção desta plataforma, principalmente pelo desempenho mais satisfatório no que se refere ao tempo de resposta.

Concluída a etapa de demonstração do artefato, o passo seguinte corresponde a sua avaliação, etapa muito importante dentro da sequência de atividades da DSR. Esta avaliação é apresentada na próxima seção.

#### 4.5 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

Esta seção apresenta os pormenores da etapa de avaliação, previamente apresentada na seção 3.2.5 do capítulo intitulado Aspectos Metodológicos. Como já mencionado, algumas pesquisas foram consideradas para identificar de que forma o artefato poderia ser avaliado.

Cleven, Gubler e Hüner (2009) apresentam uma revisão da literatura no que se refere a etapa de avaliação de artefatos na DSR. Neste artigo, uma classificação com base em variáveis e valores é realizada. Com base no contexto do presente trabalho, apenas algumas destas variáveis e valores são considerados e cada um deles é explicitado na Figura 28.

**Figura 28** – Variáveis e valores para avaliação de artefatos

Variável	Valor				
Abordagem	Qualitativa			Quantitativa	
Tipo de artefato	Construção	Modelo	Método	Instanciação	Teoria
Perspectiva	Econômica		Desenvolvimento	Engenharia	Epistemológica

**Fonte:** Adaptado de (CLEVEN; GUBLER; HÜNER, 2009)

A variável *Abordagem* representa quais características do objeto (i.e. artefato) são avaliados (e.g. fatos, alegações e suposições) (CLEVEN; GUBLER; HÜNER, 2009). A abordagem divide-se em quantitativa ou qualitativa. A primeira emprega análises numéricas para ilustrar a relação entre fatores e o fenômeno estudado. Já a segunda corresponde a características do objeto que não são avaliadas com base numérica, mas sim uma base de valor que enfatiza a descrição e compreensão de uma situação por trás dos fatos (CHEN; HIRSCHHEIM, 2004). Assim, considera-se que este trabalho deve ser avaliado qualitativamente, pois tem como objetivo avaliar se o contexto real é representado através do modelo proposto.

De acordo com o conhecimento capturado e delimitação do escopo do modelo, é possível afirmar que a ontologia desenvolvida representa de fato o contexto de projeto de mangueiras hidráulicas. Além disso, uma das técnicas considerada é a forma proposta por (HEVNER; CHATTERJEE, 2010), avaliação descritiva. Essencialmente, essa técnica busca demonstrar a utilidade do artefato desenvolvido, o que pode ser feito através da construção de cenários. Estes foram utilizados na etapa de demonstração e, através deles, foi possível apresentar que o modelo de ontologia era capaz de responder questões levantadas pelos engenheiros da empresa. Segundo (GRÜNINGER; FOX, 1995), as questões de competência permitem não só nortear a construção de modelos ontológicos, como também são usadas na etapa de avaliação para identificar se o modelo atende de fato o que foi inicialmente proposto.

O trabalho de (FRANK, 2007) traz outra variável, *Perspectiva*, e defende que uma avaliação objetiva é difícil de ser alcançada. Diante disso, subdivide-se esta variável em Perspectiva Econômica, Perspectiva de Desenvolvimento, Perspectiva de Engenharia e Perspectiva Epistemológica. Dentre estes valores, destacam-se Perspectiva de Desenvolvimento e de Engenharia, por serem os que melhor representam o presente trabalho. O primeiro deles, Perspectiva de Desenvolvimento, considera os aspectos de compreensão, adequação e aceitação. Um modelo deve ser compreendido por todos os interessados, ou seja,

deve ter todos seus conceitos descritos de forma familiar para que usuários possam de fato utilizá-lo (FRANK, 2007). A Perspectiva de Engenharia aborda de que forma o artefato é construído (e.g. linguagens de modelagem ou programação usadas, grau de descrição de componentes) assim como a definição e explicação do artefato tendo em vista os objetivos inicialmente propostos. Uma avaliação com base nestas duas perspectivas deve ser direcionada não só ao desenvolvedor do artefato, como também aos possíveis usuários.

No que se refere à perspectiva do desenvolvedor, é possível afirmar que a linguagem OWL utilizada para construir a ontologia é uma linguagem amplamente difundida, capaz de representar conhecimentos ricos e complexos e as relações entre estes conhecimentos (GRÜNINGER; FOX, 1995; USCHOLD; GRUNINGER, 1996; BECHHOFFER, 2009). Além disso, pode-se afirmar também que não há nenhuma inconsistência dentro do modelo de ontologia, haja vista a utilização do *reasoner* Pallet que não indicou a presença de erros. Buscas também foram realizadas a fim de demonstrar quais informações poderiam ser obtidas (i.e. etapa de demonstração do artefato).

Para identificar a perspectiva dos usuários, o modelo foi apresentado aos engenheiros projetistas da empresa, a fim de verificar se este seria compreendido e se tinha seus conceitos descritos claramente. Depois disso, um questionário foi disponibilizado a estes usuários (i.e. Quadro 7) com a finalidade de identificar a opinião de cada um.

A partir das respostas obtidas é possível afirmar que o modelo representa de fato o contexto de projeto de mangueiras hidráulicas. No entanto, para que representasse completamente, mais informações e conhecimentos ainda precisariam ser inseridos. Entre eles os terminais utilizados (e.g. tipos de vedação e suas dimensões) que, segundo os projetistas, são muito relevantes. A resposta foi positiva com relação a adaptação do modelo a outros componentes ou cenários. Com relação a existência de contradições no modelo, apresentou-se que, com base no que foi observado, não seria adequado afirmar se havia ou não algum tipo de contradição. No entanto, como um *reasoner* foi utilizado, é possível afirmar que não há contradições no modelo, como mencionado anteriormente. Os engenheiros responderam que, quanto ao nível de detalhe, consideraram o modelo bem detalhado (i.e. de acordo), haja vista a definição do escopo.

#### **Quadro 7 – Questionário entregue aos engenheiros da empresa**

<b>Questionário</b>
---------------------



1. O modelo de ontologia representa o contexto de projeto de mangueiras hidráulicas?  
Se sim, o quanto representa?
2. Seria possível adaptar este modelo a outro cenário/componente?
3. Há alguma contradição no que se refere ao conhecimento estruturado?
4. O modelo de ontologia pode ser considerado bem detalhado
  1. Totalmente de acordo
  2. De acordo
  3. Não concordo nem discordo
  4. Discordo
  5. Discordo totalmente

**Fonte:** a própria autora

É possível correlacionar estas informações obtidas com a avaliação aos critérios da DSR mencionados na seção 3.2.5. A representação do domínio de projeto de mangueiras hidráulicas pode ser associada aos critérios de fidelidade do modelo com relação a realidade e completeza. Diante disso, é possível afirmar que o modelo representa o domínio proposto. No entanto, de acordo com o questionário, é possível afirmar que mais conhecimento poderia ser inserido, ou seja, o modelo poderia ser complementado.

O critério robustez é associado a capacidade de adaptar o modelo a outros componentes ou cenários. Como observado, tal adaptação é viável, visto que o modelo foi criado tendo em conta tal adaptação. Como pode ser observado na hierarquia de classes (Figura 8), abaixo da classe *ProductPart* é possível inserir outros componentes, assim como é possível inserir outras propriedades (i.e. *ProductProperty*) necessárias para definição de tais componentes.

Através do uso do *reasoner* é possível verificar o critério de consistência, visto que este está associado a existência ou não de contradições no modelo. De acordo com o que foi proposto inicialmente, é possível afirmar que o modelo está detalhado, no que tange ao critério nível de detalhe.

É relevante destacar que a avaliação de modelos é uma etapa que, se desejada, pode ser realizada de diferentes maneiras e compreender diversas condições, de forma muito mais complexa do que foi apresentado nesta seção.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa conduzida ao longo desse estudo mostrou que ainda existem dificuldades no que se refere ao conhecimento gerado nas organizações. Mesmo com avanços tecnológicos e disponibilidade de novas ferramentas, empresas encontram problemas causados pela inviabilidade ou não uso de conhecimentos de projeto.

Para atender à demanda por provisão de conhecimento durante a fase de Projeto Detalhado, um modelo ontológico foi apresentado. Este modelo assegura a estruturação do conhecimento de um dado domínio, aqui definido como o contexto de projeto de mangueiras hidráulicas. O conhecimento associado a este domínio foi capturado e estruturado através da construção da taxonomia proposta. Além disso, propriedades do tipo objeto e dados foram criadas para relacionar classes com outras entidades.

Uma vez construído o modelo ontológico, perguntas definidas no início da etapa de desenvolvimento da solução foram executadas na forma de buscas. Isso foi realizado, inicialmente, através do uso do *plug-in* Snap-SPARQL do Protégé. Depois disso, as mesmas buscas foram realizadas na plataforma Stardog. A união de uma base de dados (i.e. a partir de um arquivo em linguagem RDF), da atuação de um motor de inferência (i.e. *reasoner*) e de uma interface com o usuário, que compõem esta plataforma, permitiu afirmar que este pode ser considerado um sistema especialista, sob o ponto de vista de sua constituição.

A partir da demonstração e avaliação do modelo, é possível afirmar que a solução proposta é relevante e poderia auxiliar os engenheiros na execução de suas atividades, como apresentado nas seções 4.4 e 4.5. Tal solução permite a disponibilidade e uso mais rápido dos conhecimentos adquiridos, trazendo benefícios como a reutilização de conhecimento em projetos futuros, assim como uma possível redução de solicitações de alteração de engenharia.

Assim, esse estudo mostra a potencial união entre modelos ontológicos e sistemas especialistas para alcançar uma estrutura realmente capaz de atender às necessidades dos engenheiros de projeto. A partir dessa associação, é possível desenvolver soluções capazes de criar ambientes colaborativos, que contenham conhecimentos de diferentes áreas e que estão em diferentes formatos.

Além disso, a possibilidade de adaptar o modelo proposto a projetos de outros componentes é uma grande contribuição desta pesquisa. A forma como foi construído permite que pesquisadores possam dar continuidade a esta pesquisa ou possam realizar alterações para adaptá-lo a outros contextos.

Diante das atividades realizadas para desenvolver a solução proposta, a construção do modelo de ontologia foi uma das mais desafiadoras. O modelo foi alterado diversas vezes para representar mais adequadamente o domínio de conhecimento sem gerar inconsistências. Entre as alterações estão a definição da taxonomia e axiomas que melhor representassem o domínio, assim como a criação de propriedades e indivíduos apropriados ao contexto. Além disso, o processo de construção de ontologias demanda iterações, ou seja, frequentemente é necessário retornar a etapas já implementadas e refazê-las para melhor adaptar a representação do domínio.

Outra dificuldade foi a execução das buscas. A sintaxe exigida para utilizar o *plug-in* Snap-SPARQL foi um tanto quanto difícil de ser compreendida inicialmente. No entanto, depois de assimilada, permitiu demonstrar e avaliar o artefato, o que foi indispensável para o desenvolvimento desta pesquisa.

Entre as limitações do trabalho, pode-se mencionar a dificuldade de utilização de *reasoners* no editor de ontologias Protégé. O aumento da complexidade do modelo, através da adição de indivíduos e propriedades, impedia um funcionamento mais rápido da ferramenta. Assim, é possível afirmar que o desempenho do Protégé é de certa forma limitado quando se tem uma ontologia mais complexa. O uso da plataforma Stardog, no entanto, mostrou-se muito mais seguro e satisfatório, visto que buscas feitas foram quase que instantaneamente respondidas.

Outra limitação está relacionada ao sistema especialista proposto, que tinha como objetivo inicial apresentar uma interface amigável com o usuário (i.e. engenheiros da empresa). A apresentação das buscas aos engenheiros projetistas trouxe esta questão, haja vista a necessidade de conhecer a linguagem SPARQL para que estas pudessem ser construídas. Diante disso, como continuação deste trabalho, seria pertinente que uma interface mais amigável fosse desenvolvida, onde o usuário identificasse ou criasse perguntas em linguagem natural, obtendo respostas da mesma forma. Esta interface poderia, entretanto, ser facilmente criada por um estudante de graduação ou pós-graduação das áreas de Ciência da computação ou Engenharia da Computação.

Como trabalhos futuros, um maior detalhamento do domínio de projeto de mangueiras hidráulicas pode ser realizado. Informações relacionadas a terminais e vedações são alguns dos exemplos que poderiam ser considerados. A adoção deste modelo para a estruturação de conhecimentos relacionados a outros domínios (e.g. projeto de chicotes elétricos, transmissão) é também uma alternativa de continuação. Além disso, a construção de uma interface mais

amigável, como mencionado anteriormente, seria uma boa oportunidade de pesquisa para trabalhos posteriores.

Finalmente, alguns prós e contras relacionados ao uso dessa solução podem ser destacados. Por um lado, a solução pode melhorar o desempenho de atividades associadas ao projeto de mangueiras hidráulicas e permitir melhor rastreabilidade do produto final, i.e. menor suscetibilidade a falhas. Por outro lado, tal solução requer um time de engenharia especializado em ontologias para efetuar as atualizações que são exigidas ao longo do tempo, como a introdução de um novo fornecedor ou a revisão de uma norma.

## REFERÊNCIAS

ABRAHAM, A. Rule-Based Expert Systems. In: \_\_\_\_\_. **Handbook of measuring system design**. New York: John Wiley & Sons Ltd., 2005. p. 909-919.

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.

ALAVI, M.; LEIDNER, D. E. Review: Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues. **MIS quarterly**, [s.l.], p. 107-136, 2001.

BAADER, F. et al. **The description logic handbook: Theory, implementation and applications** Cambridge: Cambridge university press, 2003.

BECHHOFFER, S. OWL: Web ontology language. In: LIU, L.; OZSU, M. **Encyclopedia of Database Systems**. [S.l.]: Springer, 2009. p.2008-2009.

BERMELL-GARCÍA, P.; IP-SHING, Fan. A KBE System for the design of wind tunnel models using reusable knowledge components. [**S.n.**], [s.l.], 2002.

BERMELL-GARCIA, P. et al. A framework for management of Knowledge-Based Engineering applications as software services: Enabling personalization and codification. **Advanced Engineering Informatics**, [s.l.], v. 26, n. 2, p. 219-230, 2012.

BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. The semantic web. **Scientific american**, [s.l.], v. 284, n. 5, p. 28-37, maio 2001.

BOOSE, J. H. A knowledge acquisition program for expert systems based on personal construct psychology. **International Journal of Man-Machine Studies**, [s.l.], v. 23, n. 5, p. 495-525, nov. 1985.

BORSATO, M. et al. An ontology building approach for knowledge sharing in product lifecycle management. **International Journal of Business and Systems Research**, [s.l.], v. 4, n. 3, p. 278, 2010.

BOUZID, M. et al. Proposition of a conceptual model for knowledge integration and management in digital factory. In: IFIP ADVANCES IN INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY, n. 467, 2015, [s.l.]. **IFIP International Federation for Information Processing**, [s.l.]: Springer International Publishing, 2016. p. 366-375.

BURGE, J. E. Knowledge elicitation tool classification. **Artificial Intelligence Research Group**, Worcester Polytechnic Institute, 2001.

CATIA. **Catia Knowledgeware**. Disponível em: <  
<http://www.cadcamlab.org/courseware/pdfs/knowledgeware.pdf> >. Acesso em: 6 nov. 2015.

CHANDRASEGARAN, S. K. et al. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. **CAD Computer Aided Design**, [s.l.], v. 45, n. 2, p. 204-228, fev. 2013.

CHANG, X.; SAHIN, A.; TERPENNY, J. An ontology-based support for product conceptual design. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, [s.l.], v. 24, n. 6, p. 755-762, dez. 2008.

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

CHEN, W.; HIRSCHHEIM, R. A paradigmatic and methodological examination of information systems research from 1991 to 2001. **Information systems journal**, [s.l.], v. 14, n. 3, p. 197-235, jun. 2004.

CHRYSSOLOURIS, George et al. Digital manufacturing: history, perspectives, and outlook. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, [s.l.], v. 223, n. 5, p. 451-462, 2009.

CHUNGOORA, N. et al. Towards the ontology-based consolidation of production-centric standards. **International Journal of Production Research**, [s.l.], v. 51, n. 2, p. 327-345, 2013.

CLEVEN, A.; GUBLER, P.; HÜNER, K. M. Design alternatives for the evaluation of design science research artifacts. In: Design Science Research in Information Systems and Technology, 2009, Philadelphia. **Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology**. New York: ACM, 2009. p. 19.

COOPER, D.; LA ROCCA, G. Knowledge-based techniques for developing engineering applications in the 21st century. In: 7th AIAA ATIO CONFERENCE, Belfast, 2007. Anais... [s.l.]: [s.n], 2007. p. 1-22.

COOPER, R. G.; KLEINSCHMIDT, E. J. Benchmarking the firm's critical success factors in new product development. **Journal of Product Innovation Management**, [s.l.], v. 12, n. 5, p. 374-391, nov. 1995.

CORBRIDGE, C. et al. Laddering: technique and tool use in knowledge acquisition. **Knowledge Acquisition**, [s.l.], v. 6, n. 3, p. 315-341, set. 1994.

CURRAN, R. et al. A multidisciplinary implementation methodology for knowledge based engineering: KNOMAD. **Expert Systems with Applications**, [s.l.], v. 37, n. 11, p. 7336-7350, nov. 2010.

DALKIR, K. **Knowledge management in theory and practice**. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge: MIT Press, 2013.

**DAML Ontology Library**. 2016. Disponível em: <<http://www.daml.org/ontologies/>>. Acesso em: 1 mai. 2016.

DAVENPORT, T. H.; PRUSAK, L. **Working knowledge: How organizations manage what they know**. Boston: Harvard Business Press, 1998.

DAVIES, M. Concept mapping, mind mapping and argument mapping: what are the differences and do they matter? **Higher education**, [s.l.], v. 62, n. 3, p. 279-301, set. 2011.

DE OLIVEIRA LACERDA, R. T.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 59-78, 2012.

DELLA BRUNA JUNIOR, Emílio; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Seleção e análise de um portfólio de artigos sobre avaliação de desempenho na cadeia de suprimentos. **Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Florianópolis, v. 7, n. 1, p. 113-126, 2012.

DÉTIENNE, F. Collaborative design: Managing task interdependencies and multiple perspectives. **Interacting with computers**, [s.l.], v. 18, n. 1, p. 1-20, 2006.

DIENSTMANN, J. S. et al. Gestão da inovação e avaliação de desempenho: processo estruturado de revisão da literatura. **Revista Produção Online**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 2-30, 2014.

**DMOZ**. Disponível em: <<http://www.dmoz.org/>>. Acesso em: 1 mai. 2016.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, José Antônio Valle. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. [s.l.]: Bookman, 2015.

EDUARDO TASCA, J. et al. An approach for selecting a theoretical framework for the evaluation of training programs. **Journal of European Industrial Training**, [s.l.], v. 34, n. 7, p. 631-655, 2010.

ENDNOTE X7. Version 7.0. Philadelphia: Thomson Reuters, 2013.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; VIANNA, W. B. O design na pesquisa quali-quantitativa em engenharia de produção – questões a considerar. **Revista Gestão Industrial**, Paraná, v. 3, n. 03, p. 172-185, 2007.

ENSSLIN, L. et al. E. ProKnow-C, knowledge development process-constructivist. **Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI**, Brasil, v. 10, n. 4, p. 2015, 2010.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; DE SOUZA, M. V. Gerenciamento de portfólio de produtos na indústria: estado da arte. **Revista Produção Online**, [s.l.], v. 14, n. 3, p. 790-821, 2014.

FEILMAYR, C.; WÖß, W. An analysis of ontologies and their success factors for application to business. **Data & Knowledge Engineering**, [s.l.], v. 101, p. 1-23, jan. 2016.

FILIERI, R.; WILLISON, R. Antecedents of Knowledge Sourcing and Reuse from a Knowledge Repository in the Virtual Product Prototyping: The Role of Knowledge and System

Quality Dimensions. **Knowledge and Process Management**, [s.l.], v. 23, n. 2, p. 147-160, abr. 2016.

FRANK, U. Evaluation of reference models. In: FETTKE, P. **Reference modeling for business systems analysis**. United States of America: Idea Group Publishing, 2007. p. 118-140.

GEOMETRIC. **The Why and How of Design for Manufacturability Review Automation, 2012**. Disponível em: <<http://geometricglobal.com/wp-content/uploads/2013/03/Turning-designs-into-reality-The-Manufacturability-paradigm1.pdf>> Acesso em: 2 jan. 2016.

GOEL, A. K. et al. Cognitive, collaborative, conceptual and creative - Four characteristics of the next generation of knowledge-based CAD systems: A study in biologically inspired design. **CAD Computer Aided Design**, [s.l.], v. 44, n. 10, p. 879-900, out. 2012.

GOFFIN, K.; KONERS, U. Tacit knowledge, lessons learnt, and new product development. **Journal of Product Innovation Management**, [s.l.], v. 28, n. 2, p. 300-318, fev. 2011.

GOOGLE. **Google Scholar**. Disponível em: < <https://scholar.google.com.br/>>. Acesso em: 2016/2017.

GRUBER, T. R. A translation approach to portable ontology specifications. **Knowledge acquisition**, Stanford, v. 5, n. 2, p. 199-220, 1993.

GRÜNINGER, M.; FOX, M. S. **Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies**. [S.n.], Toronto, 1995.

HEVNER, A.; CHATTERJEE, S. Design Science Research in Information Systems. In: **Design Research in Information Systems**. United States of America: Springer, 2010. v. 22, p. 9-22.

HUANG, Y. et al. An inner-enterprise wiki system integrated with semantic search for reuse of lesson-learned knowledge in product design. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, [s.l.], v. 230, n. 3, p. 548-561, nov. 2016.

IGBA, J. et al. A framework for optimising product performance through feedback and reuse of in-service experience. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, [s.l.], v. 36, p. 2-12, dez. 2015.

IMRAN, M.; YOUNG, B. The application of common logic based formal ontologies to assembly knowledge sharing. **Journal of Intelligent Manufacturing**, [s.l.], v. 26, n. 1, p. 139-158, abr. 2013.

IVEZIC, N.; KULVATUNYOU, B.; SRINIVASAN, V. On architecting and composing through-life engineering information services to enable smart manufacturing. **Procedia CIRP**, [s.l.] v. 22, p. 45-52, 2014.



KALJUN, J.; DOLŠAK, B. Ergonomic design knowledge built in the intelligent decision support system. **International Journal of Industrial Ergonomics**, [s.l.], v. 42, n. 1, p. 162-171, jan. 2012.

KIM, K.-Y.; MANLEY, D. G.; YANG, H. Ontology-based assembly design and information sharing for collaborative product development. **Computer-Aided Design**, [s.l.], v. 38, n. 12, p. 1233-1250, dez. 2006.

KNEEBONE, S. Knowledge management in engineering. **Paper presented at the Round Table on Knowledge Management**, [s.l.], 1998.

KOTNOUR, T. et al. Determining the benefit of knowledge management activities. In: SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, 1997, Orlando. **Computational Cybernetics and Simulation**. [s.l.]: IEEE, 1997, p. 94-99.

LACERDA, D. P. et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, [s.l.], v. 20, n. 4, p. 741-761, ago. 2013.

LEE, J; BAGHERI, B; KAO, H. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, [s.l.], v. 3, p. 18-23, jan. 2015.

LIAO, S. H. Expert system methodologies and applications—a decade review from 1995 to 2004. **Expert systems with applications**, v. 28, n. 1, p. 93-103, jan. 2005.

LIU, D. R.; LIN, C. W. Modeling the knowledge-flow view for collaborative knowledge support. **Knowledge-Based Systems**, [s.l.], v. 31, n., p. 41-54, jan. 2012.

LOVETT, P.; INGRAM, A.; BANCROFT, C. Knowledge-based engineering for SMEs—a methodology. **Journal of materials processing technology**, [s.l.], v. 107, n. 1, p. 384-389, nov. 2000.

LU, S. Y. et al. A scientific foundation of collaborative engineering. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, [s.l.], v. 56, n. 2, p. 605-634, nov. 2007.

MARCONNET, B. et al. Towards an approach to link knowledge and prediction in product design. In: IFIP INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT, 467, 2016, [s.l.]. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**. [s.l.]: Springer International Publishing, 2015. p. 248-258.

MAS, F. et al. Knowledge-based application to define aircraft final assembly lines at the industrialisation conceptual design phase. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, [s.l.], v. 29, n. 6, p. 677-691, jul. 2016.

MCELROY, M. W. **The new knowledge management: Complexity, learning, and sustainable innovation**. Burlington: Routledge, 2003.

MCMAHON, C.; LOWE, A.; CULLEY, S. Knowledge management in engineering design: personalization and codification. **Journal of Engineering Design**, [s.l.], v. 15, n. 4, p. 307-325, 2004.

MILTON, N. R. **Knowledge technologies**. Monza: Polimetrica sas, 2008.

MING, X. G. et al. Technology solutions for collaborative product lifecycle management—status review and future trend. **Concurrent Engineering**, [s.l.], v. 13, n. 4, p. 311-319, dez. 2005.

MONTICOLO, D. et al. A meta-model for knowledge configuration management to support collaborative engineering. **Computers in Industry**, [s.l.], v. 66, n., p. 11-20, jan. 2015.

MUÑOZ, E. et al. Ontological framework for enterprise-wide integrated decision-making at operational level. **Computers and Chemical Engineering**, [s.l.], v. 42, p. 217-234, fev. 2012.

NEWMAN, M. E. Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. **Contemporary physics**, [s.l.], v. 46, n. 5, p. 323-351, 2005.

NONAKA, I.; TOYAMA, R. The knowledge-creating theory revisited: knowledge creation as a synthesizing process. **Knowledge management research & practice**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 2-10, jul. 2003.

NOY, N. F.; MACGUINNESS, D. L. *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*. [S.n], Stanford, 2001.

OLDHAM, K. et al. MOKA- A Methodology and tools Oriented to Knowledge-based engineering. In: CONFERENCE ON INTEGRATION IN MANUFACTURING, 1998, Göteborg. **Changing the Ways we Work: Shaping the Ict-solutions for the Next Century**. Amsterdam: IOS Press, 1998. p. 198-207.

OSTROSI, E.; FOUGÈRES, A. J.; FERNEY, M. Fuzzy agents for product configuration in collaborative and distributed design process. **Applied Soft Computing Journal**, [s.l.], v. 12, n. 8, p. 2091-2105, ago. 2012.

OWEN, R.; HORVÁTH, I. Towards product-related knowledge asset warehousing in enterprises. In: PROCEEDINGS OF THE 4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TOOLS AND METHODS OF COMPETITIVE ENGINEERING TMCE, 2002, Wuhan. **Tools and Methods of Competitive Engineering**. [s.l.]: Citeseer, 2002. p. 155-170.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design for Producibility and Reliability**. 3<sup>rd</sup> ed. London: Springer, 2007.

PANETTO, H.; DASSISTI, M.; TURSI, A. ONTO-PDM: Product-driven ONTOlogy for Product Data Management interoperability within manufacturing process environment. **Advanced Engineering Informatics**, [s.l.], v. 26, n. 2, p. 334-348, jan. 2012.

PARSIA, B.; SIRIN, E.; KALYANPUR, A. Debugging OWL ontologies. In: PROCEEDINGS OF THE 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WORLD WIDE WEB, 2005, Chiba. New York: ACM, 2005. p. 633-640.

PEFFERS, K. et al. A design science research methodology for information systems research. **Journal of management information systems**, [s.l.], v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

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, jul. 2004.

POORKIANY, M.; JOHANSSON, J.; ELGH, F. Capturing, structuring, and accessing design rationale across product design and FEA. In: *IFIP INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT*, 2015, Doha. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**. [S.l.]: Springer, 2016. p. 387-396.

PROTÉGÉ. Versão 5.0. Stanford Center for Biomedical Informatics Research. Stanford University, 2016.

PTC. **PTC Creo Behavioral Modeling Extension**. Disponível em: <[http://www.ptc-jp.com/~media/Files/PDFs/CAD/Creo\\_Behavioral\\_Modeling\\_Extension.pdf?la=en](http://www.ptc-jp.com/~media/Files/PDFs/CAD/Creo_Behavioral_Modeling_Extension.pdf?la=en)> Acesso em: 5 nov. 2015.

RACHURI, S. et al. Information sharing and exchange in the context of product lifecycle management: Role of standards. **Computer-Aided Design**, [s.l.], v. 40, n. 7, p. 789-800, jul. 2008.

RAHMANI, K.; THOMSON, V. Ontology based interface design and control methodology for collaborative product development. **CAD Computer Aided Design**, [s.l.], v. 44, n. 5, p. 432-444, maio 2012.

RAHMAWATI, Y.; UTOMO, C. The influence of knowledge management to integrated design. In: *2014 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY, COMPUTER, AND ELECTRICAL ENGINEERING: GREEN TECHNOLOGY AND ITS APPLICATIONS FOR A BETTER FUTURE*, 2014, Semarang. **Proceedings Green Technology and its Applications for a Better Future**. Semarang: IEEE, 2015, p. 193-198.

RELICH, M.; ŚWIĆ, A.; GOLA, A. A knowledge-based approach to product concept screening. In: *DISTRIBUTED COMPUTING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE*, n. 373, [s.l.], 2015. **Advances in Intelligent Systems and Computing**. Switzerland: Springer, 2015. p. 341-348.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. [S.l.]: Editora Saraiva, 2000.

RYCHENER, M. **Expert systems for engineering design**. Pittsburgh: Academic Press Inc, 2012.

SCHIUMA, G.; GAVRILOVA, T.; ANDREEVA, T. Knowledge elicitation techniques in a knowledge management context. **Journal of Knowledge Management**, [s.l.], v. 16, n. 4, p. 523-537, 2012.

SEUFERT, A.; VON KROGH, G.; BACH, A. Towards knowledge networking. **Journal of Knowledge Management**, [s.l.], v. 3, n. 3, p. 180-190, 1999.

SHETH, A. P.; LARSON, J. A. Federated database systems for managing distributed, heterogeneous, and autonomous databases. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 22, n. 3, p. 183-236, set. 1990.

SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. 3<sup>rd</sup> ed. United States of America: MIT press, 1996.

SOLIDWORKS. **CADEC Plus CAD Enabled Product Configurator**. Disponível em: < [http://files.solidworks.com/partners/pdfs/cadecplus\\_brochure\\_v3.pdf](http://files.solidworks.com/partners/pdfs/cadecplus_brochure_v3.pdf) > Acesso em: 4 nov. 2015.

STAAB, S.; STUDER, R. **Handbook on ontologies**. 2<sup>nd</sup> ed. [s.l.]: Springer Science & Business Media, 2013.

STARDOG. Version 5.0. Arlington: Stardog Union, 2017.

STARK, J. Product lifecycle management. In: \_\_\_\_\_. **Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realisation**. Geneva: Springer International Publishing, 2015. v. 1, p. 1-29.

STEWART, T. R. Improving reliability of judgmental forecasts. In: \_\_\_\_\_. **Principles of forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners**. New York: Springer US, 2001. p. 1-106.

STJEPANDIĆ, J. et al. Design process acceleration by knowledge-based engineering in automotive and aerospace industry. In: 13TH INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE, [s.l.], 2014. **Proceedings of the DESIGN 2014 13th International Design Conference**. [S.l.]: [s.n], 2014. p. 1915-1924.

SUBRAHMANYAN, E. et al. Product lifecycle management support: a challenge in supporting product design and manufacturing in a networked economy. **International Journal of Product Lifecycle Management**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 4-25, 2005.

THOMKE, S.; FUJIMOTO, T. The Effect of “Front-Loading” Problem-Solving on Product Development Performance. **Journal of Product Innovation Management**, [s.l.], v. 17, n. 2, p. 128-142, mar. 2000.

ULLMAN, D. G. **The mechanical design process**. New York: McGraw-Hill, 1992. v.2

ULLMAN, D. G. Robust decision-making for engineering design. **Journal of Engineering Design**, [s.l.], v. 12, n. 1, p. 3-13, 2001.

USCHOLD, M.; GRUNINGER, M. Ontologies: Principles, methods and applications. **The knowledge engineering review**, [s.l.], v. 11, n. 02, p. 93-136, jun. 1996.

VALILAI, O. F.; HOUSHMAND, M. A collaborative and integrated platform to support distributed manufacturing system using a service-oriented approach based on cloud computing paradigm. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, [s.l.], v. 29, n. 1, p. 110-127, fev. 2013.

VAN AKEN, J.; BERENDS, H.; VAN DER BIJ, H. **Problem solving in organizations: A methodological handbook for business and management students**. 2<sup>nd</sup> ed. United States of America: Cambridge University Press, 2012.

VENABLE, J.; PRIES-HEJE, J.; BASKERVILLE, R. A comprehensive framework for evaluation in design science research. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DESIGN SCIENCE RESEARCH IN INFORMATION SYSTEMS, Las Vegas, 2012. **Design Science Research in Information Systems. Advances in Theory and Practice**. Berlin: Springer, 2012. p. 423-438.

VERHAGEN, W. J. et al. A critical review of Knowledge-Based Engineering: An identification of research challenges. **Advanced Engineering Informatics**, [s.l.], v. 26, n. 1, p. 5-15, jan. 2012.

VERHAGEN, W. J. et al. A method for identification of automation potential through modelling of engineering processes and quantification of information waste. **Advanced Engineering Informatics**, [s.l.], v. 29, n. 3, p. 307-321, ago. 2015.

VIEIRA, G. G.; VARELA, L. R.; RIBEIRO, R. A. A knowledge based system for supporting sustainable industrial management in a clothes manufacturing company based on a data fusion model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DECISION SUPPORT SYSTEM TECHNOLOGY, n. 250, Plymouth, 2016. **Decision Support Systems VI - Addressing Sustainability and Societal Challenges**. [S.l.]: Springer International Publishing, 2016. p. 113-126.

WANG, H.; JOHNSON, A. L.; BRACEWELL, R. H. The retrieval of structured design rationale for the re-use of design knowledge with an integrated representation. **Advanced Engineering Informatics**, [s.l.], v. 26, n. 2, p. 251-266, abr. 2012.

WIIG, K. M. Integrating intellectual capital and knowledge management. **Long range planning**, [s.l.], v. 30, n. 3, p. 399-405, jun. 1997.

YASSINE, A. A.; SREENIVAS, R. S.; ZHU, J. Managing the exchange of information in product development. **European Journal of Operational Research**, [s.l.], v. 184, n. 1, p. 311-326, jan. 2008.

ZHANG, G.; LI, Y. Multiple Disciplines Product Design Knowledge Representation Strategy Based on Ontology and Semantic Network. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, [s.l.], v. 11, n. 10, p. 6074-6079, 2013.

ZHEN, L.; WANG, L.; LI, J. G. A design of knowledge management tool for supporting product development. **Information Processing and Management**, [s.l.], v. 49, n. 4, p. 884-894, jul. 2013.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A

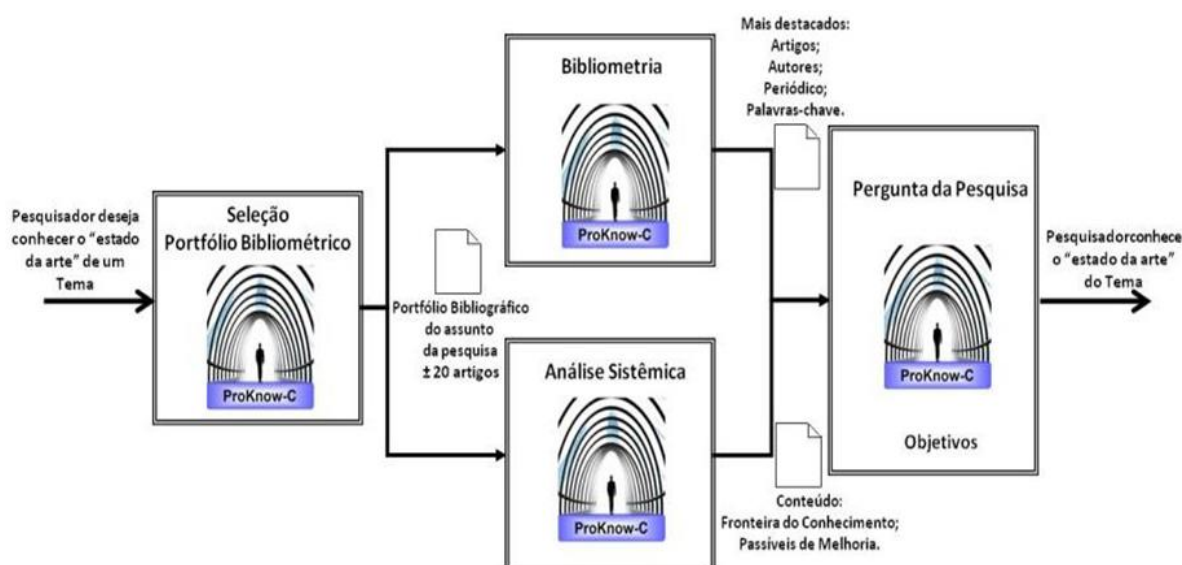
#### REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Como apresentado na introdução do presente trabalho, uma revisão bibliométrica da literatura com base no tema Engenharia Baseada em Conhecimento (KBE) foi realizada, a fim de encontrar um conjunto de artigos relevante para embasar esta pesquisa. Esta revisão é descrita neste apêndice e compreende apresentar o processo empregado, as etapas necessárias e os resultados encontrados.

Inicialmente expõe-se o tipo de instrumento utilizado para alcançar o objetivo dessa etapa da pesquisa. Proposto por Ensslin et al., 2010, Ensslin, Ensslin e Vianna (2007) e Eduardo Tasca et al., 2010, *Knowledge Development Process-Constructivist* (Proknow-C) foi utilizado neste estudo. O Proknow-C foi desenvolvido a partir do aumento da complexidade das pesquisas científicas. Atualmente, há uma grande variedade de fontes de pesquisa e uma enorme quantidade de informações disponíveis nas literaturas. Assim, surgiu a necessidade de desenvolver um instrumento capaz de auxiliar na identificação de conteúdo relevante, capaz de gerar uma base de conhecimento expressiva como resultado da pesquisa.

A este instrumento está associado o processo, também denominado ProKow-C. O processo ProKow-C é composto pelas seguintes etapas: (a) seleção de um portfólio de artigos sobre o tema de pesquisa; (b) análise bibliométrica do portfólio; (c) análise sistêmica; e (d) definição da pergunta de pesquisa e objetivo de pesquisa. A Figura 29 ilustra cada uma das etapas apresentadas.

**Figura 29** – Processo para Mapeamento do Conhecimento de um Tema – ProKnow-C



**Fonte:** Eduardo Tasca et al. (2010)

O processo se inicia com um problema de pesquisa. Neste caso, o problema apresentado na introdução deste trabalho. Antes de iniciar o processo, algumas restrições foram definidas. A primeira delas relacionada aos tipos de documentos que seriam foco das buscas. Optou-se então por verificar apenas artigos, tanto de periódicos quanto de congressos. Algumas bases de dados também foram escolhidas, sendo elas:

- a) ProQuest, Engineering Village (COMPENDEX);
- b) Scopus;
- c) Web of Science;
- d) Wiley;
- e) Emerald;
- f) Springer;
- g) Science Direct;
- h) EBSCO;
- i) IEEE.

O período em que foram publicados os artigos, entre 2012 e 2016, também foi definido. A partir disso o processo de seleção do portfólio, análise bibliométrica e sistêmica teve início, o que é apresentado na próxima seção.

## **DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA DE REVISÃO**

### *Processo de seleção dos artigos para o portfólio bibliográfico da pesquisa*

Definidas as restrições que foram apresentadas anteriormente, o processo de seleção dos artigos que farão parte do portfólio se inicia. Este portfólio deve conter conteúdo relevante, relacionado ao tema de pesquisa proposto. Para tal, cada etapa do processo deve ser executada cautelosamente.

A seguir estas etapas são apresentadas, com os detalhes de execução de cada uma.

#### **Seleção do Banco de artigos bruto**

A partir da problemática e do tema que o pesquisador deseja buscar, inicialmente é necessário definir as palavras-chave que serão utilizadas para realizar as buscas nas bases de dados. Antes de defini-las, no entanto, eixos de pesquisa foram estabelecidos. Os eixos foram determinados como: (i) Engenharia Baseada em Conhecimento; (ii) Gerenciamento do conhecimento; e (iii) Processo de Desenvolvimento de Produto. Esses eixos foram assim definidos pois o objetivo da pesquisa é encontrar as tendências em torno da abordagem KBE quanto ao gerenciamento de conhecimento, no contexto do processo de desenvolvimento de produto. A cada um destes eixos foram associadas palavras-chave, que podem ser observadas no Quadro 8.

Estas palavras foram escolhidas a partir da análise de alguns artigos previamente identificados como referencial teórico. Além disso, como pode-se observar na tabela, apenas palavras-chave em inglês foram estabelecidas. Tal definição está associada ao número de artigos disponíveis nas bases de dados que, em sua maioria, são publicados na língua inglesa.

Com estas palavras-chave definidas, o processo seguiu para a etapa de busca nas bases de dados. Em cada base foi necessário associar as palavras-chave por meio de operadores lógicos (e.g. AND, OR), assim como definir o período, tipo de documento e áreas de interesse desejados. As buscas foram feitas entre os dias 6 e 10 de junho de 2016, nas bases anteriormente citadas. Estas buscas resultaram em um total de 3.572 referências.



**Quadro 8** – Eixos e palavras-chave de pesquisa

<b>Eixos</b>	<b>Palavras-chave</b>
Engenharia Baseada em Conhecimento	<i>KBE, knowledge-based engineering, knowledge-based engineering tools</i>
Gerenciamento do Conhecimento	<i>ontologies, ontology, expert systems, knowledge-based systems, knowledge management, intelligent systems</i>
Processo de Desenvolvimento de Produto	<i>Product Development, New Product Development, NPD</i>

**Fonte:** a própria autora

### **Filtragem do banco de artigos**

Para manipular esta grande quantidade de referências, o aplicativo EndNote X7 (2013) foi utilizado. Esta ferramenta possibilita não só gerenciar como também identificar, uma vez que importadas, todas as referências duplicadas em uma amostra. Além disso, foi possível detectar outros tipos de documentos ou referências relacionadas a outras áreas que não eram de interesse mas que acabaram incluídos, mesmo com a pré-seleção realizada nas bases. Essa primeira filtragem resultou em um total de 2.369 artigos, que pertencem ao banco de artigos bruto, sem redundância.

Realizado esse filtro, a etapa seguinte foi de leitura dos 2.369 títulos para avaliar quais deles estavam ou não alinhados à pesquisa. Depois dessa análise, 1.399 referências foram eliminadas, restando 970 que continuaram no processo de avaliação. Essas 970 referências correspondem ao banco de artigos bruto, sem redundância, com título alinhado.

Esse novo conjunto de artigos foi submetido a uma nova filtragem. Primeiramente, todas as referências foram exportadas para o Microsoft Excel. Depois disso, o número de citações de cada artigo foi computado, por meio do Google Acadêmico (GOOGLE, 2016), entre 11 e 19 de julho de 2016.

Com as referências e seus respectivos números de citações tabelados, realizou-se uma classificação, com o número de citações em ordem decrescente. Assim, foi possível identificar quais artigos possuíam maior número de citações. Depois dessa classificação, um valor de corte foi definido para selecionar quais os artigos mais representativos, de acordo com o princípio de Pareto (NEWMAN, 2005). Nessa pesquisa, define-se que 80% do total de publicações são representadas por 20% das mesmas. Normalmente, define-se esta representatividade com relação ao conjunto de artigos encontrados, como pode ser observado nos trabalhos de (DE OLIVEIRA LACERDA; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012), (DIENSTMANN et al., 2014), (ENSSLIN; ENSSLIN; DE SOUZA, 2014) e (DELLA BRUNA JUNIOR; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012). No entanto, essa atividade foi adaptada no presente estudo. Para os artigos

que foram publicados entre 2012 e 2014, o valor de corte definido foi de 15 citações. Para os artigos publicados no ano de 2015, este valor de corte foi reduzido para cinco citações. Já os artigos publicados no ano de 2016 não foram submetidos a um valor de corte. Isto foi realizado a fim de não eliminar trabalhos que poderiam ser relevantes, mas que, por serem muito recentes, ainda não tinham o devido reconhecimento.

Há, no processo ProKnow-C, uma etapa que corresponde a análise dos artigos mais recentes para identificar trabalhos que não foram selecionados a partir do emprego do valor de corte. No entanto, optou-se por realizar esta adaptação.

Através do uso desses valores de corte, 224 artigos foram selecionados para leitura dos resumos. Esses artigos correspondem ao banco de artigos bruto, sem redundância e com títulos alinhados, que possuem reconhecimento científico. É importante destacar que os demais artigos, descartados nessa etapa, permanecem em um repositório e podem ser submetidos a análises sob outros critérios.

Definidos estes 224 artigos como os de maior reconhecimento, iniciou-se a etapa de leitura e avaliação dos resumos. Dos 224 artigos, 177 foram identificados como não alinhados à pesquisa. Assim, restaram 47 artigos. Estes, alinhados ao tema de pesquisa e relevantes quanto ao número de citações, representam o portfólio bibliográfico inicial. Esse portfólio permitiu identificar quais eram os autores mais relevantes. A partir dessa informação, retornou-se ao banco de artigos bruto, sem redundância, com título alinhado, a fim de encontrar artigos que acabaram eliminados mas que, potencialmente, poderiam ser relevantes devido ao fato de terem sido produzidos por tais autores.

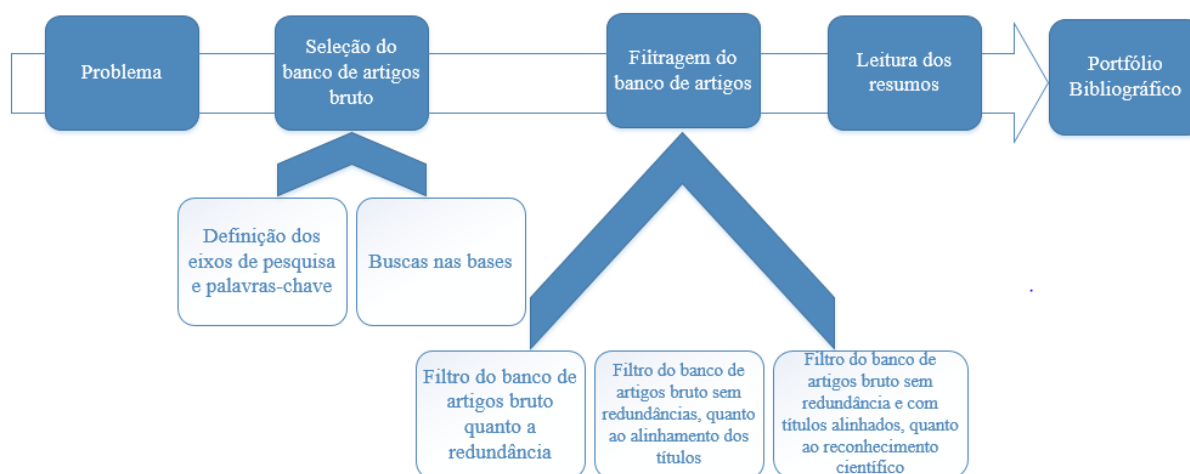
Esta nova avaliação evidenciou outros três artigos a serem inseridos no portfólio, ou seja, o portfólio final dispõe de 50 artigos.

A Figura 30 ilustra as etapas executadas para definição do portfólio bibliográfico.

### **Análise bibliométrica do portfólio**

A análise bibliométrica é uma forma de avaliar o portfólio bibliográfico. Por meio de técnicas bibliométricas, permite interpretar e avaliar os resultados obtidos através das buscas (ENSSLIN et al., 2010). Assim, é possível definir quais autores tem se destacado nos últimos anos com relação a área de pesquisa, qual a relevância de periódicos e congressos com base na relação entre esses e os artigos encontrados, além de identificar o reconhecimento científico dos artigos, através de análises quantitativas.

**Figura 30** – Etapas para a construção do portfólio bibliográfico



**Fonte:** a própria autora

O Gráfico 2 apresenta parte dos artigos do portfólio com relação ao número de citações associadas. A avaliação baseada no número de citações apresentou que poucos artigos (aproximadamente 20%) daqueles pertencentes ao banco de artigos bruto, sem redundância, com título alinhado, concentravam o maior número de citações, como pode ser observado no Gráfico 1. Destaca-se o trabalho apresentado por Chandrasegaran et al. (2013), com 230 citações até julho de 2016. Esta foi a única análise baseada neste banco de artigos. Todas as que são apresentadas na sequência foram baseadas no portfólio bibliográfico.

Outra avaliação realizada foi com relação às palavras-chave. O Gráfico 4 apresenta quais delas foram as mais utilizadas nos artigos, sendo *knowledge management* e *KBE*, junto de seus respectivos sinônimos, as mais frequentes.

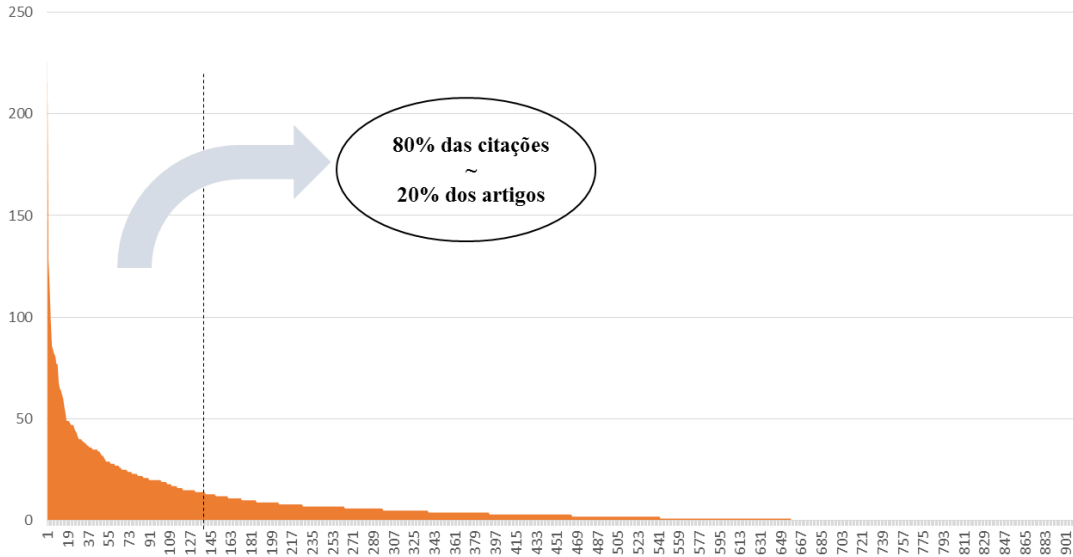
Para identificar os autores mais relevantes na área de pesquisa proposta, fez-se uma listagem de todos os autores dos artigos. Como mostra o Gráfico 3, destacam-se os pesquisadores Wim Verhagen, Davy Monticolo e Pablo Barmell-Garcia. Entre os artigos do portfólio, esses foram os autores com mais publicações associadas.

O Gráfico 6 expõe a classificação dos periódicos do portfólio bibliográfico. Pode-se evidenciar o periódico *Advanced Engineering Informatics* com o maior número de artigos no portfólio. Através do Gráfico 7, pode-se observar no entanto, que este periódico não possui o maior fator de impacto entre os periódicos encontrados.

O Gráfico 5 apresenta a quantidade de artigos do portfólio com relação ao ano de suas publicações. Ao avaliar o gráfico, observa-se que houve uma queda no número de publicações no ano de 2014, mas nos últimos dois anos este número teve um aumento, evidenciando que o tema está ainda em destaque no meio acadêmico.

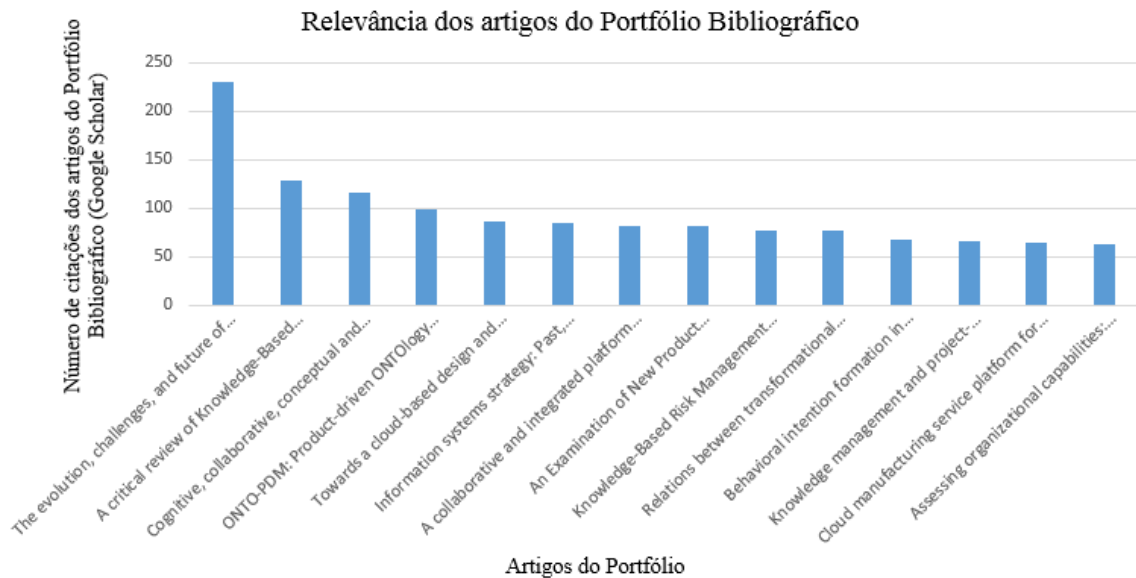
Uma vez definido o portfólio bibliográfico e concluída a análise bibliométrica, desenvolveu-se a etapa de análise sistêmica, que será apresentada na próxima seção.

**Gráfico 1** – Evidenciação do número de artigos mais relevantes

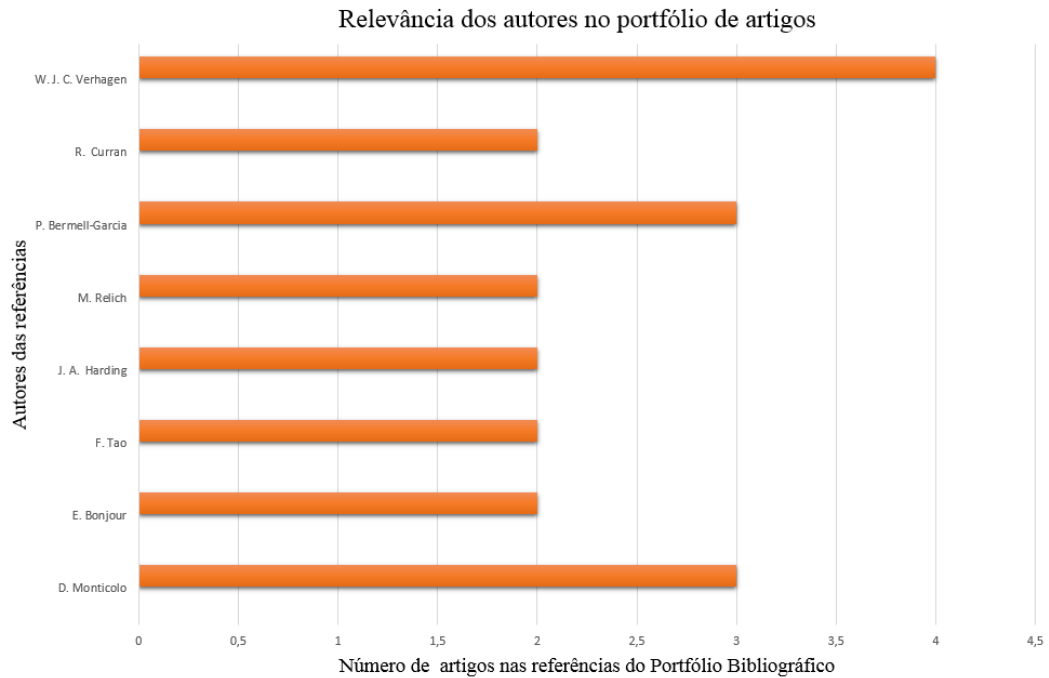


Fonte: a própria autora

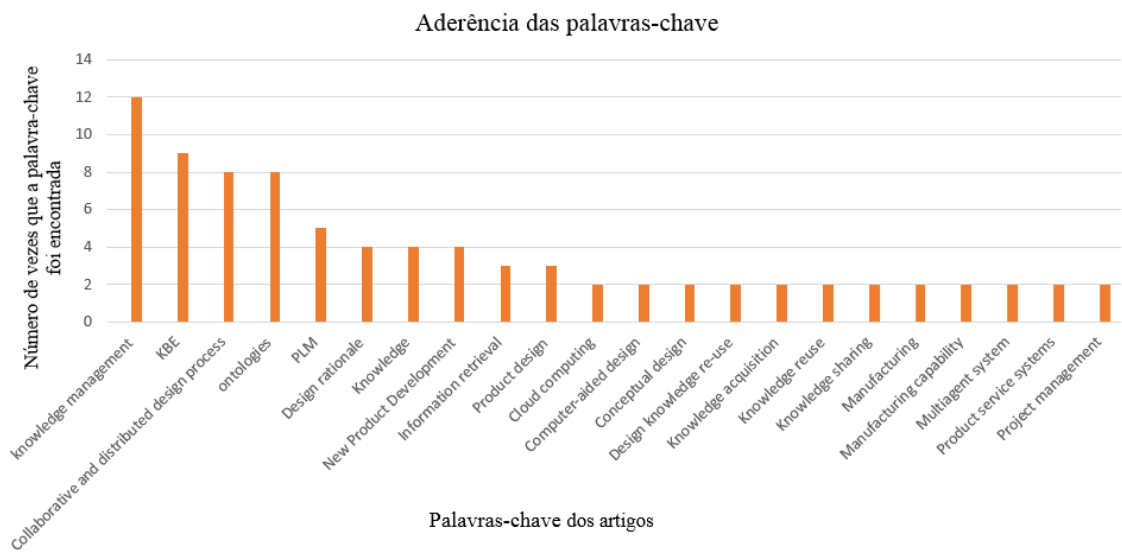
**Gráfico 2** – Número de citações dos artigos do portfólio



Fonte: a própria autora

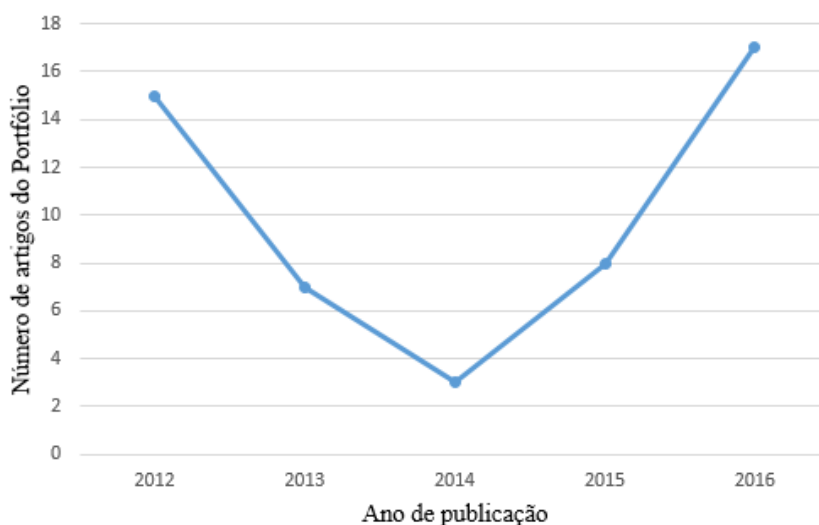
**Gráfico 3 – Autores com maior participação nas referências do portfólio**

**Fonte:** a própria autora

**Gráfico 4 – Número de vezes que as palavras-chave aparecem nos artigos do portfólio**

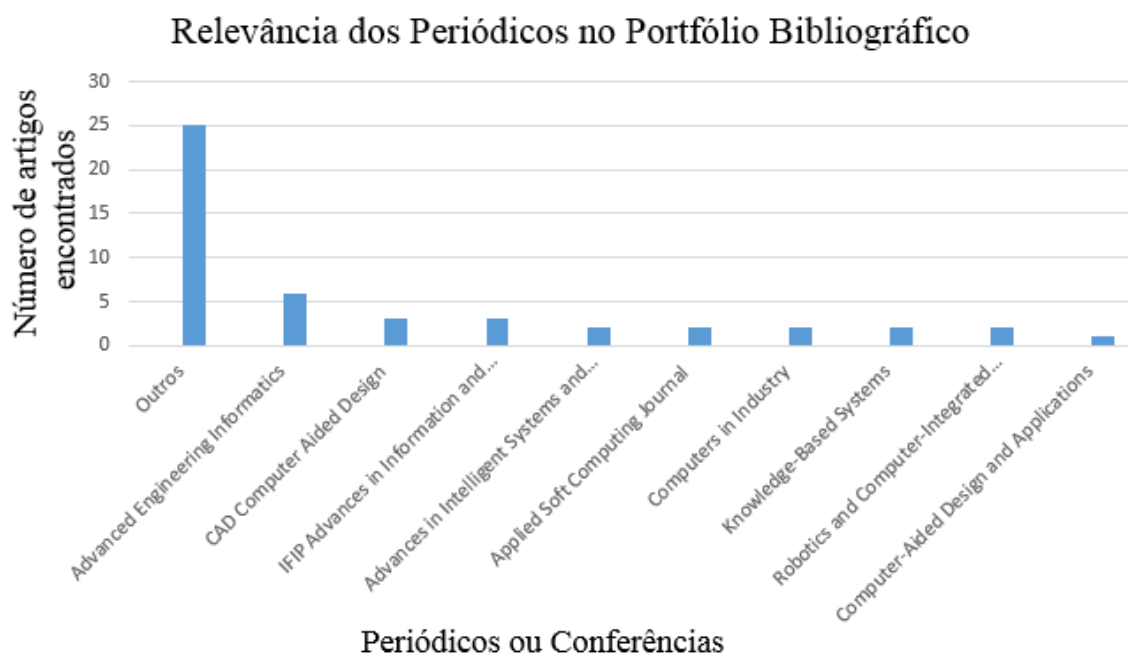
**Fonte:** a própria autora

**Gráfico 5** – Número de artigos com relação ao ano de publicação  
Quantidade de artigos publicados por ano

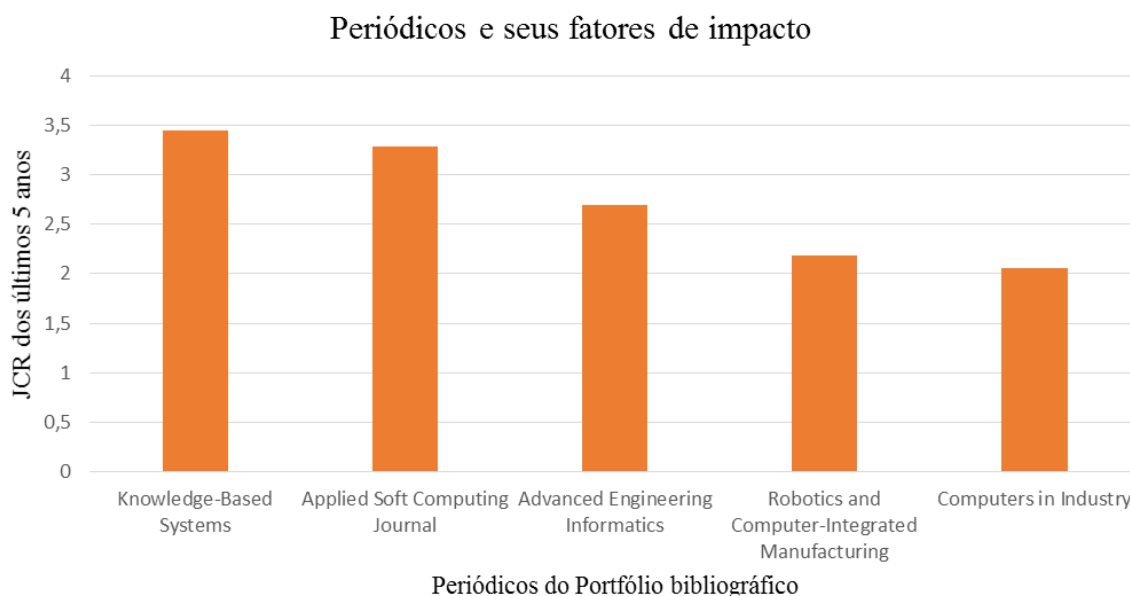


Fonte: a própria autora

**Gráfico 6** – Número de artigos por periódico



Fonte: a própria autora

**Gráfico 7** – Periódicos do portfólio com relação aos fatores de impacto

**Fonte:** a própria autora

### **Análise sistêmica do portfólio**

A análise sistêmica concentra-se em analisar o conteúdo dos artigos do portfólio bibliográfico. Definida como um processo científico, visa avaliar uma amostra representativa de um determinado assunto de pesquisa, a fim de encontrar oportunidades de conhecimento com relação a tal amostra (ENSSLIN et al., 2010).

O processo de análise sistêmica desenvolvido foi estruturado de acordo com alguns princípios, baseados no estudo proposto por (STEWART, 2001). Assim, cada artigo foi submetido a uma leitura tendo em vista definir: (i) objetivo; (ii) metodologia; (iii) principais resultados; (iv) recomendações futuras; (v) oportunidades de pesquisa apontadas pelos autores; e (vi) oportunidades de pesquisa encontradas a partir de análise crítica.

Inicialmente, foi necessário buscar os textos completos de cada artigo. Como resultado desta busca, 48 artigos foram encontrados. Os outros dois no entanto, não estavam disponíveis nas bases do portal de periódicos da Capes ou no Google Acadêmico (GOOGLE, 2016). Estes artigos ainda não tinham textos publicados completamente, possivelmente pela data de publicação recente, sendo ambos de 2016.

Durante a leitura completa dos artigos, verificou-se que alguns não estavam, de fato, alinhados plenamente ao tema de pesquisa. Assim, 14 artigos foram eliminados e outros 36 sujeitos à avaliação de acordo com as premissas definidas anteriormente. A partir de então, foi

possível identificar quais foram os problemas de pesquisa abordados por cada estudo, de que forma sugeriu-se que esses problemas fossem solucionados (e.g. ferramentas, métodos) e principalmente, as lacunas de pesquisa.

### *Problemas de pesquisa identificados*

A partir da leitura completa dos artigos, os problemas levantados pelos autores puderam ser identificados. Os mais frequentes estão descritos a seguir.

- ***Processo de desenvolvimento de produto:*** a constante busca por redução de custos e tempo associada ao alcance da satisfação do cliente é destacada por vários autores (VERHAGEN et al., 2012; MONTICOLO et al., 2015; LIU et al., 2012), pois esse é um objetivo comum a todas as empresas. Nesse sentido, alguns problemas associados ao processo de desenvolvimento de produto que dificultam alcançar esse objetivo, foram apresentados por alguns autores. Relich, Świć, e Gola (2015) apontam que, durante o PDP, dificuldades associadas ao complexo relacionamento entre as diversas áreas são frequentemente encontradas. Zhen, Wang e Li (2013) destacam ainda que, ao longo do processo, buscar conhecimento pode não ser suficiente, ou seja, é necessário ir além, ou pensar “fora da caixa”. Outro ponto importante apontado por Bermell-García et al. (2012) é a necessidade de armazenar conhecimento ao longo do desenvolvimento (i.e. aprender fazendo).
- ***Interoperabilidade entre ferramentas:*** o trabalho dos engenheiros é, normalmente, desenvolvido a partir da combinação de muitos problemas que precisam ser solucionados. Neste sentido, de acordo com Monticolo et al. (2015), Marconnet et al. (2016), Rahmani e Thomson (2012) e Panetto, Dassisti e Tursi (2012), há uma grande quantidade de informações disponíveis mas uma baixa interoperabilidade entre as ferramentas (e.g. sistemas de KBE) existentes.
- ***Colaboração de informações:*** o conteúdo disponível (e.g. conceitos, discussões, lições aprendidas) não são facilmente compreendidos por todos os envolvidos (HUANG et al., 2016; RAHMAWATI et al., 2015).
- ***Informações de manufatura:*** ambientes de manufatura necessitam adquirir, interpretar e distribuir informações. No entanto, fatores como confidencialidade das empresas, aplicação efetiva de métodos e ferramentas para o gerenciamento, grande quantidade de informações, distribuição geográfica dos sistemas de informação e



complexidade dos processos de colaboração através da rede de manufatura dificultam tais ações (VALILAI; HOUSHMAND, 2013). Além disso, Ahlers et al. (2016) e Mas et al. (2016) apontam a dificuldade para acessar informações referentes a manufatura, que são também importantes para outras áreas.

Outras dificuldades como a coleta de *feedback* e conhecimento a partir do uso de produtos (IGBA et al., 2015) e a necessidade de considerar diversos fatores durante o desenvolvimento de produto (KALJUN et al., 2012) foram detectados nesta pesquisa.

A partir dos problemas encontrados, a seção seguinte apresenta os principais objetivos definidos pelos autores, assim como os recursos utilizados para alcançá-los.

#### *Objetivos e recursos propostos*

É possível discriminar os recursos utilizados para solucionar os problemas apresentados em: ferramentas, estruturas, métodos, abordagens, sistemas, etc. Cada um destes recursos será apresentado a seguir, junto do objetivo proposto em cada pesquisa.

Verhagen et al. (2015) sustentam sua pesquisa por meio de um método, denominado IMPROVE (Integrated Method for PROcess Value Evaluation), para auxiliar na justificativa de oportunidades de automação de processos de engenharia. Rahmani e Thomson (2012) propõe uma metodologia auxiliada por computador para controle e projeto de interface, com base em uma ontologia que explicita conceitos e em um conjunto de regras de interface que descrevem como estes conceitos se relacionam. Além disso, apresenta-se também uma estrutura de software que permite aos usuários editar subsistemas e descrições, armazená-las em um repositório compartilhado, e garantir que sejam consistentes dentro de uma dada ontologia.

Outros autores também empregaram ontologias em seus estudos. Panetto, Dassisti e Tursi (2012) utilizaram uma ontologia denominada ONTO-PDM para gerenciar informações heterogêneas através da conceptualização, formalização e construção de um produto. O objetivo é permitir a troca de informações entre os sistemas, minimizando incertezas semânticas. No trabalho apresentado por Muñoz et al. (2012), uma ferramenta baseada em ontologia é apresentada para melhorar a comunicação no domínio de processo, mais especificamente as funções de planejamento e controle nos processos industriais, a fim de integrar os níveis hierárquicos de decisão das empresas. Ahlers et al. (2016) apresentam um *framework* de sistema com base em um domínio de ontologia, voltado a fornecer informações a usuários. A utilidade

da ontologia é capturar conhecimento, modelar e assim, refinar os interesses com relação a documentos que estão relacionados às atividades dos usuários.

Alguns estudos empregaram o uso de estruturas, tais como as apresentadas por (BERMELL-GARCIA et al., 2012; IGBA et al., 2015; BOUZID et al., 2016). No estudo de Bermell-Garcia et al. (2012), uma estrutura de KBE é proposta, cuja finalidade é codificar e personalizar atividades do desenvolvimento de produto que são baseadas em conhecimento, a fim de automatizar o processo de projeto conceitual. Igba et al. (2015) apresentam uma estrutura para o gerenciamento do conhecimento adquirido a partir do uso de um produto complexo, ou seja, quando esse produto está em serviço. Tal solução é desenvolvida e operacionalizada através de um estudo de caso industrial. Bouzid et al. (2016) propõem modelar e implementar uma estrutura para o gerenciamento e controle de conhecimento para design e produção digitais. Neste sentido, o objetivo é permitir o gerenciamento e melhorar possíveis simulações de fábricas digitais (DF) assim como focar na capitalização do conhecimento e experiência através de novos projetos de DF.

Outras pesquisas estão alinhadas a sistemas CAx. Valilai e Houshmand (2013) propõem uma plataforma para auxiliar engenheiros a utilizar dados do produto e compartilhar informações para facilitar o ambiente colaborativo de manufatura. Tal ferramenta é chamada XMLAYOD, plataforma colaborativa integrada, baseada no padrão STEP. Para a colaboração de sistemas CAx a plataforma utiliza uma solução alinhada com a capacidade do padrão STEP para apoiar as estruturas de dados XML. A partir das observações realizadas em estudos cognitivos, Goel et al. (2012) abstraíram requisitos funcionais para uma ferramenta CAD baseada em conhecimento chamada DANE, para apoiar o processo de design inspirado na biologia. Para representar modelos funcionais de sistemas biológicos e tecnológicos no protótipo de software CAD, DANE, usou-se o esquema de representação de conhecimento de Estrutura de Comportamento Funcional (FBS). O modelo KCMModel, proposto por Monticolo et al. (2015), tem como objetivo melhorar a interoperabilidade de diferentes modelos especialistas através da extração de dados cruciais, e reagrupá-los em configurações de conhecimento. Assim, o objetivo principal apresentado nesse artigo é partir da informação embutida em modelos geométricos e de simulação para uma estrutura centralizada de conhecimento que pode ser compartilhada e identificada através de uma configuração de gerenciamento, evitando erros especialmente nas etapas iniciais do processo de projeto.

Algumas pesquisas encontradas estão relacionadas a criação de ferramentas e sistemas. Zhen, Wang e Li (2013) propõem uma ferramenta para auxiliar no gerenciamento de

conhecimento e permitir que engenheiros pensem “fora da caixa”. Assim, a chave para o design da ferramenta é respaldada pela função de recomendação de conhecimento. O trabalho de Kaljun et al. (2012) também propõe um sistema de aconselhamento inteligente. Conhecimento relacionado ao projeto ergonômico de ferramentas de mão foi coletado, organizado e codificado na forma de regras de produção, regras estas que foram identificadas como de decisão. O conhecimento construído no protótipo de sistema inteligente é estruturado na forma de diferentes classes interconectadas com vários atributos e seus valores na entrada. Na saída do sistema, o usuário pode esperar recomendações de (re)design que o conduzem a alcançar certos objetivos e que podem melhorar o valor ergonômico do produto em desenvolvimento. Um sistema baseado em conhecimento (KMS) é proposto no artigo de Vieira, Varela e Ribeiro (2016) e seu objetivo é auxiliar na tomada de decisão no gerenciamento da manufatura. Tal proposta inclui um Modelo Dinâmico Multicritério de Tomada de Decisão (DMCDM) e um algoritmo de Fusão de Dados (FIF) para garantir que ambientes espacial-temporal globais sejam considerados. Além disso, o proposto KBS está associado a um conjunto de objetos inteligentes para a coleção de dados a nível de máquina e fábrica, assim como apropriadas tecnologias e ferramentas para apoiar o armazenamento e processamento de dados, melhorando assim o processo de tomada de decisão. Mas et al. (2016) apresenta uma solução na forma de ferramenta de software, baseada no conhecimento de projeto da linha de montagem conceitual, para auxiliar e guiar engenheiros de industrialização durante a geração e avaliação de configurações de linhas de montagem. Esta ferramenta de assistência permite definir diferentes cenários e avaliá-los em termos de dimensões, requisitos de transporte, tempo e custos.

Poorkiany, Johansson e Elgh (2016) e Wang, Johnson e Bracewell (2012) empregaram o *design rationale* em seus trabalhos. O objetivo de Poorkiany, Johansson e Elgh (2016) foi investigar como o *design rationale* poderia ser introduzido para auxiliar o uso e manutenção de sistemas de automação de projeto. Compartilhar conhecimento entre FEA (Análise de Elementos Finitos) e o design de produto a fim de automatizar o processo de desenvolvimento de modelos FEA de projetos customizados foi definido como uma necessidade. Diante disso, os autores apresentaram um método para capturar, estruturar e acessar o *design rationale*. A pesquisa de Wang, Johnson e Bracewell (2012) propôs a utilização de estruturas implícitas baseadas nos registros de *design rationale*, além de desenvolver métodos e ferramentas para facilitar o fornecimento de conhecimento de design útil e reutilizável em novos projetos.

Huang et al. (2016) propõem um modelo de sistema wiki empresarial integrado a uma estrutura de busca semântica para auxiliar na reutilização do conhecimento proveniente de

lições aprendidas no processo de design de produto. O objetivo principal desse modelo é focar nesse conhecimento, que necessita ser criado colaborativamente e disponibilizado entre engenheiros de diferentes áreas.

Na pesquisa realizada por Ostrosi, Fougères e Ferney (2012), aborda-se o conceito de configuração de produto. O objetivo, então, concentra-se em projetar uma configuração ótima de produto. Assim, agentes *fuzzy* são propostos, a fim de auxiliar o design colaborativo e distribuído para alcançar tal configuração.

A partir da avaliação das propostas de soluções apresentadas e dos resultados obtidos, foi possível definir algumas oportunidades de pesquisa que são apresentadas na próxima seção.

#### *Identificação de lacunas existentes*

A partir dos problemas levantados e das soluções propostas, algumas lacunas de pesquisa puderam ser evidenciadas.

- ***Aplicações “caixa-preta”***: várias soluções de KBE são consideradas aplicações “caixa-preta” (VERHAGEN et al., 2012). Em muitos casos, usuários encontram dificuldades para utilizar as soluções propostas. Isso foi observado no mecanismo de busca semântico proposto por Huang et al. (2016) ou na ferramenta apresentada por Zhen, Wang e Li (2013). Ambos destacaram a necessidade de criar aplicações mais amigáveis aos usuários. Pode-se apontar também a necessidade de utilizar bases de conhecimento mais flexíveis e amigáveis (VERHAGEN et al., 2012; STJEPANDIĆ et al., 2014). Além disso, a pesquisa realizada por Rahmani e Thomson (2012) evidenciou que os envolvidos no processo de projeto acreditam que o gerenciamento do conhecimento (KM) pode auxiliar a integração de práticas de projeto colaborativo. Assim, criar soluções mais acessíveis aos usuários pode favorecer a colaboração ao longo do processo de desenvolvimento de produto.
- ***Integração entre soluções e o ambiente***: algumas dificuldades podem ser encontradas durante a implementação de novos sistemas, devido ao não alinhamento entre esses sistemas e o ambiente (POORKIANY; JOHANSSON; ELGH, 2016) ou devido ao fato de que este ambiente não suporta essa nova demanda (STJEPANDIĆ et al., 2014). Isso acaba gerando falhas e restringe o uso prático de tais soluções. Nesse sentido, é importante avaliar essas condições antes de desenvolver uma nova solução.
- ***Falta de reutilização do conhecimento***: aplicações de KBE “caixa-preta” normalmente dificultam a reutilização do conhecimento (VERHAGEN et al., 2012).

Pode-se destacar também a dificuldade para coletar dados provenientes de projetos anteriores, que muitas vezes são insuficientes ou ambíguos (RELICH; ŚWIC; GOLLA, 2015). Além disso, diversas fontes de conhecimento, importantes em uma determinada etapa do processo, podem ser deixadas de lado. O tipo de formato em que se apresenta o conhecimento pode impedir que todo o conteúdo disponível seja conduzido (VALILAI; HOUSHMAND, 2013). Assim, é necessário desenvolver um formato padrão para a codificação do conhecimento (FILIERI; WILLISON, 2016; STJEPANDIĆ et al., 2014; IGBA et al., 2015; PANETTO; DASSISTI; TURSI, 2012). Isso facilita o reuso, pois cada elemento é imediatamente identificado. A partir desta padronização é possível obter soluções mais completas.

- ***Falta de avaliações quantitativas associadas às soluções:*** assim como apresentado por Verhagen et al. (2012), entre as soluções encontradas neste estudo de revisão, nenhuma atentou as questões relacionadas a viabilidade através da atribuição de custos. Além disso, as pesquisas também não avaliam os ganhos que as empresas podem ter a partir do emprego das soluções (IGBA et al., 2015). Diante disso, pesquisas futuras podem abranger esta avaliação, a fim de provar para as empresas que tais soluções podem, de fato, trazer benefícios.

Diante desse levantamento, que sintetizou as oportunidades de pesquisa encontradas, pode-se apresentar alguns pontos que se destacaram como orientações futuras. A partir das propostas encontradas nos artigos do portfólio, reforçadas pelo trabalho apresentado por Chandrasegaran et al. (2013), é possível apontar as seguintes tendências: i) uso de wikis; ii) solucionadores de problemas ou sistemas inteligentes; iii) conhecimento de projeto baseado nos conceitos biológicos; iv) ontologias e interoperabilidade semântica; e v) interfaces amigáveis aos usuários. Muitas dessas tendências foram, de alguma forma, empregadas nas pesquisas encontradas. No entanto, muitas melhorias ainda podem ser implementadas, de acordo com as lacunas identificadas, justificando assim o desenvolvimento desse trabalho.

## APÊNDICE B

### **Roteiro para entrevistas com engenheiros responsáveis pelo atendimento de solicitações de alterações em produtos**

1. Quais foram as informações recebidas na abertura da solicitação?
2. Quais documentos foram necessários acessar ou procurar?
3. Qual o motivo da abertura da solicitação?
4. Os requisitos para execução da tarefa foram satisfatórios? Se não, quais as dificuldades encontradas na busca de informações?
5. Como são definidos os prazos e a urgência para a execução da solicitação?
6. Quais áreas/pessoas foram envolvidas entre a abertura da solicitação até sua execução?
7. Como o problema que motivou a solicitação poderia ter sido evitado?
8. Quais critérios são considerados para a aprovação de uma alteração ou desenvolvimento realizado?
9. Quais os procedimentos e normas são utilizados na execução das tarefas?

## APÊNDICE C

Buscas realizadas através do *plug-in* Snap-SPARQL:

Indivíduos que possuem propriedade `hasPreferenceAttribute` com valor verdadeiro:

```
SELECT ?subject
WHERE { ?subject hose:hasPreferenceAttribute true . #xsd:boolean
}
```

The screenshot shows the Snap SPARQL Query interface. The query is:

```
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#>

PREFIX hose: <http://www.semanticweb.org/m5/ontologies/2016/hose#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>

SELECT ?subject
WHERE { ?subject hose:hasPreferenceAttribute true . #xsd:boolean
}
```

The results table shows two rows:

	?subject
hose:Example2	
hose:Example1	

Indivíduo cuja condição de utilização é pressão média (`MediumPressure`):

```
SELECT ?CNHiClassification
WHERE {?CNHiClassification hose:hasNormalUse hose:MediumPressure .
}
```

The screenshot shows the Snap SPARQL Query interface. The query is:

```
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#>

PREFIX hose: <http://www.semanticweb.org/m5/ontologies/2016/hose#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>

SELECT ?x
WHERE {?x hose:hasNormalUse hose:MediumPressure .
}
```

The results table shows one row:

	?x
hose:Example2	