

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CÂMPUS CURITIBA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA E DE MATERIAIS

**MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DIGITAL DA ADEQUAÇÃO DE SISTEMAS
PRODUTIVOS EXISTENTES A ALTERAÇÕES DE ENGENHARIA DE PRODUTO
NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

JAQUELINE SEBASTIANY IAKSCH

CURITIBA

2018

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CÂMPUS CURITIBA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA E DE MATERIAIS

**MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DIGITAL DA ADEQUAÇÃO DE SISTEMAS
PRODUTIVOS EXISTENTES A ALTERAÇÕES DE ENGENHARIA DE PRODUTO
NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

JAQUELINE SEBASTIANY IAKSCH

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

CURITIBA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

I11m Iaksch, Jaqueline Sebastiany
2018 Método para avaliação digital da adequação de sistemas
produtivos existentes a alterações de engenharia de
produto no contexto da indústria automotiva / Jaqueline
Sebastiany Iaksch.-- 2018.
95 f.: il.; 30 cm.

Disponível também via World Wide Web.
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, 2018.
Bibliografia: p. 86-92.

1. Engenharia baseada em modelos. 2. Ontologia. 3. Produtos
novos - Desenvolvimento. 4. Processos de fabricação.
5. Indústria automotiva. 6. Engenharia mecânica -
Dissertações. I. Borsato, Milton, orient. II. Universidade
Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica e de Materiais, inst. III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 620.1



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 327

A Dissertação de Mestrado intitulada: **MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DIGITAL DA ADEQUAÇÃO DE SISTEMAS PRODUTIVOS EXISTENTES A ALTERAÇÕES DE ENGENHARIA DE PRODUTO NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**, defendida em sessão pública pela Candidata **Jaqueline Sebastiany Iaksch**, no dia 17 de agosto de 2018, 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 Luiz Polli - UTFPR

Prof. Dr. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues - UTFPR

Prof. Dr. Walter Luís Mikos - UTFPR

Pablo Yugo Yoshiura Kubo - Volvo do Brasil

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

Curitiba, ____ de _____ de 20__.

Carimbo e assinatura do Coordenador do Programa

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda a força concedida na realização desse sonho. Além disso, agradeço a Ele pelas pessoas especiais que cruzaram meu caminho e que estiveram ao meu lado ao longo dessa jornada.

A minha família que me deu total apoio. Especialmente à minha mãe que mesmo estando longe se fez presente em todos os momentos.

Ao meu namorado pela compreensão e apoio em todas as horas.

Ao meu orientador Milton Borsato, pelo apoio, orientação e paciência, por ter estado sempre presente em todos os momentos da elaboração desse trabalho.

Aos meus colegas de laboratório que estiveram presentes ajudando direta e indiretamente nessa jornada.

Aos Professores do PPGEM pelos conhecimentos transmitidos em disciplinas por mim cursadas, estendendo meus agradecimentos a todos os funcionários do departamento.

À UTFPR, pela oportunidade de realização do mestrado.

Agradeço também à Renault do Brasil e a Fundação Araucária pelo suporte no desenvolvimento dessa pesquisa.

A todos que contribuíram de forma particular e especial, os meus agradecimentos.

IAKSCH, Jaqueline S. **MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DIGITAL DA ADEQUAÇÃO DE SISTEMAS PRODUTIVOS EXISTENTES A ALTERAÇÕES DE ENGENHARIA DE PRODUTO NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**, 2018. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Manufatura – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 94 p.

RESUMO

O aumento da digitalização permite a reutilização de trabalho legado, tomadas de decisão mais bem fundamentadas, além do planejamento e estimativas mais confiáveis durante o Processo de Desenvolvimento de Produtos. No entanto, as práticas correntes da indústria ainda apontam para o isolamento de domínios de conhecimento. Garantir que o conhecimento relativo aos processos de fabricação seja levado em consideração desde o início do Processo de Desenvolvimento de Produtos faz com que as restrições de fabricação sejam levadas em conta, evitando problemas em etapas posteriores ao longo do ciclo de vida do produto. Com a aplicação dos conceitos da abordagem *Digital Thread* apresenta-se a oportunidade de integrar inteligentemente conhecimentos no desenvolvimento de produtos, na forma de um “tecido digital” capaz de direcionar e apoiar todas as etapas do ciclo de vida do produto. Dessa maneira, definiu-se como objetivo desta pesquisa, a elaboração de um modelo ontológico e método de aplicação capaz de avaliar, computacionalmente e em tempo real, a adequação de sistemas produtivos existentes, integrando as informações de projeto e processo. Para o desenvolvimento desse método utilizou-se como *framework* metodológico o *Design Science Research*. Dessa forma, seis etapas foram realizadas: (i) identificação do problema e motivação; (ii) definição dos objetivos da solução; (iii) projeto e desenvolvimento; (iv) demonstração; (v) avaliação; e, (vi) comunicação dos resultados. A solução se mostra pertinente já que, através da descrição dos sistemas de fabricação contribui para a avaliação digital e facilita as tomadas de decisão relativas a sistemas produtivos, bem como a recuperação, reutilização e gerenciamento de dados. Este trabalho teve como foco o estudo de uma linha de produção específica de uma empresa do ramo automobilístico, contudo há a possibilidade do modelo ser adaptado para outros segmentos.

Palavras-chave: Engenharia Baseada em Modelos, Ontologia, Processo de Desenvolvimento de Produto, Sistemas Produtivos.

IAKSCH, Jaqueline S. **METHOD FOR DIGITAL EVALUATION OF EXISTING PRODUCTION SYSTEMS ADEQUACY TO CHANGES IN PRODUCT ENGINEERING IN THE CONTEXT OF THE AUTOMOTIVE INDUSTRY**, 2018. Master's Degree Dissertation in Manufacturing Engineering – Post-Graduate Program in Mechanical and Materials Engineering, Federal University of Technology – Paraná, Curitiba, 94 p.

ABSTRACT

Increasing digitalization allows the reuse of legacy work, more effectivity in decision-making processes, in addition to more reliable planning and estimates during the Product Development Process. However, current industry practices still points to the isolation of knowledge domains. Ensure that the knowledge regarding to the manufacturing process is taken in account since the begining of the Product Development Process avoids problems in later stages throughout the product life cycle because all the production constrains have been raised. With the application of the concepts of the Digital Thread approach introduces the opportunity to intelligently integrate knowledge into product development in the form of a "digital factory" capable of directing and supporting all stages of the product life cycle. Thus, the objective of this research was the elaboration of an ontological model and application method capable of evaluating, in real time, the adequacy of the existing production systems, integrating the project and process information. Design Science Research was used as methodological framework for the development of this method. In this way, six steps were performed: *(i)* problem identification and motivation; *(ii)* definition of the objectives of the solution; *(iii)* design and development; *(iv)* demonstration; *(v)* evaluation; and, *(vi)* reporting of results. The solution shows itself pertinent because through the description of the manufacturing systems, it contributes to the digital evaluation and facilitates the decision making regarding productive systems, as well as the recovery, reutilization and data management. This work was focused on the study of a specific production line of a multinational company in the automotive sector, however the model could be adapted to other segments.

Keywords: Model-Based Engineering, Ontology, Product Development Process, Production Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução das tecnologias ao longo das Revoluções Industriais.....	23
Figura 2 - Modelo de referência para PDP.....	25
Figura 3 - Etapas do APQP ao longo do PDP.....	26
Figura 4 - Etapas Método 101.....	35
Figura 5 - Estrutura metodológica da abordagem DSR.....	43
Figura 6 - Procedimento metodológico.....	48
Figura 7 - Esquema linha produtiva.....	53
Figura 8 - Principais etapas de uma análise.....	54
Figura 9 - Mapa mental dos conceitos relacionados ao domínio da ontologia.....	55
Figura 10 - Taxonomia de classes do modelo de ontologia proposto no editor Protégé.....	57
Figura 11 - Representação gráfica gerada pelo plug-in OWLviz.....	57
Figura 12 - Exemplo de propriedade de objeto – hasNominalTorque.....	58
Figura 13 - Exemplo de propriedade de objeto – hasTorqueValue.....	59
Figura 14 - Definição da classe <i>Cars</i> e do indivíduo.....	60
Figura 15 - Representação da definição da subclasse <i>Press</i>	60
Figura 16 - Representação da classe <i>DeviceAttribute</i>	61
Figura 17 - Representação da classe <i>Press</i> e suas características.....	62
Figura 18 - Representação da classe <i>TorqueProgram</i>	63
Figura 19 - Representação das propriedades da classe <i>TorqueProgram</i>	63
Figura 20 - Representação da classe <i>NominalTorque</i>	64
Figura 21 - Representação da classe <i>AssemblyProcessProcedure</i> e suas instâncias..	64
Figura 22 - Representação das instâncias da classe <i>AssemblyProcessProcedure</i>	65
Figura 23 - Propriedades de objeto <i>hasAssemblyStandardProcedure</i>	65
Figura 24 - Propriedades de objeto <i>hasWorkstation</i>	66
Figura 25 - Propriedades de objeto <i>isAssembledAt</i>	66
Figura 26 - Indivíduo da classe <i>Workstation</i> e suas características.....	67
Figura 27 - Resultado da busca no <i>plug-in Snap-SPARQL</i>	70
Figura 28 - Resultado de busca de modelo de veículo a partir da estação de trabalho.....	70
Figura 29 - Resultado de busca de equipamento a partir de dimensões do produto.....	72
Figura 30 - Resultado de busca a partir de valor de força de prensagem e torque.....	73

Figura 31 - Resultado de busca do equipamento que não tem potencial de fabricabilidade...	74
Figura 32 - Resultado da ordenação por ordem de prioridade e <code>Assembly_Potential</code> .	76
Figura 33 - Resultado apresentado pela interface para o Produto 1	78
Figura 34 - Resultado apresentado pela interface para o Produto 2	79
Figura 35 - Verificação da taxonomia do modelo ontológico.....	80
Figura 36 - Resultados da avaliação segundo a OOPS!	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios de avaliação para cada dimensão	47
Quadro 2 - Correlação - Queries / Questões de Competência	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das peças que representam os cenários utilizados	68
--	----

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

AIAG	<i>Automotive Industry Action Group</i>	Grupo de Ação da Indústria Automotiva
APQP	<i>Advanced Product Quality Planning</i>	Planejamento Avançado de Qualidade de Produto
CAD	<i>Computer- Aided Design</i>	Desenho Auxiliado por Computador
CAPES	<i>Higher Education Personnel Improvement Coordination</i>	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior
CE	<i>Concurrent Engineering</i>	Engenharia simultânea
CPS	<i>Cyber Physical System</i>	Sistema Ciber-físico
CVP	<i>Product Life Cycle</i>	Ciclo de Vido do Produto
DfM	<i>Design of Manufacturing</i>	Design para Fabricação
DSR	<i>Design Science Research</i>	-
DTh	<i>Digital Thread</i>	Fio digital
FPR	<i>Process Requirements Document</i>	Folha de Requisitos de Processo
ICT	<i>Information and Communications Technology</i>	Tecnologia da Informação e Comunicação
IoT	<i>Internet of Things</i>	Internet das coisas
KBE	<i>Knowledge-based Engineering</i>	Engenharia Baseada em Conhecimento
KBS	<i>Knowledge-based System</i>	Sistema Baseado em Conhecimento
KNOMAD	<i>Knowledge Nurture for Optimal Multidisciplinary Analysis and Design</i>	Criação de Conhecimento para Análise e Design Multidisciplinar Ótimo
MBE	<i>Model-Based Engineering</i>	Engenharia Baseada em Modelos
MBD	<i>Model-Based Definition</i>	Definição Baseada em Modelo
MMG	<i>Multi-model Generator</i>	Gerador de modelos múltiplos

MOKA	<i>Methodology and Tools Oriented to Knowledge-based Applications</i>	Metodologia e Ferramentas Orientadas para Aplicações Baseadas no Conhecimento
OE	<i>Ontology Engineering</i>	Engenharia de Ontologia
OWL	<i>Web Ontology Language</i>	-
PDP	<i>Product Development Process</i>	Processo de Desenvolvimento de Produto
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>	Gestão do Ciclo de Vida do Produto
PMI	<i>Product Manufacturing Information</i>	Informações de Manufatura de Produto
RDF	<i>Resource Description Framework</i>	-
RE	<i>Requirements Engineering</i>	Engenharia de Requisitos
SM	<i>Smart Manufacturing</i>	Manufatura Inteligente
SMAC	<i>Social, Mobile, Analytics and Cloud Technology</i>	-
TDP	<i>Technical Data Package</i>	Pacote de Dados Técnicos
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>	-
UTFPR	<i>Federal University of Technology - Paraná</i>	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	20
1.1.1 Objetivo geral	20
1.1.2 Objetivos específicos	20
1.2 JUSTIFICATIVA	20
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1 MANUFATURA INTELIGENTE E INDÚSTRIA 4.0	23
2.2 GESTÃO DO CONHECIMENTO E MODELOS DE REFERÊNCIA DO PDP.....	25
2.3 ENGENHARIA DE REQUISITOS	27
2.4 <i>MODEL-BASED MANUFACTURING ENTERPRISE</i>	29
2.5 <i>KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS</i>	30
2.6 ONTOLOGY ENGINEERING	31
2.6.1 Método 101 para construção de ontologias	33
2.6.2 Avaliação de ontologias.....	35
2.6.3 Ferramenta OOPS!.....	39
2.7 <i>DIGITAL THREAD</i>	40
3. ASPECTOS METODOLÓGICOS	42
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	42
3.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	42
3.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	44
3.3.1 Identificação do problema e motivação	44
3.3.2 Definição dos objetivos da Solução.....	44
3.3.3 Projeto e desenvolvimento da Solução	45
3.3.4 Demonstração da Solução.....	45
3.3.5 Avaliação da Solução.....	46
3.3.6 Comunicação dos resultados.....	48
3.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E MOTIVAÇÃO	50
4.2 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DA SOLUÇÃO.....	51
4.3 PROJETO E DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO.....	52
4.3.1 Determinação do domínio e do escopo da ontologia.....	52
4.3.2 Consideração de reuso de ontologias existentes	54
4.3.3 Enumeração dos termos importantes	55
4.3.4 Classes e hierarquias	56
4.3.5 Propriedades e características das classes e instâncias	58
4.4 DEMONSTRAÇÃO DA SOLUÇÃO	67
4.4.1 <i>Queries</i>	69
4.4.2 Stardog	76
4.4.3 Interface com o usuário.....	77

4.5	AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO	79
5.	CONCLUSÃO.....	84
	REFERÊNCIAS.....	86
	APÊNDICES	93
	APÊNDICE A – MODELO DE QUESTIONÁRIO APLICADO	93
	APÊNDICE B – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO APLICADO	94

1. INTRODUÇÃO

No mundo globalizado e altamente competitivo de hoje, há entre as empresas uma corrida para se estar no topo e ser bem sucedida, sendo necessário, para isso, um rápido e eficaz Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) (WAURZYNIAK, 2016). Esse processo possui um papel estratégico muito importante para as organizações, visto que se situa na interface entre a empresa e o mercado, e tem como principal objetivo identificar as necessidades do cliente em todas as fases do ciclo de vida do produto e as respectivas tecnologias envolvidas, garantir a qualidade total do produto, além de desenvolvê-lo em tempo e custo competitivos (ROZENFELD et. al., 2000). Modelos de PDP vêm evoluindo constantemente ao longo dos anos, já que é uma área amplamente influenciada pelos avanços científicos em metodologias de projeto e soluções de software (MEJÍA-GUTIÉRREZ; CARVAJAL-ARANGO, 2017).

Durante as atividades de desenvolvimento de um produto, uma quantidade muito elevada, variada e complexa de informações é processada. Isso se deve não só pelos requisitos provenientes de fontes externas e internas à empresa, mas também pelo fato de que as atividades do PDP influenciam e são influenciadas por todas as áreas da organização (PERSSON, 2016). É fundamental a gestão eficiente do conhecimento gerado não somente durante o PDP, mas também ao longo de todo o ciclo de vida de produtos (CVP), i.e. incluindo fabricação, pós-venda e descarte, já que surgem muitas informações vindas de diferentes fontes em diversos formatos e que necessitam ser armazenadas e transformadas em conhecimento que não gere interpretações ambíguas (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

Nesse contexto, aumentar a digitalização e a possibilidade de realização de simulações em cada fase do CVP está abrindo oportunidades para as organizações atingirem um novo patamar em produtividade. Dar suporte à tomada de decisão eficaz e em tempo real através da convergência de uma série de tecnologias de ponta é uma das alternativas impulsionadas pela chamada Indústria 4.0 (ROSEN et al., 2015). Neste sentido, tem surgido o conceito da Empresa Baseada em Modelos (MBE), que sugere a integração de dados e modelos de produtos e processos, apoiando todo o CVP, desde o projeto conceitual até seu descarte (TUEGEL et al., 2017). Uma empresa de manufatura baseada em modelos (i.e., *Model-Based Manufacturing Enterprise*) seria, portanto, uma organização em que se utilizam tecnologias de simulação e modelagem para gerenciar e integrar seus processos técnicos e de negócios relacionados a concepção, produção e suporte de produtos.

A abordagem de Engenharia Simultânea, do inglês *Concurrent Engineering* (CE) sugere a integração entre diferentes áreas de conhecimento, de maneira que as diferentes perspectivas

no PDP sejam levadas em consideração de forma a antecipar potenciais problemas e reduzir o *time-to-market*. Tarefas no PDP são integradas e realizadas simultaneamente, permitindo sua aceleração e melhorando os indicadores de qualidade, custo e atendimento a requisitos do cliente. Para tanto, é essencial levar em consideração as restrições do processo de fabricação na fase de projeto conceitual do produto (NGUYEN; MARTIN, 2015).

Por outro lado, no contexto da Indústria 4.0 (i.e., aplicação intensiva de tecnologia da informação e telecomunicações – do inglês, *Information and Communications Technology* - ICT - no contexto da manufatura tradicional), além da necessidade de desenvolvimento rápido de produtos, as organizações devem lidar com a necessidade de produção flexível e ambientes complexos, centrado-se no estabelecimento de produtos e processos de produção inteligentes (BRETTEL et al., 2014). Isso só é alcançado através da utilização de automação, sistemas informatizados e software para o gerenciamento das operações de produção. No entanto, a complexidade cada vez maior dos sistemas de uso intensivo de software que está sendo utilizado na indústria automotiva criou a necessidade de fornecer processos com ferramentas simples e de fácil compreensão, juntamente com a criação de sistemas modulares e adaptáveis (KANNAN et al., 2017).

Uma das possibilidades que o advento da Indústria 4.0 oferece é certamente o aumento da flexibilidade das plantas fabris, no sentido de que as empresas possam adaptar os sistemas produtivos existentes a novos produtos e realidades de mercado de forma mais ágil e menos onerosa, tornando-as mais competitivas no cenário mundial (MUELLER; CHEN; RIEDEL, 2017).

As tecnologias de fabricação digital são consideradas uma parte essencial do esforço contínuo para reduzir o tempo de desenvolvimento e o custo de um produto, bem como a expansão das opções de personalização. As tecnologias baseadas em simulação constituem um ponto focal de soluções de fabricação digital, pois permitem a experimentação e validação de diferentes configurações de sistemas de produtos, processos e manufaturas (MOURTZIS; DOUKAS; BERNIDAKI, 2014).

Diversas empresas vêm tentando desenvolver tecnologias de fabricação inteligentes (i.e., *Smart Manufacturing* – SM) baseadas em tecnologia digital que permitem prever, melhorar e controlar os processos produtivos, vinculando-os às plantas reais no ambiente virtual. Essas fábricas virtuais permitem o monitoramento da planta, ou seja, pode-se controlar um site fabril em tempo real para prever e resolver problemas relativos à produtividade (AGYAPONG-KODUA; DARLINGTON; RATCHEV, 2013).

O aumento da digitalização e da simulação dos processos em cada estágio da fabricação está criando oportunidades para as organizações atingirem maior produtividade (CHOI et al., 2015). A aplicação intensiva de tecnologia da informação para ideação, especificação, concepção, detalhamento e posteriormente fabricação de produtos (i.e., Manufatura Digital) na forma de um verdadeiro “tecido digital” (um desdobramento da ideia de *Digital Thread*, DTh), potencialmente permite a reutilização de trabalho legado, tomadas de decisão mais bem fundamentadas, além do planejamento e estimativas mais confiáveis. Em outras palavras, a qualidade da informação melhora, resultando em menores prazos e custos, e maior satisfação do cliente final (ZWEBER et al., 2017).

Entretanto, as práticas correntes da indústria ainda apontam para o isolamento de domínios de conhecimento, sendo caracterizadas pelo mero repasse de informações a responsáveis por atividades subsequentes no PDP, revelando um comportamento antagônico àquele preconizado pela CE e *Design for Manufacturing* (DfM), termos consolidados nos anos 90, mas cujos fundamentos foram introduzidos no início do século XX (SMITH, 1997).

Tradicionalmente, os processos de fabricação são determinados a partir das escolhas atribuídas na definição do produto, sem levar em consideração as restrições de fabricação. Na fase de preparação da fabricação, esses problemas poderão dificultar os planejadores de processos e, por sua vez, resultarão em dificuldades imprevisíveis no processo de produção (NGUYEN; MARTIN, 2015). Uma metodologia de *design* e fabricação integrada deve possuir os pontos fortes da modelagem de produtos e processos, de modo que análises virtuais do projeto e dos processos possam ser realizados no estágio de projeto conceitual do produto (AGYAPONG-KODUA; DARLINGTON; RATCHEV, 2013). Dessa maneira, faz-se necessário que as experiências ligadas à fabricação, ou a experiência de todo o CVP, encontrem-se prontamente disponíveis no modelo de projeto, para que não haja a possibilidade de se projetar produtos que não possam ser fabricados (CHAPMAN; PINFOLD, 1999).

Para permitir que essas informações e conhecimentos gerados ao longo do PDP possam ser capturados, estruturados, armazenados, estejam disponíveis e possam ser utilizados em um ambiente de desenvolvimento colaborativo, destaca-se a utilização dos conceitos da abordagem de Engenharia Baseada em Conhecimento (KBE – do inglês *Knowledge-based Engineering*) (VERHAGEN et al., 2012).

Alguns trabalhos encontrados na literatura propõem soluções baseadas em KBE, que têm como objetivo principal otimizar a execução de atividades de projeto. Como o estudo de Imran e Young (2015) que apresenta a utilização de ontologias formais para capturar e

compartilhar o conhecimento de montagem ao longo dos processos de planejamento de processos de montagem.

A pesquisa de Kaljun e Dolšak (2012) propõe um sistema de aconselhamento inteligente voltado para projetos de ergonomia. Nesse estudo, conhecimentos referentes à concepção ergonômica de uma ferramenta foram coletados, identificados e codificados como regras para produção. Assim, esses dados codificados são interpretados como regras de decisão para a produção da ferramenta, e o sistema gera recomendações de *design* para melhorar o valor ergonômico do produto.

No estudo de Vieira et al. (2016), propõe-se um sistema baseado em conhecimento (KBS), para apoiar as decisões de gestão da manufatura na indústria têxtil. O KBS proposto contribui para a seleção de recursos de fabricação de roupas, usando o multicritério dinâmico incorporado ao modelo. No entanto, as aplicações usuais do KBE envolvem, principalmente, a geração de geometria e a integração com softwares de simulação (i.e. análise de elementos finitos), ou seja, as metodologias dentro da pesquisa e as implementações existentes tendem a ser orientadas para o produto e não para o processo (KALAVRYTINOS; SIEVERTSEN, 2014).

Dado o problema, a seguinte pergunta de pesquisa se coloca: **como a tecnologia da informação e comunicações (ICT) poderia ser utilizada para automatizar a análise de adequação de sistemas produtivos existentes a alterações em produto ou novos conceitos de produto, de tal forma que decisões no contexto corporativo possam ser tomadas de forma mais ágil e fundamentada?**

A presente pesquisa propõe métodos e ferramentas que permitam a concretização desta ideia, no contexto da indústria automotiva, um dos setores mais determinantes para o crescimento do País e referência de boas práticas para inúmeros outros segmentos.

Esta pesquisa faz parte do Programa de Manufatura Inteligente. Integrante do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, esse programa corresponde a um grupo de pesquisa focado no desenvolvimento de soluções que atendam a definição inteligente de produto, dentre outras demandas, em regime de parceria com empresas brasileiras e com aplicação direta em seus respectivos contextos, com a finalidade última de melhorar suas condições de competitividade no mercado. Essa demanda busca um modelo de definição de produto integrado, completo e inteligente, capaz de direcionar todas as aplicações subsequentes. O desenvolvimento de novas abordagens e ideias para modelagem, contemplar todos os domínios de conhecimento e tipos de produto, compreender profundamente todas as necessidades de informação direcionando-as para as aplicações subsequentes, disseminar abstrações e inserir inteligência em modelos de

produto, e gerenciar as relações entre modelos através de conceitos de modelos integrados são pontos que surgem como desafio para este programa.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver uma solução composta por modelo ontológico e método de aplicação capaz de avaliar o grau de adequação de sistemas produtivos existentes a solicitações de alterações de engenharia, ou mesmo novas concepções de produto, no sentido de implementar o conceito de *Digital Thread*, e desta forma, contribuir para a efetiva integração digital de informações de projeto de produto e respectivo processo de fabricação e montagem em uma empresa da indústria automotiva. Dessa forma, o grau de adequação irá informar se um sistema produtivo é capaz, ou não é capaz de fabricar determinado produto.

1.1.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral proposto, o estudo deverá satisfazer os seguintes objetivos específicos:

O1. Identificar um contexto de aplicação (demonstração) da solução no cenário da Indústria Automobilística;

O2. Levantar e comparar as principais ferramentas computacionais e outras soluções já propostas para a integração das informações ao longo do PDP;

O3. Construir o artefato (i.e., modelo ontológico e método de aplicação);

O4. Demonstrar a aplicação do artefato por meio de provas de conceito no contexto da empresa parceira; e

O5. Avaliar o artefato quanto à sua eficiência, fidelidade de informações e aplicabilidade no ambiente de desenvolvimento de produtos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com o aumento da automação industrial, grande complexidade de produtos e processos de produção e tempos de colocação dos produtos no mercado cada vez mais curtos, o projeto de um produto e a seleção de processos de fabricação do mesmo devem ser tratados

simultaneamente, buscando-se a integração dos parâmetros do produto e dos parâmetros do plano de processo (KHALEEQ UZ ZAMAN et al., 2017).

As tecnologias de design e fabricação digital oferecem um excelente suporte para o PDP no contexto da CE, desde concepção até fabricação, vendas e serviços de um produto. No passado, seu desenvolvimento e evoluções eram impulsionados por avanços tecnológicos (i.e., novos, materiais, eletrônicos e softwares). No horizonte dos cenários atuais de fabricação, na era da Indústria 4.0, as tecnologias emergentes apontam para novas tecnologias de fabricação, como ICT's, tais como Sistemas Ciberfísicos, *Big Data*, *Internet of Things* (IOTs), *Digital Twin* e SMAC (*Social*, *Mobile*, *Analytics and Cloud*) (QIN; CHENG, 2017).

O futuro de projetos e da Manufatura Digital abrangerão os desafios e oportunidades da Indústria 4.0 de acordo com o fenômeno do SMAC (QIN; CHENG, 2017). Dessa forma, com a aplicação intensiva de tecnologias de informação e a implementação da abordagem DTh apresenta-se uma enorme oportunidade de integrar inteligentemente dados, informações e conhecimentos no desenvolvimento de produtos, na forma de um “tecido digital” capaz de criar um conjunto de modelos computacionais e atemporais capazes de direcionar e apoiar todas as etapas do ciclo de vida do produto, permitindo a melhoria da qualidade da informação, resultando em menores prazos e custos no desenvolvimento de novos produtos e maior satisfação do cliente final (ZWEBER et al., 2017).

Dessa maneira, o presente trabalho se mostra pertinente. A solução apresentada, composta por um modelo ontológico e um método de aplicação, se propõe a avaliar a adequação de sistemas produtivos existentes a solicitações de alterações de engenharia, integrando informações de processo e projeto, contribuindo para a avaliação digital e facilitando tomadas de decisão relativas a sistemas produtivos. O modelo ontológico descreve os sistemas de fabricação, o que facilita a configuração e simulação, bem como a recuperação, reutilização e gerenciamento de dados de projeto.

Além disso, garantir que se possua o conhecimento adequado relativo aos processos de fabricação desde o início do PDP faz com que as restrições de fabricação sejam levadas em conta, evitando problemas em etapas posteriores ao longo do CVP. A melhoria da eficiência do PDP, redução de custos, melhoria da qualidade de produto e aumento da produtividade seriam alguns dos benefícios alcançados com a utilização da solução.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em quatro capítulos. No primeiro capítulo, Introdução, apresenta-se o contexto do PDP na Indústria 4.0 e como as tecnologias vem sendo utilizadas

nesse processo de maneira a acelerar e otimizar o desenvolvimento de novos produtos. Nesse capítulo, ainda são apresentados os objetivos a serem alcançados com a realização da pesquisa e a justificativa que motivou o desenvolvimento desse trabalho. Em seguida, no Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica necessária para que o estudo seja compreendido. O capítulo seguinte apresenta os aspectos metodológicos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa. No Capítulo 4 o desenvolvimento do modelo proposto, sua demonstração e avaliação são apresentados. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais e conclusões sobre o trabalho, expõe as dificuldades encontradas durante o desenvolvimento da pesquisa e sugere recomendações para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica sobre o tema do presente trabalho e está dividido em sete seções. Na primeira seção apresenta-se o conceito de Manufatura Inteligente e Indústria 4.0. Em seguida, são expostos alguns modelos de referência do PDP, bem como a gestão de conhecimento nesses processos. Na sequência, a Seção 2.3 apresenta alguns conceitos sobre Engenharia de Requisitos. As seções seguintes apresentam as abordagens *Model Based Enterprise*, *Knowledge-Based Engineering* e *Ontology Engineering*. Por fim, destaca-se a abordagem *Digital Thread*. Dessa maneira, cumpre-se o objetivo de retratar todos os conceitos e definições necessários para a compreensão do presente trabalho.

2.1 MANUFATURA INTELIGENTE E INDÚSTRIA 4.0

A quarta revolução industrial foi precedida por outras três revoluções industriais, cada uma causou um impacto diferente na economia mundial, nas relações de trabalho e na utilização de diferentes tecnologias para a fabricação de novos produtos (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016). A **Figura 1** ilustra a evolução das tecnologias ao longo das revoluções industriais.

Figura 1 - Evolução das tecnologias ao longo das Revoluções Industriais



Fonte: Adaptado de Chung (2016).

A primeira revolução industrial surgiu com a introdução de facilidades mecânicas na produção. A adoção da eletricidade e da divisão do trabalho na indústria deu início à segunda revolução. Já a terceira revolução industrial, também chamada de “revolução digital”, incorporou técnicas avançadas de eletrônica e de tecnologia da informação para automação de processos produtivos (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Sendo considerada a quarta revolução industrial, a Indústria 4.0 é um movimento que incorpora os últimos avanços das tecnologias de informação e comunicação, e tecnologia

industrial, e que visa a melhoria da produtividade e eficiência do setor industrial (POSADA et al., 2015), liderada pela *Smart Manufacturing* (SM) (ZHOU; LIU; ZHOU, 2015). A quarta revolução industrial incorpora a inteligência artificial no contexto de fábrica e caracteriza-se por uma mudança de paradigma de processos de produção controlados de forma centralizada para descentralizada (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Além disso, a Indústria 4.0 considera também uma cadeia de suprimentos eficiente. Esses desafios exigem inovação e aprendizagem contínua, que dependem de pessoas e capacidades da empresa. Hermann et al. (2016) preveem que o impacto econômico dessa revolução industrial será enorme, uma vez que a Indústria 4.0 promete um aumento substancial da eficiência operacional, bem como o desenvolvimento de modelos, serviços e produtos inteiramente novos de negócios.

A indústria de manufatura vem enfrentando desafios constantes, no sentido de produzir produtos inovadores e em um curto prazo para o mercado. Para enfrentar esses desafios é necessário trocar informações em tempo real ao longo de todas as etapas do PDP (MOURTZIS; DOUKAS; BERNIDAKI, 2014). Dados digitais permitem o intercâmbio e o processamento automatizado das informações entre softwares. Atualmente, são eles o elo que liga os dados de processos de projeto e produção, e os mantém atualizados (HEDBERG et al., 2016).

A SM é a junção das capacidades avançadas de fabricação e das tecnologias digitais, e visa melhorar a produtividade, agilidade e sustentabilidade dos sistemas de fabricação, aplicando-se o conceito de sistema ciber-físico através da colaboração de elementos computacionais para controlar entidades físicas no ambiente de fabricação (HELU; HEDBERG, 2015). Para Kang et al. (2016), SM é a coleção de tecnologias de ponta que suportam a tomada de decisão de engenharia eficaz e precisa em tempo real através da introdução de várias ICTs em convergência com as tecnologias de fabricação existentes.

Nesse contexto, o PDP é realizado a partir do uso de diversas tecnologias. Essas tecnologias criam uma representação virtual de um produto, através da associação de diferentes tipos de fontes e documentos, proporcionando sua análise e otimização de desempenho (LEJON, 2016). Assim, como PDP é um fator crítico de sucesso para atender os requisitos do cliente, e devido a essa associação de diferentes informações vindas de diversas fontes, destaca-se a importância da gestão do conhecimento e da utilização dos modelos de referência como norteadores desse processo.

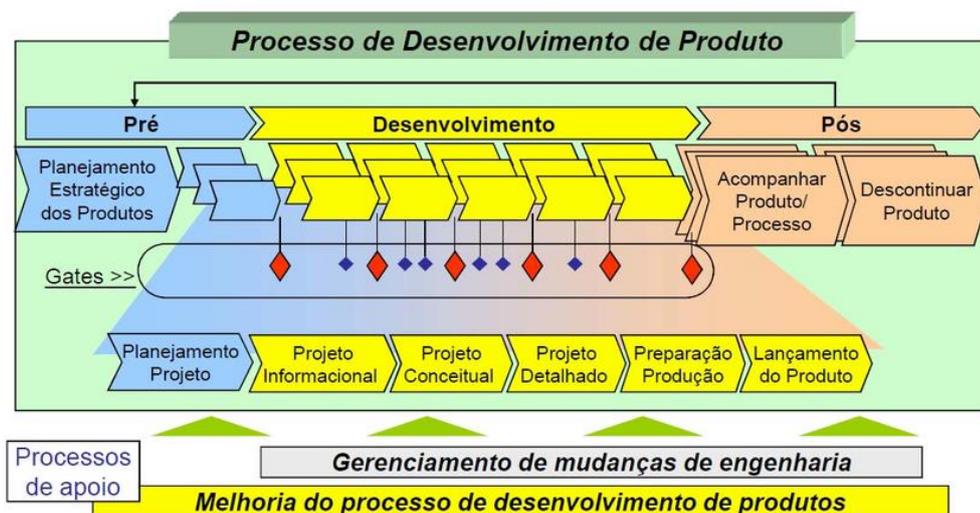
2.2 GESTÃO DO CONHECIMENTO E MODELOS DE REFERÊNCIA DO PDP

O PDP é um processo vital para todas as organizações, pois é através dele que as especificações de produto e processo de produção são definidas, considerando-se as necessidades de mercado, as especificações tecnológicas e as estratégias da empresa. Além disso, o PDP também é responsável por alocar e definir os recursos de manufatura (i.e., equipamentos e ferramentas). Esse processo possui um elevado grau de incertezas e riscos, por utilizar muitas informações vindas das mais diversas fontes da empresa (ROZENFELD et al., 2000).

Para estabelecer o fluxo de atividades do PDP, as empresas normalmente baseiam-se em modelos de referência genéricos. Modelos de referência são uma representação gráfica ou textual de um PDP ideal, que servem de base para a melhoria ou elaboração do PDP de uma determinada empresa. Esses modelos asseguram uma visão única do PDP para toda a empresa e a repetitividade dos processos de projeto (ROZENFELD et al., 2000). Há diversos modelos de referência como o proposto pelos Pahl et al. (2005), Back et al. (2008), Rozenfeld et al. (2000), entre outros.

O modelo de referência proposto por Rozenfeld et al. (2000) é dividido em três macrofases: (i) Pré-desenvolvimento; (ii) Desenvolvimento e (iii) Pós-Desenvolvimento. Essas macrofases são subdivididas em fases e atividades. Cada fase é determinada pela entrega de um conjunto de entregas (ou *deliverables*), seguidos de uma avaliação dos resultados entregues, e deve ser formalizada através de um processo conhecido como portal (*gate*). A Figura 2 ilustra este modelo.

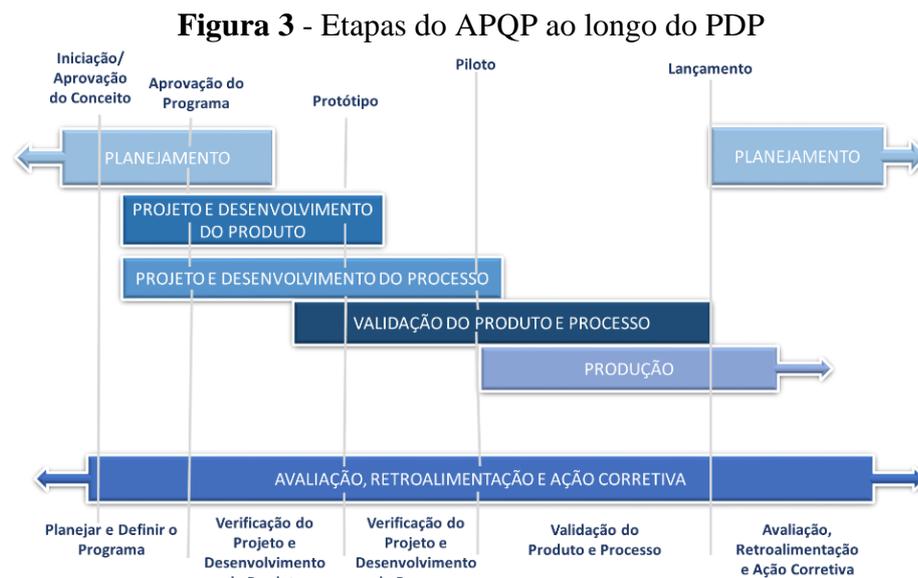
Figura 2 - Modelo de referência para PDP



Fonte: Rozenfeld et al. (2000).

Na indústria automotiva, utiliza-se o Planejamento Avançado da Qualidade do Produto (APQP). O APQP é um modelo estruturado para definir e realizar as ações necessárias e permitir o fluxo de informações entre as atividades e pessoas envolvidas em projetos (ROCHA; SALERNO, 2014). Essa ferramenta é exigida pela especificação da ISO/TS 16949 para a indústria automobilística, sendo definida pelo manual APQP da *Automotive Industry Action Group* (AIAG) (DOURADO; SILVA; SILVA, 2015).

O modelo APQP é um dos requisitos obrigatórios na entrega de produtos para as empresas dentro da cadeia automotiva, uma vez que funciona como guia no PDP. Sua aplicação é composta por cinco etapas que devem ser executadas em determinadas fases do PDP (Figura 3): planejamento, concepção do sistema de gestão, definição dos métodos de controle e aprovação do sistema de gerenciamento, análise crítica e melhorias. A aplicação desse modelo permite a identificação, análise e controle de risco do processo (SHOUMAN, M., 1994).



Fonte: Traduzido de Shouman, M. (1994).

O objetivo do APQP é conduzir o planejamento e execução do PDP, e validar o produto e o processo de produção. Identificar precocemente as mudanças necessárias no produto e no PDP, com menor custo e com atenção para requisitos do cliente, é uma das vantagens que podem ser obtidas com a utilização do APQP (CARBONE, 2005). Através da aplicação do APQP no PDP, espera-se que ao final do processo todas as atividades previstas estejam concluídas, garantindo assim a qualidade do produto.

Para um projeto de produto ser bem-sucedido, além de seguir um método, ele deve contar com a interação entre as diferentes equipes envolvidas. O envolvimento multifuncional no PDP depende da compreensão coletiva das tarefas exigidas em diferentes fases do processo.

Assegurar a comunicação entre as diferentes equipes e reutilizar o conhecimento existente dentro da empresa no PDP são fatores determinantes para o *time-to-market* de um novo produto. Recriar conhecimentos já utilizados para diferentes projetos é uma tarefa onerosa e demorada, o que mostra a importância de capturar e compartilhar conhecimentos já existentes entre os envolvidos no PDP, de forma que mais conhecimentos possam ser construídos, ou seja, possibilitar a inovação (GAO; BERNARD, 2017).

O conhecimento é chave para a inovação, sendo crucial para as organizações, pois permite obter vantagem competitiva sobre os concorrentes (BARRETT et al., 2015). Melhorar e criar formas de capturar e compartilhar o conhecimento entre as equipes de engenharia do PDP são fatores determinantes para as empresas aproveitarem esse recurso valioso e disponível. Gerenciar conhecimento integra as ações de identificar, capturar, avaliar, recuperar, manter e compartilhar todos os ativos de informação de uma empresa.(GAO; BERNARD, 2017).

Rozenfeld et al. (2000) afirmam que decisões importantes são tomadas logo no início do PDP, o que representa o comprometimento de cerca de 80% dos custos do produto nas etapas iniciais do processo. Para assegurar um bom desenvolvimento de produtos, faz-se necessário gerenciar as incertezas por meio do controle dos requisitos a serem atendidos, de uma análise de mercado robusta e assegurar a qualidade das informações ao longo do mesmo (ROZENFELD et al., 2000).

As áreas de fabricação e projeto de processos também devem cooperar desde as fases iniciais do PDP para garantir a viabilidade da produção do produto proposto (FLORÉN et al., 2018). A integração dos processos de desenvolvimento e de manufatura, o uso de simulações virtuais tanto de produto como do processo de produção reduz o tempo para um novo produto chegar ao mercado. O resultado é um retorno mais rápido das inovações. Técnicas de reuso do conhecimento no PDP fazem parte de um grupo de conceitos que moldam a manufatura no século XXI, seguindo as tendências que surgiram durante o aparecimento da chamada Indústria 4.0.

Assim, apresenta-se na seção seguinte a Engenharia de Requisitos e a transferência do conhecimento no processo de definição de requisitos de engenharia ao longo do processo de desenvolvimento de produto, uma vez que são os requisitos que guiam as atividades do PDP.

2.3 ENGENHARIA DE REQUISITOS

A Engenharia de Requisitos (RE - do inglês *Requirements Engineering*), por sua vez, possui um papel vital dentro do ciclo de vida do PDP, pois o desempenho e a aceitação de um produto no mercado dependem da forma como a RE é integrada ao desenvolvimento do

produto. Conforme Persen et al. (2016), os requisitos do produto têm muitas finalidades no PDP, e destinam-se a capturar e facilitar o atingimento das metas e critérios do produto e sua aceitação no mercado.

Portanto, Hauksdóttir, Mortensen e Nielsen (2014) definem RE como o processo pelo qual os requisitos dos produtos ou sistemas são definidos, através da descoberta das necessidades dos envolvidos, compreensão do contexto em que os requisitos são propostos, modelagem, negociação, validação, registro e gestão desses requisitos.

Para Dias et al. (2016) o RE visa capturar, analisar, validar, refinar, documentar e gerir requisitos para o desenvolvimento de um produto utilizando ferramentas que forneçam a assistência necessária na identificação e gestão de requisitos no processo de detalhamento do produto. Cabe salientar também que essas funções da RE ocorrem de maneira interativa e recursiva devido às mudanças que ocorrem durante o PDP (DIAS et al., 2016).

A transformação das necessidades dos clientes e outros fatores em requisitos bem definidos é chamada de clarificação. Esta transformação das necessidades dos clientes em especificações pode ser vaga e ambígua, por isso os requisitos devem ser especificados e documentados, e todos os parâmetros, restrições e propriedades do produto devem ser devidamente descritos. A especificação de requisitos permite ao desenvolvedor criar uma concepção de produto e constitui a base da relação entre a empresa desenvolvedora e cliente, podendo essa especificação ser revisada a qualquer momento durante o PDP (REICHEL et al., 2011).

Além de requisitos originados das necessidades dos clientes, os requisitos do produto também devem levar em conta restrições relacionadas a: segurança (i.e., confiabilidade e disponibilidade); ergonomia e estética; produção; controle de qualidade (através do projeto e processo de fabricação); montagem; transporte; operação; manutenção; despesas; e, sustentabilidade (PAHL; BEITZ, 2013).

A transferência eficaz e eficiente de conhecimento no processo de definição de requisitos de engenharia é crucial para o sucesso do desenvolvimento do produto. No entanto, essa transferência é desafiadora, já que os requisitos muitas vezes não são tangíveis e o conhecimento sobre eles é, na maioria das vezes, tácito (DISTANONT; HAAPASALO; VAANANEN, 2014).

Nesse sentido, as principais dificuldades no desenvolvimento de produtos têm sido a falta de conhecimento de todo o ciclo de vida pelos desenvolvedores, a falta de clareza no pedido dos clientes e a má comunicação (LUFT; WARTZACK, 2012; DIAS et al., 2016). Todos os projetos exigem alguma troca de informações dentro e fora das organizações,

principalmente nas primeiras fases do ciclo de vida do produto, porém muitas vezes ocorre a perda da fidelidade das informações por questões relacionadas a falta de formalização deste intercâmbio (FAVARO et al., 2012; KNAUSS et al., 2014; YAMAN; ZHU; ROY, 2014; PERNSTÅL et al., 2015).

Dessa maneira, a próxima Seção apresenta os conceitos de MBE que engloba todas as definições de produto e garante a representação digital de todos os atributos que permitem a sua fabricação.

2.4 MODEL-BASED MANUFACTURING ENTERPRISE

A Empresa de Manufatura Baseada em Modelos (i.e. *Model-Based Manufacturing Enterprise* - MBME) é uma organização em que se utilizam tecnologias de simulação e modelagem para gerenciar e integrar seus processos técnicos e de negócios relacionados a concepção, produção e suporte de produtos (HEDBERG et al., 2016).

Alcança-se a otimização de cada etapa do ciclo de vida de um produto por meio de ferramentas de simulação e análise, bem como via modelos de produto e processo, para definição, controle e gerenciamento de todas as ações da empresa. Tem-se por otimização a redução substancial de tempo e outros custos envolvidos em ações de inovação, desenvolvimento, fabricação e suporte do produto (FRECHETTE, 2011).

Um modelo é uma representação da estrutura, da operação e do comportamento de um sistema do mundo real. Ele auxilia a integração das informações de um produto e/ou processo, permitindo a transferência de dados entre sistemas de engenharia e negócios, através da representação digital de todos os atributos que permitem a fabricação, utilização e suporte de um produto (LUBELL et al., 2012). Para que uma empresa baseada em modelos seja bem-sucedida, o modelo deve ser a base de dados central para colaboração entre processos empresariais. Além disso, ele deve englobar a definição completa de produto e ser totalmente neutro de aplicação (FRECHETTE, 2011).

O princípio básico do MBME é de que as informações são criadas uma vez e reutilizadas diretamente por todos os consumidores. Existem muitos tipos de modelos utilizados em processos empresariais, por isso é fundamental entender as relações entre as funções dos diferentes ambientes da organização a fim de se obter uma implementação bem sucedida de manufatura baseada em modelos (HEDBERG et al., 2016).

O MBME é baseado no conceito de Definição Baseada em Modelos (MBD, *Model-Based Definition*), o qual pode ser definido como um conjunto de dados que compreende a geometria 3D do modelo e suas anotações (LUBELL et al., 2012). As anotações especificam a

fabricação e dados de suporte ao ciclo de vida, conhecidos como *Project Management Information* (PMI), que podem incluir dimensões geométricas e tolerâncias, especificações de materiais e processos, e inspeção de requisitos. A descrição técnica completa de um produto é conhecida como Pacote de Dados Técnicos (TDP) e consiste em modelos, PMI, desempenho requisitos, documentação, informações de embalagem e outros detalhes. As anotações PMI normalmente incluem símbolos (como dimensões e tolerâncias), e notas em formato textual (CAMBA et al., 2017). Para representar produtos de maneira completa pode-se utilizar sistemas KBE, os quais complementam a abordagem MBE.

2.5 KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS

KBE é um dos sistemas baseados em conhecimento (KBS – do inglês *Knowledge-Based Systems*) referentes a integração dos domínios de projeto e fabricação de um produto (REDDY; SRIDHAR; RANGADU, 2015). Para Chapman e Pinfold (1999), esses sistemas objetivam a captura de informações de produtos e processos de maneira a permitir que as empresas modelem seus processos de projeto de engenharia e utilizem um modelo para automatizar parte ou todo esse processo.

O objetivo da KBE é orientar os projetistas com a aplicação de técnicas de engenharia do conhecimento e Inteligência Artificial (AI). Dessa forma, KBE é um sistema dedicado que pode adquirir, armazenar, reutilizar os requisitos de um produto e processar o conhecimento de engenharia de forma mais eficiente (REDDY; SRIDHAR; RANGADU, 2015).

Os sistemas KBE devem dar ênfase no fornecimento de representações de produtos, através da captura de informações completas em um modelo de produto. O modelo de produto, por sua vez, é uma representação interna de engenharia, e pode conter informações sobre o produto e os processos que criam o produto. Os atributos desse modelo podem descrever geometria, restrições funcionais, tipo de material e processos, bem como os métodos necessários para analisar, fabricar e custear o produto. O sistema KBE também pode usar informações fora do seu ambiente, como bancos de dados e programas de empresas externas (CHAPMAN; PINFOLD, 1999).

Os sistemas KBE são capazes de explorar os conhecimentos de processos e engenharia de produtos reduzindo o tempo e os custos de desenvolvimento de produtos (LA ROCCA, 2012). O KBE inclui inerentemente o desenvolvimento de sistemas informáticos que ajudem os engenheiros a aumentar a eficiência de seus trabalhos, aumentando o nível de automação no PDP (FURINI; ROSSONI; COLOMBO, 2016).

A fim de justificar a implementação de sistemas KBE, alguns pesquisadores propuseram que métodos fossem utilizados. Um desses métodos é o KNOMAD (*Knowledge Nurture for Optimal Multidisciplinary Analysis and Design*), proposto por Curran et al. (2010), tem como base o método MOKA (*Methodology and Tools Oriented to Knowledge-based Applications*), e é composto por seis etapas: (i) captura do conhecimento; (ii) normalização; (iii) organização; (iv) modelagem; (v) análise; e (vi) entrega.

O método KNOMAD possui uma utilização analítica, desenvolvimento e evolução do conhecimento multidisciplinar de projeto e produção; posicionar o KBE dentro do processo de desenvolvimento; capturar, formalizar e entregar o conhecimento a fim de manter as aplicações KBE; e, enfatizar e abordar o papel do usuário (CURRAN et al., 2010).

No contexto do desenvolvimento de uma aplicação de KBE, um dos desafios iniciais encontrados é a captura do conhecimento. Existem diferentes maneiras de auxiliar na elicitação do conhecimento. Segundo Gavrilova e Andreeva (2012), as formas mais adequadas para se capturar conhecimento explícito e tácito são os métodos de entrevistas, questionários, *storytelling*, mesa redonda e *brainstorming*. A utilização de questionários está associada ao conhecimento explícito (i.e., verbalizado/formalizado), já os demais métodos mencionados tornam possível a captura do conhecimento tácito (i.e., conhecimento que um projetista adquiriu ao longo do tempo).

No entanto, faz-se necessário, também estruturar o conhecimento adquirido através da utilização destes métodos, com o intuito de possibilitar seu uso e rastreabilidade. Para isso, o produto deve ser representado de maneira comum entre todas as partes interessadas do sistema. Uma das maneiras de estruturar o conhecimento de maneira formal é através do uso de ontologias.

2.6 ONTOLOGY ENGINEERING

Entre os diferentes modos de representar o conhecimento de maneira formal, um dos mais utilizados é *Ontology Engineering* (OE), que representa a aplicação da ontologia ao campo de engenharia (FURINI; ROSSONI; COLOMBO, 2016). De acordo com Gruber (1993), ontologias são 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.

Segundo Staab e Studer (2010), ontologias são um tipo especial de objeto de informação ou artefato computacional. Além disso, as ontologias computacionais são um meio para

modelar formalmente a estrutura de um sistema, ou seja, entidades relevantes e as relações que surgem de sua observação e que são úteis para um determinado fim específico.

A OE é utilizada para representar conceitos em um domínio e requer a definição de um vocabulário específico sobre um campo de interesse, com a definição de termos em diferentes níveis de formalidade e a especificação das relações entre esses termos. A OE aplicada à engenharia industrial foi considerada em vários estudos, os quais referem-se à identificação de linguagens e vocabulários comuns para a colaboração entre entidades pertencentes a diferentes ramos (STAAB; STUDER, 2010).

Para a construção de uma ontologia, faz-se necessária a utilização de uma linguagem formal. A linguagem OWL (*Web Ontology Language*) é uma linguagem de Web Semântica capaz de representar conhecimentos ricos e complexos, tendo sido criada com base na RDF (*Resource Description Framework*), e tem como objetivo criar documentos capazes de serem processados tanto por máquinas quanto por humanos (STAAB; STUDER, 2010). Algumas ferramentas baseadas em ontologia foram desenvolvidas para descrever os sistemas de fabricação para facilitar sua configuração e simulação e facilitar a recuperação, reutilização e gerenciamento de dados de projeto (FURINI; ROSSONI; COLOMBO, 2016).

Para o desenvolvimento de uma ontologia, é necessária a utilização de ferramentas para representação e edição dos modelos. Atualmente, existem várias ferramentas computacionais para a construção de ontologias, como: OntoStudio, OntoEdit, Swoop, Apollo e Protégé.

A ferramenta Protégé, disponibilizada gratuitamente pela Stanford University na internet (<https://protege.stanford.edu/>), vem sendo amplamente utilizada nos últimos anos para aquisição de conhecimento e construção de ontologias de domínio. Ela possui uma interface customizável e uma arquitetura de *plug-ins* eficiente e capaz de se integrar a outros aplicativos.

No Protégé 5.2.0, estão disponíveis os *reasoners* HermiT 1.3.8.413, ELK 0.4.3, Ontop 1.18.1, Pellet, Jcel e Fact++, os quais são as máquinas de inferências capazes de derivar novas informações a partir de dados existentes na ontologia. Horridge (2011) considera o *reasoner* Pellet o mais completo e capaz de inferir relações mais complexas. Essa realização de inferências é um dos maiores ganhos da utilização de modelos ontológicos, já que torna possível compreender relações existentes entre classes ou indivíduos a partir de informações atribuídas a essas classes ou indivíduos.

Realizar buscas em um modelo ontológico é importante no contexto da Web Semântica, uma vez que através das buscas (*queries*) os usuários podem interagir com as ontologias e dados. Diversas linguagens foram projetadas para essa finalidade, como RDQL, SeRQL e SPARQL. A linguagem SPARQL foi implementada no *reasoner* Pellet e suporta uma variedade

de filtros, construídos a partir dos termos RDF, variáveis e funções (KOLLIA; GLIMM; HORROCKS, 2011).

As ontologias também permitem a interoperabilidade semântica. A capacidade que um sistema possui de compartilhar e trocar informações é chamada de interoperabilidade (MUCHERONI; DA SILVA; MODESTO, 2011). A interoperabilidade semântica é orientada à descrição dos recursos de informação para facilitar o intercâmbio e a recuperação das informações pelos usuários (BOTERAM, 2010). Essas informações geralmente são provenientes de documentos e compostas por vocabulários controlados, padrões de metadados e ontologias. Esses modelos ontológicos devem ser capazes de entender modelo o que o usuário faz do mundo, bem como seus significados e também os modelos por trás das fontes de informações. Assim, as ontologias inseridas na interoperabilidade semântica definem os termos e suas relações a partir de um vocabulário específico da área do domínio representado, assim como as regras de combinação dos termos e suas relações (MUCHERONI; DA SILVA; MODESTO, 2011).

Deve-se utilizar um método para a construção de um modelo ontológico. Um desses métodos é o Método 101, o qual dá ênfase em atividades de desenvolvimento, especialmente a implementação da ontologia e é utilizado em conjunto com a ferramenta Protégé (SILVA; SOUZA; ALMEIDA, 2013).

2.6.1 Método 101 para construção de ontologias

Proposto por Noy e McGuinness (2001), o Método 101 é composto por sete etapas que devem ser seguidas para a construção de um modelo ontológico. A primeira etapa de construção da ontologia, através deste método, corresponde a determinação do domínio e do escopo da ontologia. Assim, são propostas algumas questões básicas a fim de determinar qual o domínio a ontologia irá cobrir, para que fim ela será utilizada, para quais tipos de questões as informações obtidas na ontologia irão trazer respostas e quem irá utilizar e atualizar a ontologia. Durante a construção da ontologia, as respostas para essas questões podem mudar, todavia são importantes a medida que auxiliam a limitar o escopo durante todo o processo de desenvolvimento do modelo.

Outra forma de determinar o domínio e o escopo de uma ontologia é através das questões de competência (GRÜNINGER, 1995). As questões de competência são a base do conhecimento que o modelo ontológico deve ser capaz de responder e devem ser determinadas entre as etapas de Definição dos Resultados Esperados e Desenvolvimento da Solução.

Na segunda etapa do Método 101, deve-se considerar o reuso de ontologias já existentes, ou seja, identificar se há alguma ontologia que já tenha sido desenvolvida e que possa ser refinada, complementada e utilizada para o domínio e objetivo em questão. Esses trabalhos podem ser encontrados em formato eletrônico, em bibliotecas de ontologias na internet e podem ser importados para um editor de ontologias.

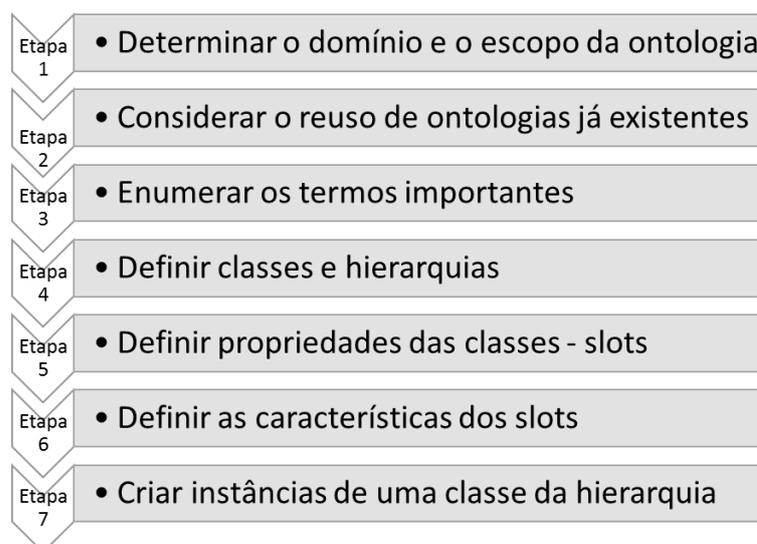
Enumerar os termos importantes da ontologia é o terceiro passo do Método. Deve-se considerar a criação de uma lista com os principais termos, que devem estar presentes na ontologia para utilizar em definições e ajudar no entendimento da solução pelo usuário. Dessa forma, nas etapas seguintes, os termos enumerados podem auxiliar a descrever características, classificações, propriedades e relações entre os itens representados.

A quarta etapa baseia-se na definição de classes e hierarquias. Existem várias maneiras de se construir a hierarquia entre classes. O processo de desenvolvimento de hierarquias *top-down* se inicia com a definição do conceito mais geral do domínio que está sendo representado e subsequente especialização dos conceitos. Já o processo *bottom-up* inicia seu processo a partir da classe mais específica seguido de um agrupamento dessas classes em grupos mais genéricos. Há ainda o processo de desenvolvimento de classes e hierarquias que combina o *top-down* e o *bottom-up*, chamado de *combination*. Nesse processo, primeiramente os termos e conceitos mais importantes são definidos e posteriormente ocorre a generalização e especificação dos mesmos.

A etapa seguinte do Método 101 baseia-se na definição das propriedades das classes – *slots*. Apenas classes sozinhas não fornecem informações necessárias para responder as questões de competências definidas na primeira etapa. Assim, após definidas as classes, necessita-se descrever a estrutura interna dos conceitos.

Definir as características dos *slots* é o sexto passo do Método. As classes podem conter diversas características para descrever valores, valores permitidos, quantidade de valores e outras características que um *slot* pode conter.

O último passo para a construção da ontologia pelo Método 101 é criar instâncias individuais de uma classe da hierarquia. Para definir uma instância individual de uma classe é necessário: escolher a classe, criar a instância individual da classe e preencher os valores das propriedades. A Figura 4 apresenta as etapas do Método 101 de maneira esquematizada.

Figura 4 - Etapas Método 101

Fonte: Adaptado de Noy e McGuinness (2001).

Outro aspecto importante é que o processo de construção de uma ontologia é interativo, ou seja, requer que atividades já realizadas sejam analisadas novamente e adaptadas. Além desse aspecto, avaliar a o modelo ontológico construído é extremamente necessário (VRANDEČIĆ, 2009).

2.6.2 Avaliação de ontologias

A avaliação ontológica pode ser definida como o processo de decisão sobre a qualidade de desempenho de uma ontologia em relação a critérios específicos (HLOMANI e STACEY, 2014; DEGBELO, 2017). O objetivo do processo de avaliação é determinar o que a ontologia define corretamente, o que ela faz de maneira incorreta e o que não faz (STAAB; STUDER, 2010).

Apesar de existirem diversos métodos para avaliar ontologias, eles devem levar em consideração diferentes perspectivas, podendo ser agrupados de acordo com seus objetivos (FERNÁNDEZ-BREIS; ARANGUREN; STEVENS, 2009). Esses métodos podem ser agrupados em dois grandes grupos: *(i)* métodos de verificação, referem-se a garantir que a ontologia tenha sido construída de maneira correta, de acordo com suas propriedades estruturais; e *(ii)* métodos de avaliação, que visam a definição correta da ontologia para o propósito pelo qual ela foi criada, analisando características como usabilidade, confiabilidade e funcionalidade (GOMEZ-PEREZ; FERNANDEZ-LOPEZ; CORCHO, 2004).

Diversos critérios podem ser considerados na avaliação de uma ontologia, contudo não é necessário considerar todos os critérios na avaliação. Cabe ao avaliador selecionar os critérios

mais adequados para cada caso, Gómez-Pérez (2001) e Vrandečić (2009) sugerem cinco critérios para se avaliar ontologias, são eles: (i) coerência, que visa descobrir se é possível obter conclusões contraditórias a partir de definições explícitas presentes na ontologia; (ii) completude, visa apontar se a ontologia não possui definições incompletas; (iii) concisão, para assinalar se não existem definições desnecessárias e inúteis; (iv) capacidade de expansão, relativa ao esforço necessário para se adicionar novas definições ou mais conhecimento à ontologia, sem alterar o conjunto de propriedades já definidas; e (v) sensibilidade, refere-se a como pequenas mudanças de definição podem alterar propriedades que já estão bem definidas.

Fortuna, Grobelnik e Mladeníc (2006) classificam as propostas de avaliação de ontologias em quatro classes. São elas: (i) baseadas em comparação da ontologia com um modelo padrão (*gold standard*); (ii) baseadas na utilização da ontologia em uma aplicação e avaliação dos resultados; (iii) comparadas com fontes de dados não estruturados sobre o domínio da ontologia; (iv) avaliadas por humanos através de padrões predefinidos (LAMPOLTSHAMMER; HEISTRACHER, 2014).

Os critérios relevantes para avaliação do projeto de desenvolvimento de ontologias são: (i) precisão (representação correta dos aspectos do mundo real); (ii) adaptabilidade (facilidade de realizar alterações); (iii) clareza (comunicação efetiva do aspecto pretendido); (iv) adequação cognitiva (correspondência entre semântica formal e cognitiva); (v) completude (cobertura apropriada do domínio); (vi) concisão (ausência de axiomas desnecessários); (vii) consistência (incapacidade de obter conclusões contraditórias); (viii) expressividade (número de questões de competências que a ontologia é capaz de responder); (ix) fundamentação (número de suposições feitas pela ontologia sobre a realidade) (GRUBER, 1993; GÓMEZ-PÉREZ, 2004; GANGEMI et al., 2006; OBRST et al., 2007; VRANDEČIĆ, 2009; LAMPOLTSHAMMER; HEISTRACHER, 2014; RAAD; CRUZ, 2015; DEGBELO, 2017b).

O padrão ISO 9126 (2000) representa um padrão internacional para verificação da qualidade de um software e baseia-se em métricas de qualidade internas, externas e de uso do modelo como: confiabilidade, funcionalidade, portabilidade, usabilidade, facilidade de manutenção, eficácia, eficiência, produtividade, segurança física e satisfação do usuário. Os aspectos internos devem ser avaliados durante o processo de desenvolvimento da ontologia, pois se referem a ontologia propriamente dita. Por outro lado, os aspectos externos são ligados ao comportamento do modelo e devem ser avaliados nas etapas finais do seu desenvolvimento, antes do lançamento da ontologia. Já os aspectos de uso necessitam ser avaliados após o lançamento do modelo para corrigir possíveis erros e para sua manutenção (FERNÁNDEZ-BREIS; ARANGUREN; STEVENS, 2009).

Fernández-Breis, Aranguren e Stevens (2009) propõem uma estrutura de avaliação baseada em sete dimensões associadas às métricas do padrão ISO 9126 (2000) de avaliação de qualidade de software. As sete dimensões são:

- Estrutural – considera fatores da qualidade de software (consistência, formalização, redundância ou entrelaçamento);
- Funcionalidade - como a ontologia funciona em seus papéis pretendidos;
- Confiabilidade - capacidade de manter seu nível de desempenho;
- Usabilidade - legibilidade e facilidade de reutilização;
- Eficiência - relação entre o nível de desempenho do software e a quantidade de recursos utilizados;
- Manutenção - esforço necessário para realizar modificações especificadas;
- Qualidade em uso - qualidade em um contexto de uso, fornecido pelos usuários.

A avaliação do modelo quanto a dimensão Estrutura considerou a análise da ontologia sob os seguintes critérios: acurácia, coesão, consistência e integralidade. Afirmar que uma taxonomia é coerente significa dizer que os axiomas definidos são consistentes do ponto de vista lógico e que os itens inferidos estão corretos. De outro lado, uma taxonomia coesa refere-se a como os elementos da ontologia estão relacionados entre si, indicando que existe uma forte relação entre classes (VRANDEČIĆ, 2009).

A dimensão Funcionalidade refere-se a como um modelo ontológico executa suas funções pretendidas. De acordo com Fernández-Breis, Aranguren e Stevens (2009), deve-se levar em conta os seguintes critérios para avaliação dessa dimensão: capacidade de inferência, representação dos resultados e buscas consistentes.

A Confiabilidade de um modelo ontológico é definido como sendo a capacidade da ontologia em manter seu nível de performance sob determinadas condições por um determinado período de tempo (FERNÁNDEZ-BREIS; ARANGUREN; STEVENS, 2009). Desse modo, para avaliar esta dimensão levou-se em conta os critérios relacionados a robustez e maturidade técnica.

A avaliação da Usabilidade do modelo refere-se a compreensão dos objetivos da ontologia pelo usuário, sendo sua avaliação realizada através dos critérios reuso e clareza (FERNÁNDEZ-BREIS; ARANGUREN; STEVENS, 2009). Dessa maneira, a usabilidade do modelo deve ser avaliada pelos usuários, os quais devem indicar se a ontologia apresenta qualidade em um determinado contexto de uso.

A dimensão Manutenção de um modelo refere-se ao esforço necessário para realizar alterações específicas na ontologia e pelo modo como essas modificações afetam a ontologia como um todo (FERNÁNDEZ-BREIS; ARANGUREN; STEVENS, 2009). Como critérios dessa dimensão para avaliação da ontologia tem-se: mutabilidade e capacidade de ser testada.

A Qualidade de uso do modelo, assim como a Estrutura e Usabilidade, foi avaliada pelos usuários. Ela visa indicar se a ontologia apresenta qualidade em um determinado contexto de uso e deve ser avaliada de acordo com os critérios de satisfação dos usuários e efetividade (FERNÁNDEZ-BREIS; ARANGUREN; STEVENS, 2009).

A dimensão Eficiência avalia a relação entre o nível de performance do software e a quantidade de recursos utilizados, ou seja, considera o tempo de resposta e o consumo de memória, sob condições previamente determinadas (FERNÁNDEZ-BREIS; ARANGUREN; STEVENS, 2009).

Existem diversos métodos que buscam avaliar a taxonomia das ontologias. Um desses métodos é o OntoMetric. Ele apresenta um conjunto de processos que devem ser realizados a fim de auxiliar na escolha de uma ontologia existente para um novo projeto. Esse método compara a importância dos objetivos do projeto e estuda as características das ontologias, apresentando de maneira quantitativa a adequação da ontologia ao projeto. Todavia, esse método só pode ser empregado antes do desenvolvimento da ontologia para ajudar a justificar decisões tomadas e avaliar as vantagens e riscos envolvidos na escolha de uma ontologia (HARTMANN et al., 2005).

Outro método que busca avaliar ontologias é o OntoClean. Esse método foi desenvolvido baseado em uma noção filosófica para avaliar formalmente as estruturas taxonômicas. A metodologia baseia-se em quatro noções ontológicas fundamentais: rigidez, unidade, identidade e dependência (HARTMANN et al., 2005). O OntoClean é capaz de fornecer percepções úteis acerca dos modelos semânticos, porém não permite inferir nada sobre as condições do uso da ontologia em análise (POVEDA VILLALÓN, 2016).

Há também algumas ferramentas para avaliação de ontologias. Uma dessas ferramentas é a OntoManager, desenvolvida com o objetivo de auxiliar os desenvolvedores de ontologias para gerenciar e otimizar os modelos de acordo com as necessidades dos usuários. Essa ferramenta é implementada quando a ontologia já está em uso, pois utiliza-se do modelo MAPE (monitorar, analisar, planejar, executar), o qual coleta e analisa os dados, elabora um plano de ação e o executa, criando um ciclo contínuo envolvendo usuários e desenvolvedores. Uma das suas principais funções é a verificação da satisfação das necessidades dos usuários (HARTMANN et al., 2005).

Outra ferramenta é a ODEval que possui como objetivo determinar inconsistências e redundâncias nas taxonomias conceituais da ontologia. Ela avalia taxonomias de conceito RDF (S), DAML + OIL e OWL do ponto de vista da representação de conhecimento. Esta ferramenta destina-se em ajudar os desenvolvedores de ontologias a projetá-las sem anomalias em tais linguagens e ajudar engenheiros de ontologia a reutilizá-las sem problemas em suas taxonomias conceituais. (HARTMANN et al., 2005).

A ferramenta ODEval utiliza um conjunto de algoritmos, baseados em gráficos, para detectar problemas (inconsistências e redundâncias) nos conceitos das taxonomias de uma ontologia. A ferramenta considera o conceito de taxonomias como um gráfico $G(V, A)$, onde V é o conjunto de nós e A é o conjunto de arcos direcionados. Dessa maneira, os elementos incluídos em V e A são diferentes dependendo do idioma e do tipo de problema que se deseja detectar (HARTMANN et al., 2005). Para uma ontologia desenvolvida em linguagem OWL, o conjunto V do gráfico contém classes nomeadas e anônimas e instâncias, já o conjunto A do gráfico $G(V, A)$ representa as relações entre as classes e instâncias.

Além dessas ferramentas, pode-se citar a ferramenta OOPS! a qual escaneia ontologias automaticamente a fim de procurar potenciais erros de modelagem. Essa ferramenta é descrita em detalhes.

2.6.3 Ferramenta OOPS!

A ferramenta OOPS! busca auxiliar os desenvolvedores de ontologias durante as atividades de análise através da identificação de possíveis erros de modelagem. Esses erros, chamados de armadilhas pela ferramenta, são divididos em seis categorias: dimensão estrutural, dimensão funcional, dimensão de usabilidade, consistência, completude e concisão. OOPS! é muito útil durante a etapa de validação da ontologia. Sua principal funcionalidade é analisar ontologias através da URL ou RDF e informar quais elementos são afetados por armadilhas ou erros de sintaxe (POVEDA-VILLALÓN; SUÁREZ-FIGUEROA, 2012).

A ferramenta é gratuita e pode ser executada de maneira independente de plataformas de desenvolvimento de ontologias, sem a necessidade de instalação e podendo ser executada em qualquer navegador de internet (POVEDA-VILLALÓN; GÓMEZ-PÉREZ; SUÁREZ-FIGUEROA, 2014).

OOPS! possibilita o diagnóstico da taxonomia de ontologias de maneira semiautomática e baseia-se em um catálogo com as principais “armadilhas” encontradas ao se desenvolver uma ontologia. Esse catálogo contém cerca de 40 tipos de armadilhas organizadas em subconjuntos. A ferramenta permite selecionar o subconjunto de armadilhas a ser analisado de acordo com as

diferentes dimensões de avaliação, e também fornece um indicador (crítico, importante, menor) para cada armadilha de acordo com suas possíveis consequências negativas no modelo (POVEDA-VILLALON; SUÁREZ-FIGUEROA, 2012).

Para produzir essa lista de avaliação, o sistema recebe a ontologia a ser analisada através de seu URI ou pelo código OWL, em linguagem RDF, que descreve o modelo. Assim, uma vez que a ontologia é analisada utilizando o Jena API, o *Pitfall Scanner*, módulo que inspeciona a ontologia declarada sob ponto de vista das armadilhas disponíveis no catálogo, os possíveis erros são detectados. Na sequência, o módulo *Suggestion Scanner* faz algumas sugestões de modelagem. Então, os resultados da avaliação são fornecidos e incluem: a lista de armadilhas detectadas, os elementos da ontologia afetados e explicações que descrevem os erros encontrados (GÓMEZ-PÉREZ, 2004).

Por fim, é fornecido ao usuário um quadro de conformidade indicando se a ontologia está livre de armadilhas, se pequenas armadilhas foram detectadas, se armadilhas importantes foram detectadas ou se armadilhas críticas foram detectadas. O principal objetivo desse quadro é incentivar os desenvolvedores a melhorarem suas ontologias até que um quadro de conformidade satisfatório para o objetivo da ontologia seja fornecido (GÓMEZ-PÉREZ, 2004)

OOPS! vem sendo utilizado por desenvolvedores de mais de 50 países, foi incorporado em desenvolvimentos de software e utilizado por várias empresas, suportando tanto processos de desenvolvimento de ontologias quanto atividades de treinamento. Como exemplo de uso da ferramenta, pode-se citar o repositório de ontologias *OntoHub* que tem seus recursos de avaliação suportados por essa ferramenta, e o projeto *READY4SmartCities* (catálogo de ontologias para cidades inteligentes e domínios relacionados) que como parte de sua funcionalidade oferece o resultado de avaliação para cada ontologia fornecido pela OOPS!.

Além dos modelos ontológicos, os quais representam o conhecimento de maneira formal, destaca-se também a contribuição do conceito de “fio digital” (do inglês – *Digital Thread*) que se refere à estrutura de comunicação que permite conectar todos esses dados, auxiliando as empresas a responderem às exigências do mercado, conectando toda a organização com informações em tempo real.

2.7 DIGITAL THREAD

Os avanços tecnológicos da informação criaram uma revolução digital. Até pouco tempo atrás, a maioria das atividades de engenharia e fabricação baseava-se em documentos impressos e digitais para direcionar os processos de fabricação. No entanto, com a revolução digital surgiu também o termo "fio digital" (i.e. *Digital Thread*) que é utilizado para transmitir

os fluxos de dados entre engenharia, fabricação, processos de negócios e entre as cadeias de suprimentos. DTh é um conceito em expansão que está sendo explorado em muitos domínios, incluindo aeroespacial, automotivo e saúde (BEN MILED; FRENCH, 2017).

O termo DTh teve sua origem na indústria aeroespacial, com a finalidade de descrever um processo integrado de engenharia de sistemas e gerenciar digitalmente todos os processos, desde o projeto 3D em CAD dos componentes do sistema, até a fabricação, montagem e entrega do sistema (ZWEBER et al., 2017).

Para Kraft (2016), DTh é uma estrutura analítica que abrange toda a empresa, configurável e capaz de controlar a interação de dados, informações e conhecimento nos sistemas de informação e dados da empresa, para informar tomadores de decisão ao longo do ciclo de vida de um produto, fornecendo a capacidade de acessar e transformar diferentes dados em informações úteis. Já para Mies, Marsen e Warde (2016), o termo "fio digital" é comumente utilizado para descrever o processo de "digitalização" com o qual muitas empresas estão respondendo a pressões do mercado, transformando sua cadeia de suprimentos, processos de fabricação e peças em dados.

Devido à grande variedade de dados disponíveis e decisões que são tomadas ao longo do ciclo de vida do produto, uma ampla gama de ferramentas de análise precisa estar disponível no DTh (WEST; PYSTER, 2015). Para utilizar a abordagem DTh são necessárias mudanças culturais que assegurem políticas de governança para captura de dados, plataformas de colaboração, negociação de direitos de propriedade intelectual e acesso controlado a dados (MIES; MARSDEN; WARDE, 2016).

As definições e conceitos apresentados auxiliam na compreensão deste trabalho. A seção seguinte apresenta a abordagem metodológica utilizada nesse estudo, de maneira a atingir os objetivos propostos.

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo apresenta-se a caracterização da pesquisa proposta e os procedimentos empregados. A Seção 3.1 traz a caracterização da metodologia de pesquisa utilizada nesse projeto, seguida pela Seção 3.2, onde a abordagem metodológica é apresentada, e por fim, na Seção 3.3 o procedimento metodológico adotado é descrito.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Pesquisas prescritivas tem como objetivo propor melhorias e soluções para um problema, buscando compreender e descrever determinados fenômenos, analisando valores reais para o desenvolvimento de teorias ou hipóteses (HEVNER; CHATTERJEE, 2010, p.46). Enquanto pesquisas de caráter descritivo visam fornecer um diagnóstico sobre o problema motivador da pesquisa, sendo o problema e não a solução o objeto de pesquisa (BONAT, 2009, p.12). Portanto, de acordo com os objetivos desta pesquisa, pode-se caracterizá-la como uma pesquisa prescritiva, uma vez que ela busca desenvolver um novo método (artefato) para promover a melhoria de um processo existente.

Para pesquisas de caráter prescritivo propõe-se a adoção do *framework* metodológico *Design Science Research* (DSR) como método de pesquisa pois essa abordagem tem como objetivo desenvolver e projetar artefatos para resolver problemas, melhorar sistemas existentes, ou criar novos artefatos que contribuam com alguma mudança em um sistema, melhorando seu desempenho ou resolvendo um problema (DRESCH, LACERDA e JUNIOR, 2015).

3.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

O presente estudo é conduzido com base na abordagem *Design Science Research* (DSR) (SIMON, 1996; PEFFERS et al., 2007). Essa abordagem objetiva desenvolver artefatos para resolver os problemas observados, realizar contribuições de pesquisa, avaliar os projetos e comunicar os resultados (PEFFERS et al., 2007). Assim, a DSR visa aperfeiçoar a percepção dos profissionais em seus campos de atuação de maneira a atingir o objetivo para resolução de problemas (SIMON, 1996).

Um artefato pode ser definido como algo artificial ou construído por seres humanos, como oposição a algo natural (SIMON, 1996). Na visão de Dresch, Lacerda e Júnior (2015), os artefatos são projetados com o objetivo de alterar algo em um sistema, quer seja para a resolução de problemas ou para a melhoria de desempenho. Assim, artefatos podem ser definidos como:

- Métodos (boas práticas e algoritmos);
- Modelos (abstrações e representações);
- Construções (símbolos e vocabulário); e
- Instanciações (protótipos e implementações de sistemas).

O conhecimento, a compreensão e solução de um problema são adquiridos na construção e aplicação de um artefato (VON ALAN et al., 2004). Para o desenvolvimento desta pesquisa, propõe-se um método e possíveis construções (ferramentas) para alcançar o objetivo proposto. A definição de método é um conjunto de passos utilizado para executar uma tarefa, sendo típico das pesquisas baseadas na DSR (DRESCH, LACERDA E JUNIOR., 2013). O método proposto e suas ferramentas devem ser capazes de capturar a estrutura da realidade para que, assim, possam ser de fato úteis.

As etapas definidas pela abordagem DSR, para a criação de um artefato consolidado, deve seguir o conjunto de fases de trabalho: (i) Identificação do problema e motivação; (ii) Definição dos objetivos da Solução; (iii) Projeto e desenvolvimento da Solução; (iv) Demonstração da Solução; (v) Avaliação da Solução; e (vi) Comunicação da Solução (PEFFERS et al., 2007). A Figura 5 apresenta um fluxograma com essas fases.

Figura 5 - Estrutura metodológica da abordagem DSR



Fonte: Peffers et al. (2007)

A seguir, cada uma das fases que compõem a estrutura metodológica da abordagem é explicada.

Fase 1 - Identificação do problema e motivação: Essa fase consiste na definição do problema de pesquisa específico e na justificativa para a solução proposta. Os recursos necessários para essa fase incluem o conhecimento do estado do problema e a importância de sua solução.

Fase 2 – Definição dos objetivos da Solução: Nessa fase deve-se inferir os objetivos da Solução a partir do conhecimento do que é possível e viável e da definição do problema. Para tal faz-se necessário conhecer o estado dos problemas e das soluções atuais -se houverem - e sua eficácia.

Fase 3 – Projeto e desenvolvimento da Solução: Consiste na criação do artefato, em sua determinação de funcionalidade desejada e de como será sua arquitetura.

Fase 4 – Demonstração da Solução: Utilização do artefato para resolver uma ou mais instâncias do problema, i.e. experimentação, simulação, prova, estudo de caso ou outra atividade apropriada.

Fase 5 – Avaliação da Solução: Nessa etapa deve-se observar e medir quão bem o artefato auxilia na solução do problema, através da comparação dos objetivos da Solução com os resultados obtidos através da sua demonstração. Segundo Von Alan et al. (2004) e Hevner e Chatterjee (2010), a avaliação pode ser:

- Observacional (estudo de caso e estudo de campo);
- Analítica (análise estática, análise de arquitetura, otimização e análise dinâmica);
- Experimental (experimento controlado e simulação);
- Teste (funcional – caixa preta e estrutural – caixa branca); e
- Descritiva (argumento informado e cenários).

Fase 6 – Comunicação dos resultados: Comunicar o problema e sua importância, o artefato, a utilidade e a novidade, o rigor do seu projeto e sua eficácia para os pesquisadores e público relevante.

O presente trabalho apresenta métodos e ferramentas que empregam técnicas, tais como captura de conhecimento e inteligência artificial, como artefato. Além disso, cada uma dessas atividades é detalhada na seção 3.3, a fim de apresentar como e o que foi realizado.

3.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.3.1 Identificação do problema e motivação

A primeira etapa da DSR, Identificação do problema e motivação, está relacionada ao objetivo específico deste trabalho de identificar um contexto de aplicação da solução no cenário da indústria automotiva. Assim, a identificação do contexto de aplicação na indústria foi realizada através de um diagnóstico realizado a partir da análise de documentos e de entrevistas com os envolvidos no departamento de desenvolvimento de produtos.

3.3.2 Definição dos objetivos da Solução

A etapa de Definição dos objetivos da Solução é relacionada ao objetivo específico levantar e comparar as principais ferramentas computacionais e outras soluções já propostas para a integração das informações ao longo do PDP.

Após a realização de uma revisão de literatura, estabeleceu-se como resultado esperado para esta pesquisa um modelo ontológico e um método de aplicação que fosse capaz de avaliar de maneira computacional e em tempo real o grau de adequação de sistemas produtivos existentes a alterações de engenharia, ou até mesmo novas concepções de produto, com o emprego de técnicas de captura de conhecimento e inteligência artificial.

Para garantir que a ontologia atenderia o que foi proposto buscou-se descrever dois cenários que pudessem ser representados na ontologia e algumas questões de competência para a solução dos problemas identificados, tornando-se possível guiar a etapa de Desenvolvimento da Solução.

3.3.3 Projeto e desenvolvimento da Solução

As atividades realizadas na etapa de Projeto e desenvolvimento da Solução são correlacionadas à construção do artefato. Dessa maneira, essa etapa contou com a utilização de métodos e ferramentas para a construção do modelo ontológico.

Nesta pesquisa adotou-se a utilização do Método 101 de construção de ontologias para a criação do modelo. Durante a realização das etapas desse método, as questões de competência propostas na etapa anterior do DSR foram fundamentais para o direcionamento correto da elaboração da ontologia.

Para a construção do modelo ontológico desta pesquisa foi utilizada a ferramenta Protégé 5.2.0, a qual é disponibilizada gratuitamente na internet pela Stanford University (<https://protege.stanford.edu>). Essa escolha se deve ao fato dessa ferramenta ser altamente extensível, possuir uma interface customizável e de fácil uso, bem como pela sua capacidade de integração com outros aplicativos. Além de ser uma ferramenta de código aberto, o Protégé 5.2.0 conta com ferramentas gráficas e mecanismos capazes de gerar inferências a partir do modelo ontológico criado.

Um mapa mental também foi elaborado para ilustrar as representações da relação entre as ideias e conceitos que estariam presentes no modelo. Esse mapa mental foi criado utilizando-se o software *XMind*.

3.3.4 Demonstração da Solução

A etapa de Demonstração visa responder à pergunta: A solução funciona? Ou seja, essa etapa está relacionada ao objetivo específico dessa pesquisa de demonstrar a aplicação do artefato por meio de provas de conceito no contexto da empresa parceira.

A demonstração do modelo ontológico deu-se através da realização de buscas (*queries*) na ontologia. As buscas realizadas consistem em questões de competência e em dois cenários hipotéticos e serão apresentados posteriormente. Essas buscas foram realizadas utilizando-se o plug-in Snap-SPARQL do Protégé.

Para realizar a verificação de possíveis inconsistências e realizar inferências no modelo desenvolvido, o *reasoner* Pellet, disponível no editor Protégé 5.2.0, foi utilizado. Um *reasoner* avalia se há quaisquer contradições lógicas em uma ontologia, ou seja, são utilizados para checar a consistência lógica de uma ontologia em OWL e para se derivar novas informações através dos dados inseridos na ontologia (KALYANPUR et al., 2005). Além dessa máquina de inferências, o plug-in OWLviz foi utilizado para ilustrar as relações definidas no modelo ontológico.

Para demonstrar o modelo ontológico, também se utilizou a plataforma Stardog que auxiliou na exportação das respostas das *queries* para a interface criada para os usuários. De acordo com Sheth e Larson (1990), um dos benefícios da utilização da Stardog é que as bases de dados ficam salvas e disponíveis para que outras pessoas, em outros computadores, possam utilizar o modelo, sendo possível ainda atribuir permissões específicas a cada usuário (i.e., consulta, edição, visualização). Somado a isso, essa plataforma permite a utilização de informações e dados oriundos de outras bases já existentes, na forma de um sistema de federação de dados, que é basicamente um sistema que possui diferentes componentes (i.e., bases de dados) autônomos que cooperam entre si. A interface por sua vez foi desenvolvida através de ferramentas de macro do Excel.

3.3.5 Avaliação da Solução

A etapa de Avaliação da solução visa responder à pergunta: A solução funciona bem? Ou seja, essa etapa se correlaciona ao objetivo específico de avaliar o artefato quanto à sua eficiência, fidelidade de informações e aplicabilidade no ambiente de desenvolvimento de produtos respectivamente.

Nesta etapa realizou-se a observação e medição do comportamento do artefato proposto, avaliando-se a sua relevância. Para tal, utilizou-se o artefato no ambiente da empresa, a fim de verificar se a proposta da solução atendia de fato as necessidades levantadas na primeira etapa da metodologia, bem como se ajustes necessitavam ser feitos.

Assim, de acordo com as características dos diversos métodos e ferramentas de avaliação de ontologias apresentados, identificou-se como sendo mais adequadas para a avaliação taxonômica da ontologia proposta nesta pesquisa as ferramentas ODEval e OOPS!.

Essas ferramentas foram selecionadas pelo fato de poderem ser implementadas quando a ontologia já estiver na fase de validação, antes de seu lançamento.

De acordo com as formas propostas por Hevner e Chatterjee (2010), a técnica de avaliação considerada é experimental. Isso significa que o artefato foi estudado em um ambiente controlado com dados simulados para a execução do mesmo. Dessa forma, adaptações foram realizadas para a disponibilização e proposta do modelo final.

A ferramenta ODEval foi utilizada num primeiro momento para identificar a existência de inconsistências e redundâncias nas taxonomias representadas no modelo, seguida da utilização da ferramenta OOPS!. Essa segunda ferramenta permitiu a identificação de possíveis melhorias no conteúdo da ontologia pelos desenvolvedores, antes de colocá-la em prática.

Dessa forma, nesta pesquisa foram analisadas as sete dimensões de acordo com as recomendações de Fernández-Breis, Aranguren e Stevens (2009) associadas aos critérios descritos na ISO 9126 (2000) para avaliar o modelo ontológico. O Quadro 1 relaciona as dimensões com os critérios utilizados.

Quadro 1 - Critérios de avaliação para cada dimensão

Dimensão	Critério
Estrutural	Acurácia
	Coessão
	Consistência
	Integridade
Funcionalidade	Capacidade de Inferência
	Representação dos resultados
	Queries e buscas consistentes
Confiabilidade	Robustez
	Maturidade técnica
Usabilidade	Reuso
	Clareza
Manutenção	Mutabilidade
	Capacidade de ser testada
Qualidade de uso	Satisfação do usuário
	Efetividade
Eficiência	Eficiência computacional

Fonte: Fernández-Breis, Aranguren e Stevens (2009) e ISO 9126 (2000)

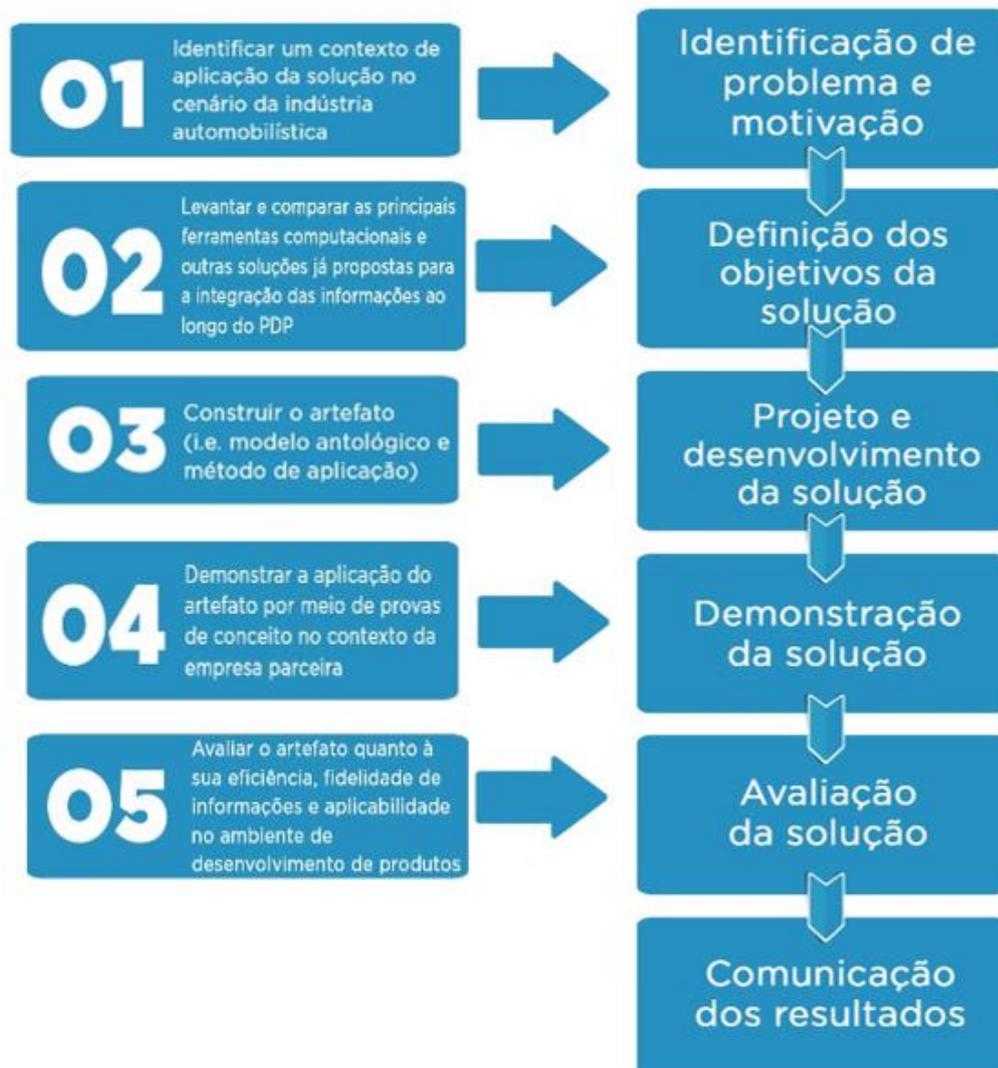
3.3.6 Comunicação dos resultados

A última etapa do método DSR consiste na comunicação das análises e principais resultados obtidos por meio deste trabalho. Essa comunicação se dará através da elaboração e publicação de artigo referentes aos resultados encontrados, ao modo como o artefato foi construído e sua aplicação no mundo real.

Sabendo-se que o modelo ontológico desenvolvido nessa pesquisa pode auxiliar na priorização e direcionamento de ações importantes nas fases iniciais do PDP, bem como pode auxiliar no desenvolvimento de novas soluções, disponibilizou-se a ontologia no repositório online OntoHub, com o objetivo de incentivar a continuidade do trabalho apresentado.

A Figura 6 ilustra as etapas da metodologia DSR correlacionadas aos objetivos específicos apresentados na Seção 1.1.2.

Figura 6 - Procedimento metodológico



Fonte: A autora.

3.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho, apesar de ter seguido todas as etapas propostas pela abordagem DSR, apresentadas na seção 3.2, possui algumas limitações relacionadas à etapa de avaliação e demonstração.

Na etapa de demonstração, não foi possível simular as características reais dos produtos, pelos dados serem de caráter sigiloso. Assim, os dados dos produtos utilizados como input para as queries são dados fictícios.

Na etapa de avaliação, a solução proposta foi avaliada apenas de acordo com sua taxonomia e características de uso. Além disso, a ontologia não foi implementada, apenas foi avaliada por potenciais usuários da empresa em estudo, o que impediu uma avaliação mais aprofundada.

A próxima seção apresenta os resultados obtidos a partir da implementação dos aspectos metodológicos no desenvolvimento da solução proposta por este trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo visa apresentar os resultados obtidos nesta pesquisa, os quais seguem as etapas do *Design Science Research* descritas no capítulo de aspectos metodológicos, apresentando as entregas obtidas em cada uma das etapas dessa abordagem.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E MOTIVAÇÃO

Nessa etapa de Identificação do problema e motivação, realizou-se um diagnóstico em uma empresa multinacional do ramo automobilístico localizada na região metropolitana de Curitiba, na área de desenvolvimento de produtos, mais especificamente no setor de engenharia de processos e meios de montagem.

Como contexto de aplicação dessa pesquisa tem-se uma linha alimentadora, que produz eixos traseiros, a qual é composta basicamente por prensas e parafusadeiras. A linha produtiva em questão foi escolhida devido ao fato de estar havendo um estudo para que ela produzisse um novo produto no momento do início desse trabalho. Assim, julgou-se que ter a oportunidade de demonstrar o modelo durante a realização desse projeto da empresa seria um fator positivo para o andamento da pesquisa. No entanto, qualquer outra linha produtiva poderia ter sido objeto da demonstração da solução.

4.1.1 Diagnóstico

O levantamento do diagnóstico ocorreu por meio de entrevistas com os envolvidos no processo (engenheiros de projeto, engenheiros de processo e analistas de meios e processos) e da avaliação dos documentos do PDP da empresa. Foram analisadas também as Folhas de Requisitos de Processos (FPR), as quais documentam as solicitações de análise para novos produtos e para alterações de produto. Além disso, foram identificados os níveis de integração entre as práticas da empresa e os modelos de desenvolvimento de produto, assim como as linguagens e softwares utilizados pela empresa.

Notou-se também que as análises relativas as alterações de projeto e ao lançamento de um novo produto passam pelo crivo do setor de engenharia de processos e meios. Contudo, não há um método específico para as análises realizadas. Os engenheiros de processo ao iniciarem uma análise, realizam suas atividades de acordo com o conhecimento adquirido ao longo de sua experiência e através de consultas a manuais de equipamentos e ferramentas, não seguindo um fluxo de atividades pré-estabelecido.

Além disso, não há nenhum método que auxilie os analistas a detectar os equipamentos cuja as restrições são desrespeitadas, desta forma, as adaptações dos equipamentos/produtos que poderiam ser realizadas numa etapa inicial do projeto correm o risco de serem tardiamente identificadas, fazendo com que não haja tempo hábil para tais modificações, gerando possíveis atrasos de projeto e no lançamento dos novos veículos.

Deste modo, a Engenharia do Produto (i.e., projetistas) não leva em consideração os requisitos de processos existentes de maneira estruturada. Assim, pode-se afirmar que não há um método nem ferramentas que guiem essas análises de viabilidade do emprego de processos produtivos correntes em novos produtos, muito menos que auxiliem a antever, em tempo real, o não atendimento dos requisitos dos processos e meios atuais da linha de montagem da empresa pelo próprio projetista.

Através dessa etapa, pode-se atingir o primeiro objetivo específico dessa pesquisa, o qual busca identificar um contexto de aplicação (demonstração) da solução no cenário da indústria automobilística.

4.2 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DA SOLUÇÃO

Na segunda etapa, Definição de objetivos da Solução, os objetivos esperados para a resolução do problema foram elaborados. Portanto, de acordo com os objetivos geral e específicos, definiu-se os resultados esperados para esta pesquisa.

Engenheiros de processos devem analisar rapidamente a possibilidade de montagem dos projetos e a adequação de sistemas produtivos existentes a modificações de produto, ou mesmo novas concepções de produto. Atualmente essas análises são realizadas após todo o projeto ser definido, ocasionando muitas vezes retrabalho e atraso na montagem do produto.

Com o objetivo de integrar efetivamente os requisitos de projeto e processo, o artefato desenvolvido é um método atrelado ao uso de ferramentas necessárias. Esta combinação facilita a análise permitindo avaliar computacionalmente e em tempo real a viabilidade do emprego dos processos produtivos correntes em novos produtos, desde a fase de projeto conceitual, empregando técnicas tais como captura de conhecimento e inteligência artificial com a implementação do conceito de DTh.

A solução proposta deveria ser capaz de auxiliar na condução das atividades do analistas e projetistas e avaliar a viabilidade do emprego dos meios produtivos correntes em novos produtos de maneira computacional e em tempo real, nas etapas iniciais do projeto, com o emprego de técnicas de captura de conhecimento e inteligência artificial.

Estabelecer limites durante a construção de um modelo de ontologia é de extrema importância para que o trabalho seja direcionado para o objetivo pelo qual ele foi proposto. Diante dos objetivos da solução e do seu contexto de aplicação, foi possível definir algumas questões de competência que serviram como norte para a construção da ontologia. As questões definidas são as seguintes:

- Quais equipamentos são capazes e quais não são capazes de produzir uma peça que possui as seguintes medidas: eixo x – X mm, eixo y – Y mm e eixo z – Z mm? E em que linha ele(s) se encontra(m)?
- Quais equipamentos são capazes e quais não são capazes de produzir uma peça que necessita de força de prensagem de P e um torque maior ou igual a T? E em que linha ele(s) se encontra(m)?
- Caso o(s) equipamento(s) não seja(m) capaz(es) de produzir a peça, qual o motivo?
- Ordenar por grau de prioridade de análises, considerando todos os tipos de equipamentos.

As incógnitas X, Y, Z, P e T serão posteriormente substituídas por valores neste trabalho. O grau de prioridade de análise para cada equipamento será atribuído por uma escala de valores de 0 a 5.

A seção seguinte apresenta com detalhes como foi realizada a construção do modelo ontológico e os cenários utilizados.

4.3 PROJETO E DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

Nesta seção é apresentada a construção da Solução proposta, seguindo as etapas propostas pelo Método 101.

4.3.1 Determinação do domínio e do escopo da ontologia

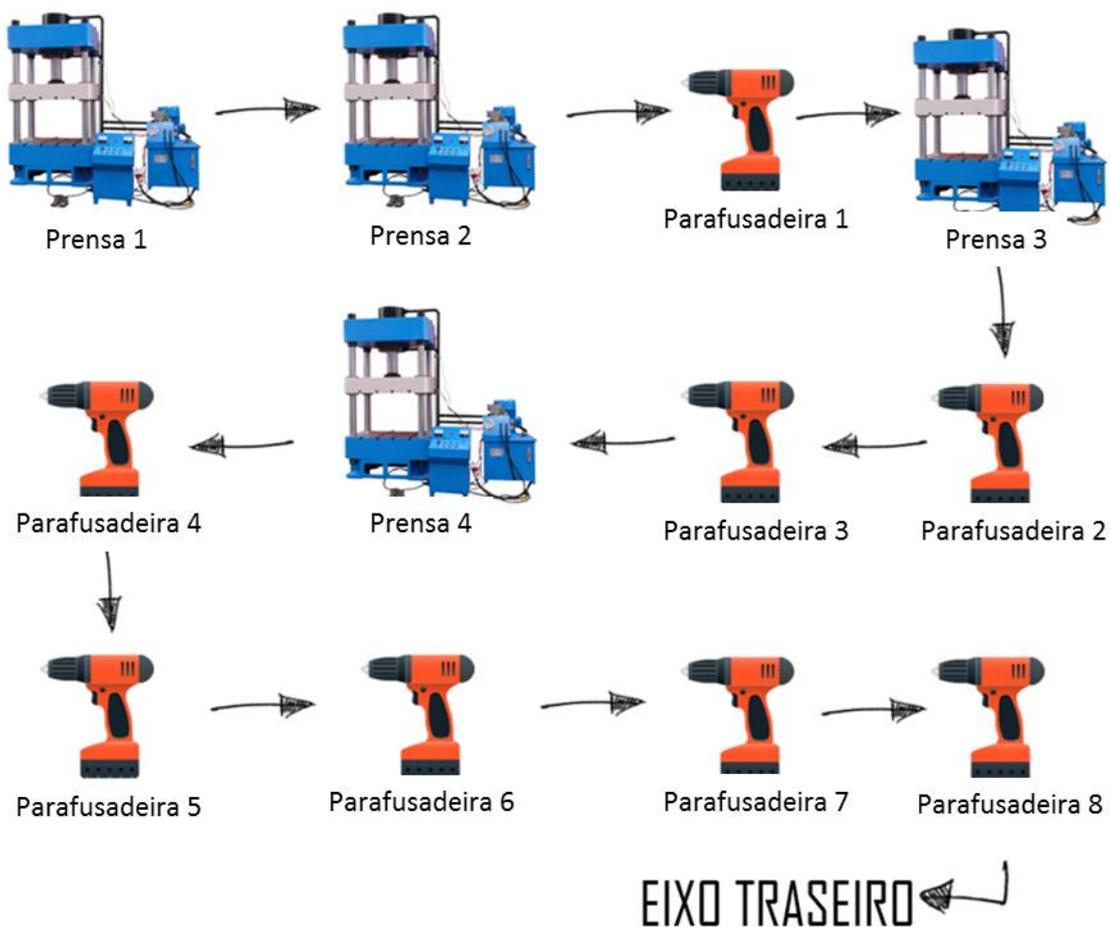
Conforme o método utilizado, a primeira etapa para a construção de um modelo ontológico é a determinação do domínio e do escopo que serão representados. O domínio da ontologia foi definido através do diagnóstico realizado na empresa, conforme apresentado na seção 4.1, onde houve a identificação do problema e motivação.

Outra etapa importante na construção de uma ontologia é definir o objetivo da solução. A partir da definição do domínio e do diagnóstico realizado, foi possível definir o escopo da pesquisa. Assim, definiu-se que o modelo ontológico criado deveria ser capaz de auxiliar as análises no sentido de direcionar e priorizar o trabalho dos analistas e engenheiros de produtos,

indicando quais equipamentos e restrições tornavam o meio produtivo não adequado para a fabricação do novo produto.

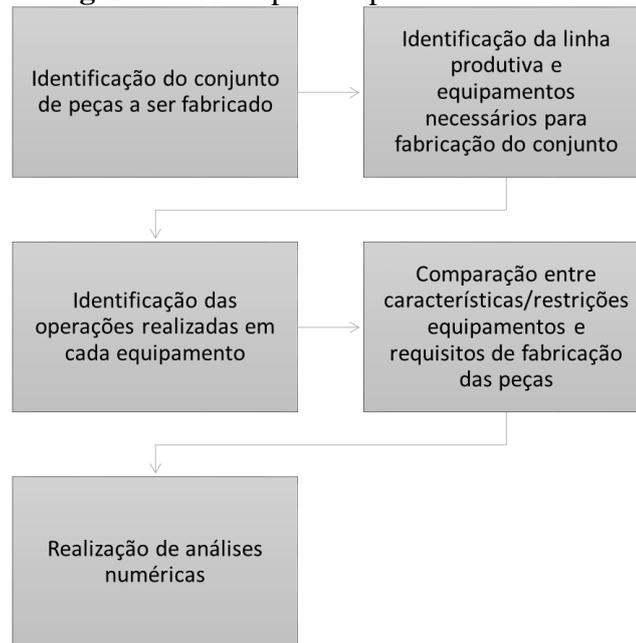
Para a criação do modelo ontológico, foi selecionada uma linha de produção responsável pela submontagem de componentes de uma família de produtos, visto que havia um esforço em analisar os processos dessa linha para a inclusão de um novo produto no momento do início desse trabalho. Essa linha é composta basicamente por prensas e parafusadeiras eletrônicas. A Figura 7 esquematiza a linha produtiva estudada.

Figura 7 - Esquema linha produtiva



Fonte: A própria autora

Foi necessário entender como cada um dos analistas realizava os estudos, quais as atividades eram executadas, quais documentos eram consultados e como as análises eram conduzidas. A Figura 8 apresenta de forma resumida o fluxo das principais etapas identificadas na fase de diagnóstico como sendo necessárias à realização das análises.

Figura 8 - Principais etapas de uma análise

Fonte: A própria autora

Pode-se perceber também a necessidade de se identificar de maneira global na linha que estava sendo analisada os equipamentos com capacidade e os sem capacidade de produção do novo produto. A necessidade de atribuir um grau de priorização para cada equipamento a fim de definir a ordem com que os equipamentos deveriam ser estudados também foi identificada.

Dessa maneira, juntamente com os responsáveis pelas análises foram atribuídos valores numa escala de 0 a 5 para atribuir um grau de prioridade de análise para cada equipamento. Quanto maior o grau de complexidade e maior o tempo dispendido para a realização das análises, maior o grau de prioridade do equipamento, pois esses necessitariam de uma análise mais complexa e demorada em relação aos demais equipamentos.

Outro aspecto importante é o fato de que as análises são realizadas considerando a fabricação de peças cujas dimensões e especificações de fabricação já chegam pré-definidas nessa etapa. Assim, as análises buscam identificar alternativas voltadas para possíveis ajustes nas peças ou nos equipamentos produtivos.

Após determinar o domínio e o escopo da ontologia, através da definição das questões de competência, partiu-se para a próxima etapa do método, a qual visa identificar a possibilidade de reuso de ontologias pré-existentes.

4.3.2 Consideração de reuso de ontologias existentes

Levando em consideração o contexto de análises de adequação de sistemas produtivos existentes a alterações em produto ou novos conceitos de produto, na segunda etapa do Método 101, foi realizada uma busca por modelos ontológicos já existentes disponíveis na internet

(DAML Ontology Library, 2017; DMOZ, 2017), com o objetivo de identificar possíveis ontologias que poderiam ser reutilizadas.

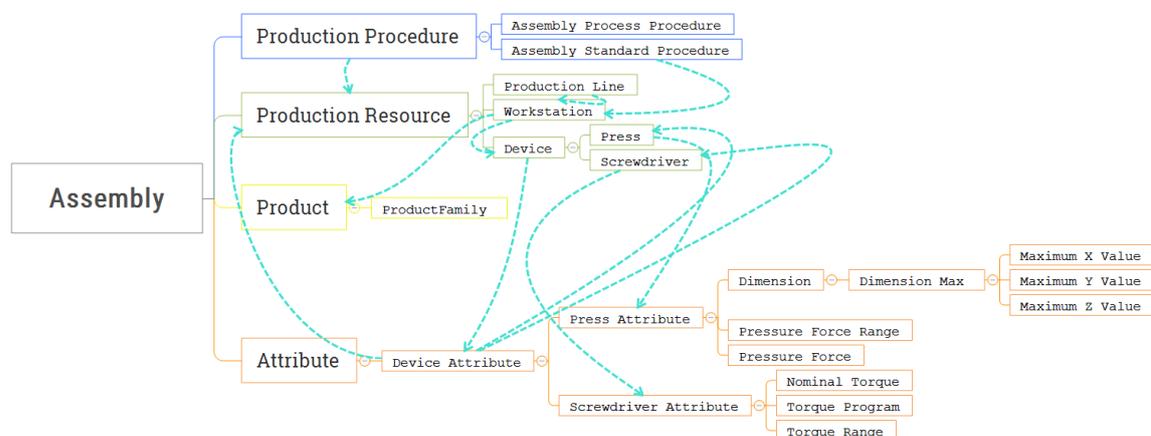
A busca não retornou nenhuma ontologia útil, ou seja, desenvolver um modelo completo seria necessário. Posto isto, partiu-se para o próximo estágio do desenvolvimento do modelo que corresponde a enumeração de termos importantes para serem utilizados na ontologia.

4.3.3 Enumeração dos termos importantes

Essa etapa é de grande importância, pois, sabendo-se que uma ontologia é a representação de termos e taxonomias, enumerar os possíveis itens que estarão presentes no modelo possibilita verificar as possíveis relações e classificações existentes entre eles. Para tal, o domínio de conhecimento definido na primeira etapa do método utilizado neste trabalho foi estruturado em um modelo conceitual, através de um mapa mental. Além disso, essa lista permite que as entidades da ontologia (i.e., classes, propriedades e indivíduos) sejam criadas posteriormente.

Pensando em todos os aspectos que envolvem a fabricação de um produto, foram listadas palavras relacionadas (i.e., *Device*, *Workstation*, *Production Line*, *Product Family*, *Production Resource*, *Device Attribute*). Em seguida, palavras relacionadas ao domínio da ontologia foram elencadas (i.e., *Press*, *Screwdriver*, *Press Attribute*, *Screwdriver Attribute*, etc). Após ter os termos que representavam as ideias e conceitos que necessitavam estar presentes no modelo ontológico, representou-se a relação entre eles, através das setas pontilhadas. A Figura 9 ilustra a representação da relação entre ideias e conceitos presentes na ontologia que foi desenvolvida utilizando o software *XMind*.

Figura 9 - Mapa mental dos conceitos relacionados ao domínio da ontologia



Fonte: A autora.

4.3.4 Classes e hierarquias

Com os termos enumerados e suas relações explicitadas, pode-se iniciar o processo de definição de classes e hierarquias do modelo ontológico proposto. Nessa etapa fez-se uso do editor de ontologias Protégé 5.2.0 para definir a taxonomia do modelo e adotou-se o processo *top-down* de desenvolvimento, onde primeiramente os conceitos mais gerais do domínio foram representados, seguidos de conceitos e termos mais específicos. Assim, iniciou-se pela determinação das classes mais genéricas até as mais específicas.

Dessa maneira, para a construção do modelo ontológico primeiramente as seguintes classes foram criadas: `Attribute`, `Product`, `ProductionProcedure`, `ProductionResource`. A representação dessa taxonomia com as principais classes e subclasses é ilustrada na Figura 10.

A classe `ProductionResource` representa todos os recursos produtivos, onde `ProductionLine` representa todas as linhas produtivas da empresa, assim como a classe `Workstation` representa todas as estações de trabalho da fábrica. Por sua vez, todos os equipamentos relacionados ao domínio do modelo ontológico estão representados na classe `Device`.

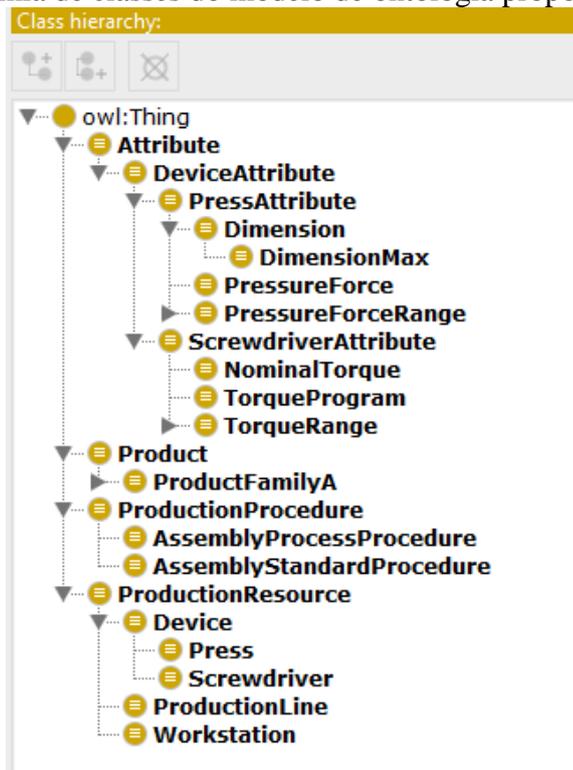
Já a classe `ProductionProcedure` representa os procedimentos necessários para a produção, onde `AssemblyStandardProcedure` e `AssemblyProcessProcedure` descrevem, respectivamente, todas as folhas de serviço, as quais descrevem os processos de operação de um posto, e as folhas de operação que representam cada uma das operações de montagem da fábrica.

A classe `DeviceAttribute`, contém todas as características dos equipamentos representados na classe `Device` e as informações necessárias para a realização das análises de montabilidade.

A classe `Product`, por sua vez, representa todos os produtos produzidos pela empresa. Para a pesquisa em questão, apenas uma classe (i.e., classe `ProductFamilyA`) foi inserida, representando a família de produtos que é representada pelo domínio que se deseja representar.

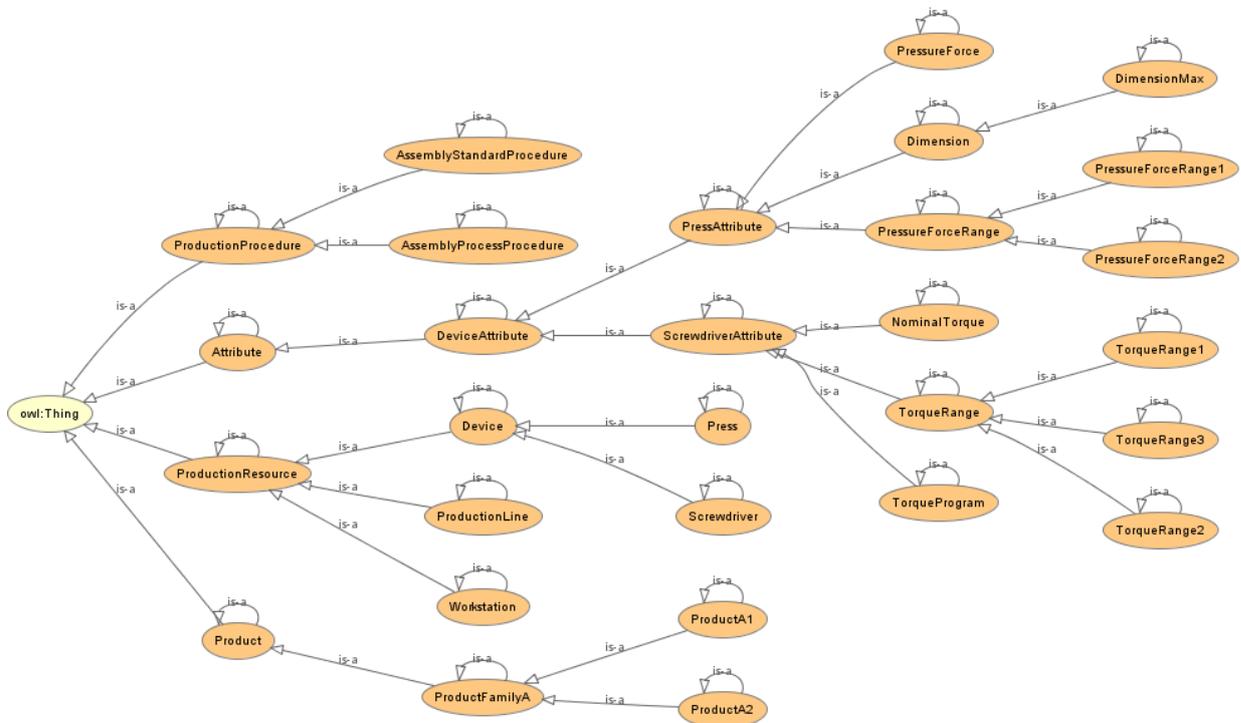
Através da utilização do *plug-in* OWLviz do Protégé 5.2.0 foi possível gerar a representação gráfica das classes e subclasses do modelo. As classes e suas subclasses são apresentadas na Figura 11, de acordo com o formato disponibilizado pelo OWLviz.

Figura 10 - Taxonomia de classes do modelo de ontologia proposto no editor Protégé



Fonte: A autora

Figura 11 - Representação gráfica gerada pelo plug-in OWLviz



Fonte: A autora

4.3.5 Propriedades e características das classes e instâncias

Seguindo o método 101, as três etapas seguintes são a definição das propriedades de classes, seguida da definição das características das classes e da criação das instâncias do modelo. No entanto, para melhor entendimento da construção do modelo, já que a realização das atividades que compõem essas etapas não ocorre em separado, essas etapas foram agrupadas nesta seção.

Após a criação da hierarquia de classes e subclasses apresentadas na seção 4.3.4, propriedades de objeto foram criados para definir e relacionar classes, assim como propriedades de dados para relacionar objetos a tipos de dados. As propriedades de objeto relacionam objetos (instâncias de classes) a outros objetos, enquanto propriedades de dado relacionam objetos a valores de tipos de dados (STAAB; STUDER, 2013). Exemplos de descrição de propriedades podem ser observados nas Figura 12 e Figura 13.

Figura 12 - Exemplo de propriedade de objeto – `hasNominalTorque`

The screenshot displays the configuration for the `hasNominalTorque` property. On the left, a tree view shows the property hierarchy, with `hasNominalTorque` highlighted. The middle panel, titled 'Characterist', shows the following settings: Functional, Inverse functional, Transitive, Symmetric, Asymmetric, Reflexive, and Irreflexive. The right panel, titled 'Description: hasNominalTorque', shows the following relationships: 'Equivalent To' (owl:topObjectProperty), 'SubProperty Of' (owl:topObjectProperty), 'Inverse Of' (owl:topObjectProperty), 'Domains (intersection)' (Screwdriver), and 'Ranges (intersection)' (NominalTorque).

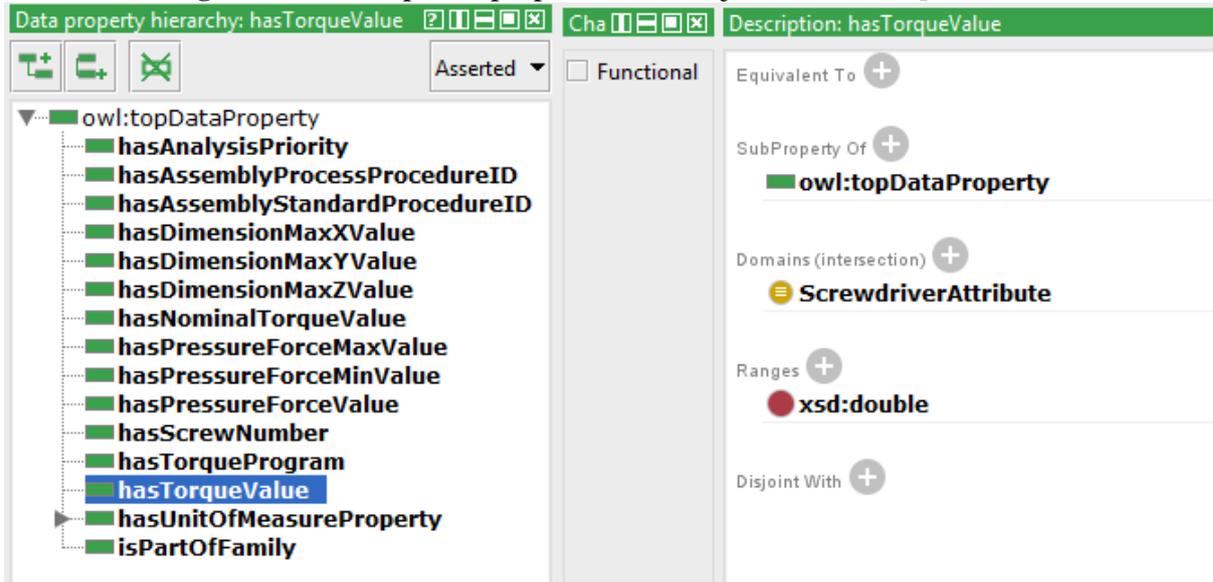
Fonte: A própria autora

Como pode-se observar, a Figura 12 apresenta a propriedade de objeto `hasNominalTorque`, que representa uma propriedade de todos os equipamentos que possuem torque (e.g. parafusadeiras). Assim, essa classe possui como domínio a classe `Screwdriver`, a qual contém as instâncias que recebem todos as parafusadeiras, e como *range* a classe `NominalTorque` na qual estão inseridos todos os torques nominais. Essa propriedade é uma

Functional Property porque não pode existir para uma mesma parafusadeira mais de um valor de toque nominal.

Já na Figura 13 as propriedades de dados são representadas pela propriedade `hasTorqueValue`, a qual possui como domínio `ScrewdriverAttribute`. Essa propriedade teve o *range* determinado como *double*, o qual é um tipo de dado que representa valores.

Figura 13 - Exemplo de propriedade de objeto – `hasTorqueValue`

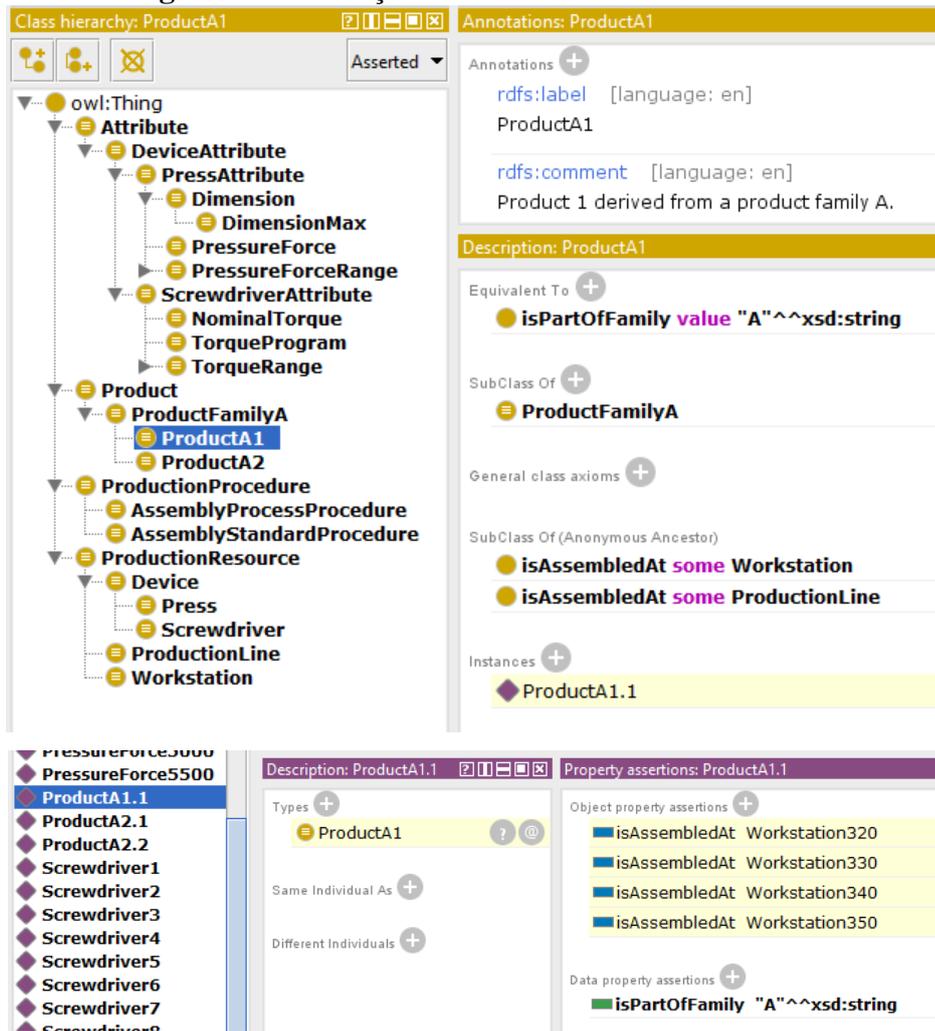


Fonte: A própria autora

Após exemplificar as propriedades, apresenta-se de maneira mais detalhada cada classe do modelo. A classe denominada `Product` contém `ProductFamilyA` como subclasse. Tal representação contém informações relacionadas a todos os produtos produzidos no domínio da ontologia, relacionado ao contexto apresentado anteriormente. Por sua vez, a subclasse `ProductFamilyA` possui as subclasses `ProductA1` e `ProductA2`, que representa os produtos pertencentes à família “A”. Para representar as variações dos produtos e suas versões foram criados indivíduos, a fim de representar de forma mais específica cada modelo, conforme ilustra a Figura 14.

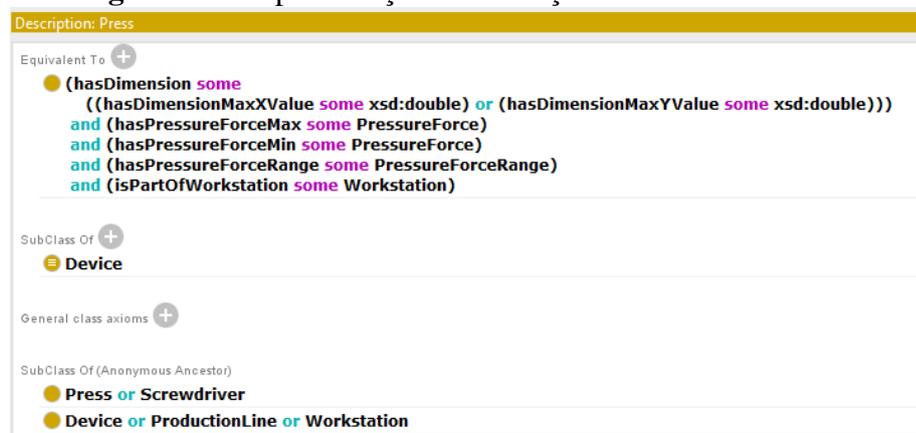
A classe `Device` representa os equipamentos presentes em uma linha. Esta classe possui duas subclasses: `Press` e `Screwdriver`. No caso deste estudo, são representados apenas os principais equipamentos presentes na linha de produção representada pelo domínio. Assim, essas classes que se referem aos tipos de equipamentos são caracterizadas por todos os conhecimentos e informações necessários para definir uma prensa ou uma parafusadeira. A Figura 15 ilustra como as prensas são definidas no modelo desenvolvido.

Figura 14 - Definição da classe Cars e do indivíduo



Fonte: A própria autora.

Figura 15 - Representação da definição da subclasse Press



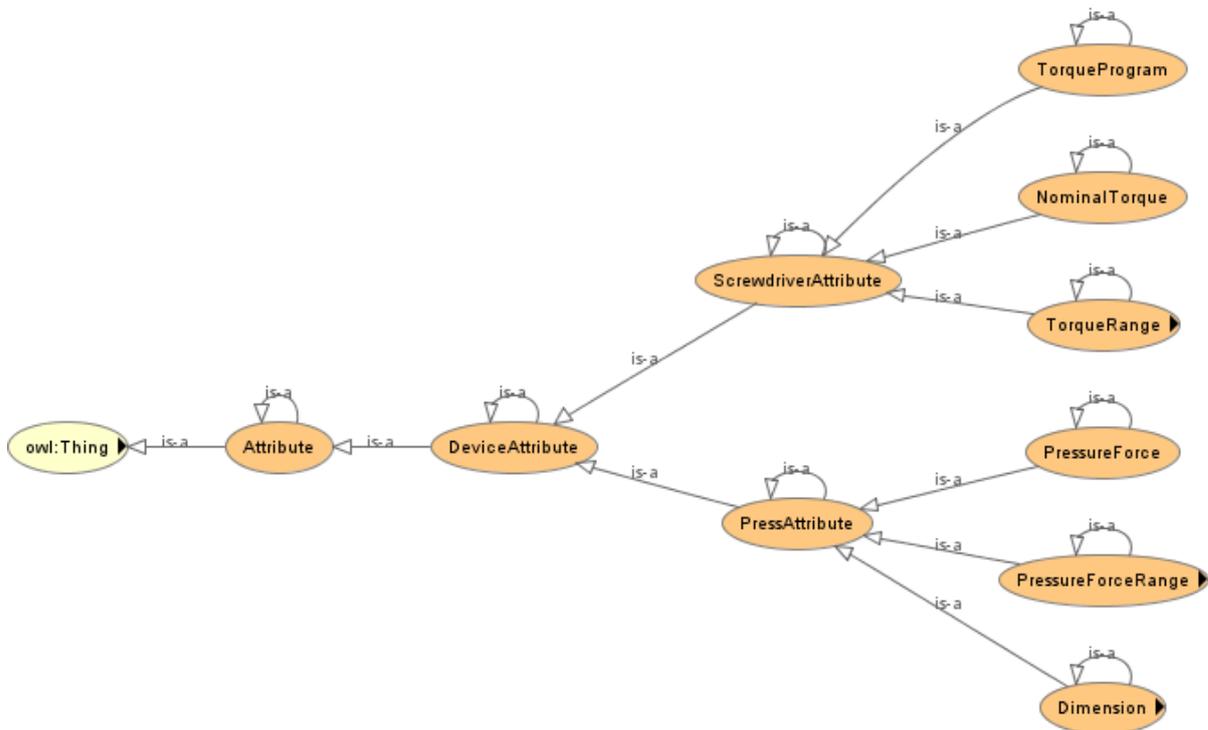
Fonte: A autora

A classe DeviceAttribute possui duas subclasses, PressAttribute e ScrewdriverAttribute. A primeira objetiva representar todas as características e restrições

de funcionamento relacionadas às prensas e a segunda às parafusadeiras. Essas classes por sua vez possuem suas subclasses. No caso da classe `PressAttribute` foram definidas as seguintes subclasses: `Dimension`, `PressureForceRange` e `PressureForce`.

Todas as subclasses de `PressAttribute` estão vinculadas às restrições individuais de cada equipamento deste tipo (prensa). Na classe `Dimension` são definidas as medidas limite para a área de trabalho nos eixos x, y e z de cada uma das prensas representadas no modelo. Essas medidas são representadas pelas propriedades de dados `hasDimensionMaxXValue`, `hasDimensionMaxYValue` e `hasDimensionMaxZValue`. Caso necessário, para controle de qualidade do produto fabricado pela prensa, o valor da força de pressão nominal máxima e mínima devem ser controlados, com esse objetivo a classe `PressureForceRange` foi criada. A subclasse `PressureForce` representa as forças de prensagem programadas. Pode-se observar na Figura 16 a representação gráfica da classe `DeviceAttribute` gerada pelo OWLviz.

Figura 16 - Representação da classe `DeviceAttribute`



Fonte: A autora

As instâncias em sua maioria foram criadas no momento em que cada classe ia sendo caracterizada. Na Figura 17 pode-se analisar a representação da classe `Press` e suas características, bem como uma de suas instâncias. Quatro indivíduos foram criados (`Press1`, `Press2`, `Press3`, `Press4`) cada um relacionado a uma prensa presente na linha representada

pelo domínio do modelo. Dessa forma, cada indivíduo representa uma restrição de fabricação diferente, de acordo com suas características.

Pode-se observar também através da Figura 17 que os indivíduos `Press1`, `Press2`, `Press3`, `Press4` estão grifados em amarelo, o que significa que os mesmos são fruto de inferências realizadas pelo *reasoner* Pellet, presente no editor de ontologias Protégé 5.2.0. O Pellet é capaz de inferir quais são os indivíduos pertencentes a classe `Press`, devido às características declaradas.

Figura 17 - Representação da classe `Press` e suas características

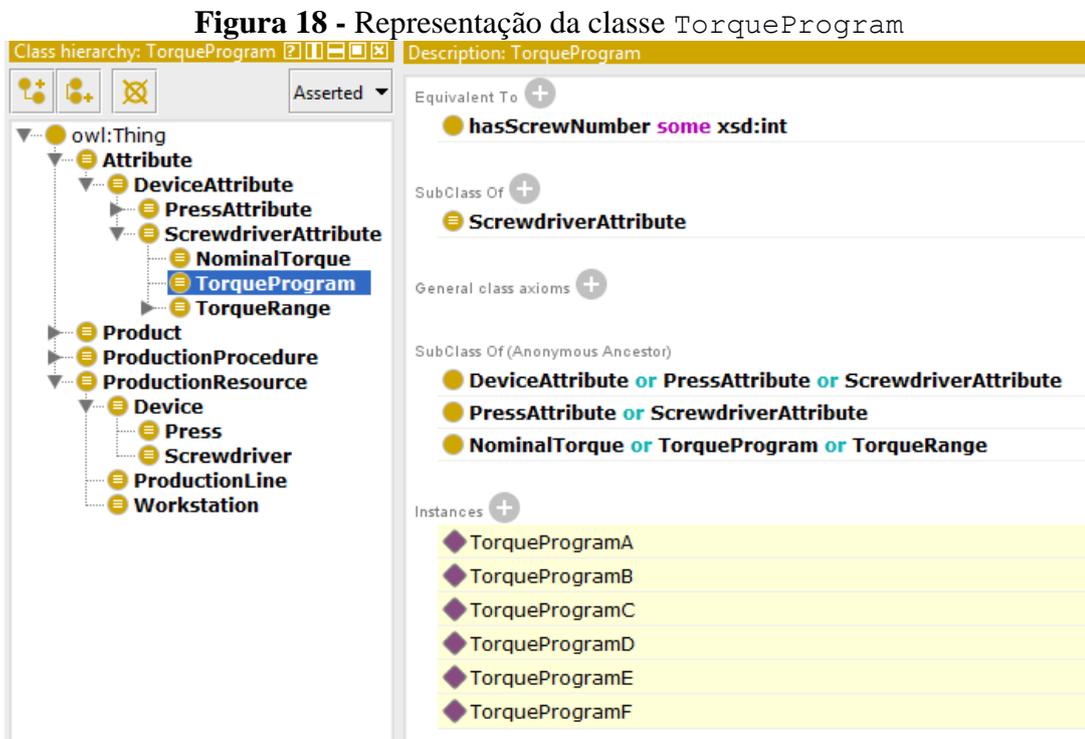
The screenshot displays the Protégé interface for the class `Press`. The interface is organized into several sections:

- Description:** `Press`
- Equivalent To:** A complex logical expression: `((hasDimensionMaxXValue some xsd:double) or (hasDimensionMaxYValue some xsd:double)) and (hasPressureForceMax some PressureForce) and (hasPressureForceMin some PressureForce) and (hasPressureForceRange some PressureForceRange) and (isPartOfWorkstation some Workstation)`
- SubClass Of:** A list of subclasses: `Device`, `PressAttribute`, and `PressureForceRange`.
- General class axioms:** A section for general axioms.
- SubClass Of (Anonymous Ancestor):** A list of axioms: `Press or Screwdriver`, `Device or ProductionLine or Workstation`, `PressureForceRange1 or PressureForceRange2`, and `Dimension or PressureForce or PressureForceRange`.
- Instances:** A list of instances: `Press1`, `Press2`, `Press3`, and `Press4`.

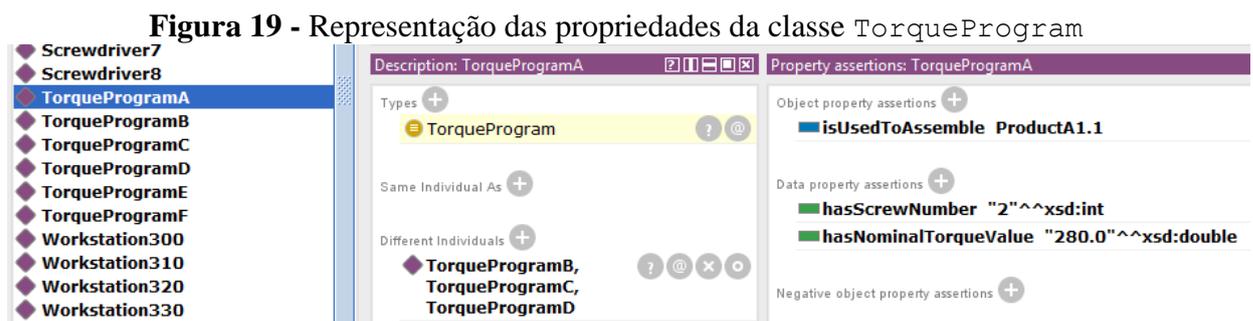
Fonte: A autora

Para a classe `ScrewdriverAttribute`, que também diz respeito às restrições de operação de equipamento, no caso parafusadeiras, foram definidas três subclasses. São elas: `TorqueProgram`, `NominalTorque` e `TorqueRange`. A subclasse `TorqueProgram` relaciona o número de apertos realizados em cada programa, o tipo de produto que é fabricado e o valor do torque realizado pelo programa (Figura 18), através das propriedades de dados `hasScrewNumber`, e `hasNominalTorqueValue` e da propriedade de objeto `isUsedToAssemble`, conforme apresentado na Figura 19. A subclasse `NominalTorque`, por sua vez, apresenta todos os valores de torque nominal programados, representados por suas instâncias, e pode ser observada na Figura 20. É importante salientar que apenas as

parafusadeiras que realizam operações consideradas de segurança possuem programas de torque (hasTorqueProgram), por isso optou-se por representar os valores de torque em outra classe (NominalTorque).



Fonte: A autora

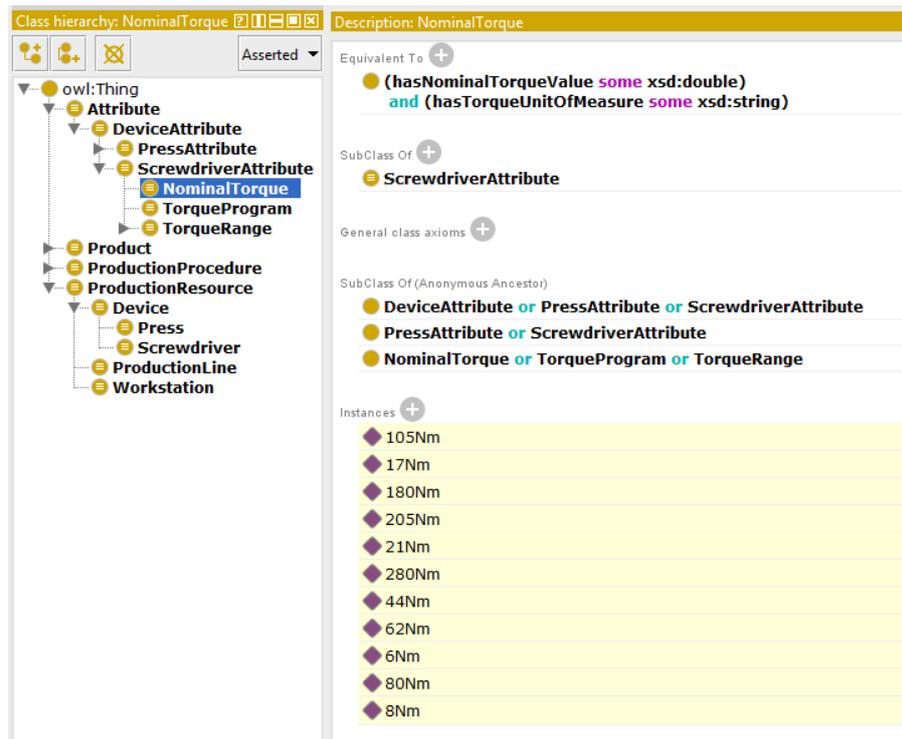


Fonte: A autora

Pode-se observar nas Figura 21 e 22 a representação das subclasses da classe **ProductionProcedure** e de suas instâncias. A subclasse **AssemblyProcessProcedure** apresenta todas as instruções operacionais de processo relacionadas com todas as estações de trabalho representadas. Assim como a classe **AssemblyStandardProcedure** apresenta as instruções operacionais de serviço. Essas classes são definidas apenas pelas propriedades **hasAssemblyProcessProcedure** e **hasAssemblyProcessIDNumber**, para que suas instâncias sejam diferenciadas umas das outras. Apesar de não terem ligação direta com as

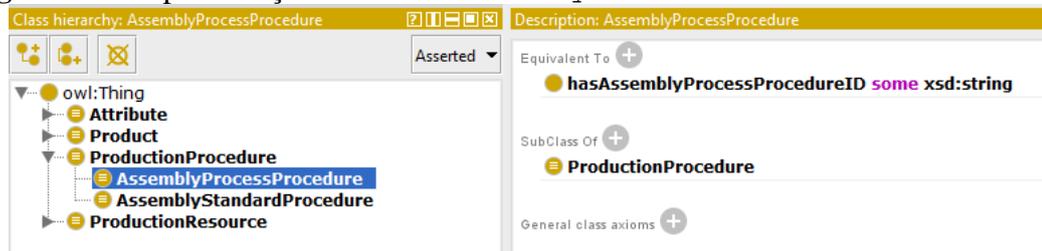
questões de competência descritas anteriormente, considerou-se representá-las a pedido dos próprios analistas, uma vez que representadas, suas buscas seriam mais rápidas. Pode-se verificar ainda, através do exemplo da Figura 21, que conforme as características definidas, o *reasoner* Pellet utilizado no Protégé 5.2.0 é capaz de inferir quais as instruções operacionais de serviço contêm a instância FOP99080. Essas inferências são representadas pelos itens grifados em amarelo.

Figura 20 - Representação da classe `NominalTorque`



Fonte: A autora

Figura 21 - Representação da classe `AssemblyProcessProcedure` e suas instâncias



Fonte: A autora

Figura 22 - Representação das instâncias da classe `AssemblyProcessProcedure`

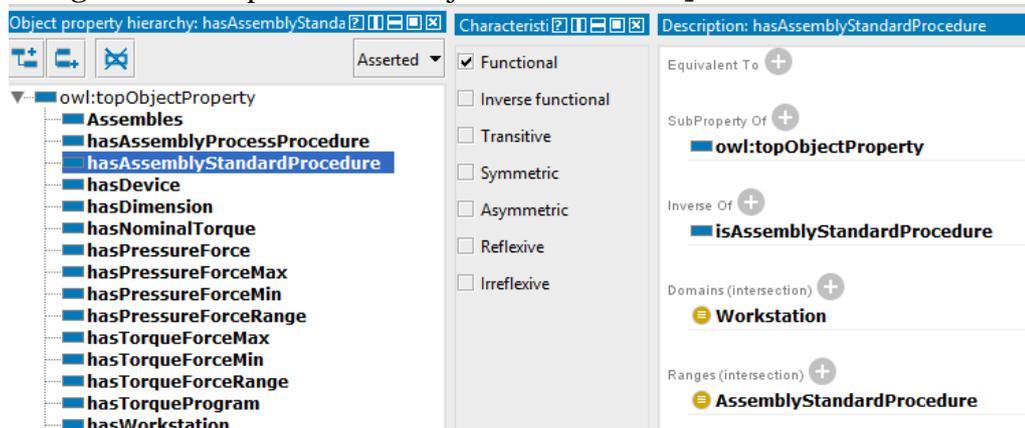


Fonte: A autora

A classe `Workstation`, por sua vez, representa todas as estações de trabalho das linhas de produção. Elas são definidas por conterem instruções operacionais de serviço. Cada `Workstation` possui exatamente uma instrução operacional de serviço (`AssemblyStandardProcedure`) na qual está relacionada. Da mesma forma, a classe `ProductionLine` representa todas as linhas de produção da empresa na qual o domínio do modelo ontológico está inserido. No caso desse trabalho apenas uma linha foi representada, através da instância `Line1`. Cada linha possui no mínimo uma estação de trabalho. Essas restrições são ilustradas nas Figura 23, Figura 24 e Figura 25, através da representação das propriedades de objeto `hasAssemblyStandardProcedure` e `hasWorkstation` e `isAssembledAt`.

Já a Figura 26 apresenta um dos indivíduos da classe `Workstation` e suas características. Analisando a ilustração percebe-se, por meio dos itens grifados em amarelo, que tanto a linha de produção, quanto a instrução operacional de serviço são inferidos através do *reasoner* a partir das características da estação de trabalho.

Figura 23 - Propriedades de objeto `hasAssemblyStandardProcedure`



Fonte: A autora

Figura 24 - Propriedades de objeto hasWorkstation

The screenshot displays the OWL editor interface for the object property 'hasWorkstation'. The left pane shows the 'Object property hierarchy' with 'hasWorkstation' selected. The middle pane lists characteristics: 'Inverse functional' is checked, while 'Functional', 'Transitive', 'Symmetric', 'Asymmetric', 'Reflexive', and 'Irreflexive' are unchecked. The right pane shows the 'Description' for 'hasWorkstation', including 'Equivalent To' (owl:topObjectProperty), 'SubProperty Of' (owl:topObjectProperty), 'Inverse Of' (isWorkstation), 'Domains (intersection)' (ProductionLine), 'Ranges (intersection)' (Workstation), 'Disjoint With', and 'SuperProperty Of (Chain)'.

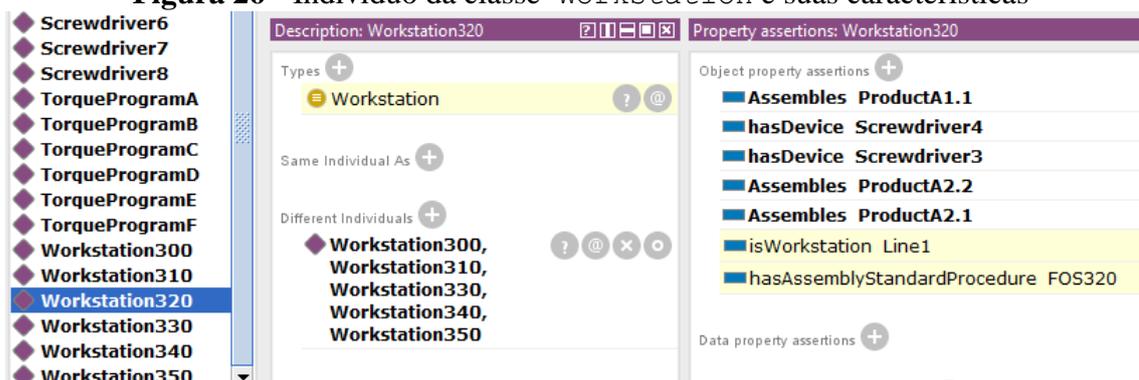
Fonte: A autora

Figura 25 - Propriedades de objeto isAssembledAt

The screenshot displays the OWL editor interface for the object property 'isAssembledAt'. The left pane shows the 'Object property hierarchy' with 'isAssembledAt' selected. The middle pane lists characteristics: 'Inverse functional' is checked, while 'Functional', 'Transitive', 'Symmetric', 'Asymmetric', 'Reflexive', and 'Irreflexive' are unchecked. The right pane shows the 'Description' for 'isAssembledAt', including 'Equivalent To', 'SubProperty Of' (owl:topObjectProperty), 'Inverse Of' (Assembles), 'Domains (intersection)' (Product), 'Ranges (intersection)' (Workstation), 'Disjoint With', and 'SuperProperty Of (Chain)'.

Fonte: A autora

Figura 26 - Indivíduo da classe *Workstation* e suas características



Fonte: A autora

É importante mencionar que, durante o desenvolvimento do modelo, foram realizadas diversas adaptações com relação à taxonomia, indivíduos e propriedades, com o objetivo de representar o domínio desta pesquisa da melhor maneira possível. Da mesma forma, ao longo do desenvolvimento do modelo ontológico foram consultadas diversas vezes as questões de competência.

Assim, o *reasoner* Pellet foi utilizado para verificação de inconsistências durante toda a construção da ontologia. Por esse motivo, ao fim do desenvolvimento do modelo nenhuma inconsistência foi encontrada. Além disso, como pode se verificar nas Figura 17, Figura 18, 19, 20, Figura 22 e Figura 26, as informações destacadas em amarelo são inferências realizadas pelo *reasoner* (máquina de inferências).

Após executar todas as etapas propostas pelo Método 101, foi possível atingir o objetivo específico de construir o artefato (i.e., modelo ontológico e método de aplicação), bem como partir para a quarta etapa da abordagem metodológica adotada neste trabalho – Demonstração da Solução. Dessa maneira, a próxima seção apresenta as buscas realizadas para identificar se o modelo criado é capaz de responder a essas questões de competência propostas inicialmente.

4.4 DEMONSTRAÇÃO DA SOLUÇÃO

Seguindo a abordagem metodológica adotada por esta pesquisa, essa etapa tem por objetivo demonstrar a solução. Para tal, algumas buscas foram feitas na ontologia, primeiramente, através do *plug-in* Snap SPARQL do Protégé 5.2.0, o qual possui diversas ferramentas e função que auxiliam na estruturação das *queries* em linguagem SPARQL.

A construção, demonstração e avaliação de ontologias é motivado por sua aplicação em diferentes cenários. Esses cenários podem ser apresentados como históricos de problemas ou exemplos que não possam ser solucionados por ontologias já existentes (GRÜNINGER; FOX,

1995). Dessa forma, utilizar cenários para a fase de demonstração da solução ajuda a definir o alcance da ontologia, ou seja, até que ponto novas classes e propriedades devem ser adicionadas.

Diante disso, dois cenários foram considerados. Os dois cenários representam produtos que devem ter suas características consideradas e a possibilidade de produção analisada. A **Tabela 1** apresenta os dois cenários utilizados para demonstrar a solução.

A partir desses cenários, realizou-se algumas buscas com o propósito de identificar se o modelo desenvolvido seria capaz de auxiliar de maneira satisfatória a resolver os problemas estabelecidos dentro do domínio desta pesquisa. *Queries* são consideradas requisitos no formato de perguntas que a ontologia deve ser capaz de responder (GRÜNINGER; FOX, 1995). Essas buscas foram baseadas nas questões de competência definidas na seção 3.3.2, no início da etapa de desenvolvimento da solução. O Quadro 2 correlaciona as *queries* às questões de competência.

Tabela 1 - Descrição das peças que representam os cenários utilizados

	Produto 1	Produto 2
Dimensão (mm)	eixo X	310
	eixo Y	300
	eixo Z	210
Força Prensagem (N)	200	1000
Torque (N.m)	50	30

Fonte: A autora.

Quadro 2 - Correlação - Queries / Questões de Competência

Query		Questão de Competência	
(1)	Quais os equipamentos pertencem a estação de trabalho - Workstation 310?	-	-
(2)	Quais produtos são produzidos na estação de trabalho - Workstation 310?	-	-
(3)	Quais equipamentos são capazes e quais não são capazes de produzir o Produto 1 (Tabela 1), considerando apenas suas dimensões?	QC1	Quais equipamentos são capazes e quais não são capazes de produzir uma peça que possui as seguintes medidas: eixo x – X mm, eixo y – Y mm e eixo z – Z mm? E em que linha ele(s) se encontra(m)?

Quadro 2 - Correlação - Queries / Questões de Competência

Query		Questão de Competência	
(4)	Quais os equipamentos são capazes e quais não são capazes de produzir o Produto 1 (Tabela 1) considerando apenas a Força de Prensagem e o Torque necessários?	QC2	Quais equipamentos são capazes e quais não são capazes de produzir uma peça que necessita de força de prensagem de P e um torque maior ou igual a T? E em que linha ele(s) se encontra(m)?
(5)	Quais os motivos pelos quais os equipamentos não são capazes de fabricar o Produto 1 (Tabela 1)?	QC3	Caso o(s) equipamento(s) não seja(m) capaz(es) de produzir a peça, qual o motivo?
(6)	Considerando a Query (5) para o Produto 2 (Tabela 1) ordenar todos os equipamentos por grau de prioridade de análises.	QC4	Ordenar por grau de prioridade de análises, considerando todos os tipos de equipamentos.

Fonte: A autora.

4.4.1 Queries

Com o intuito de identificar se o modelo criado teria a capacidade de retornar as informações previamente estipuladas, buscas (*queries*) foram realizadas utilizando o *plug-in* Snap SPARQL do Protégé 5.2.0.

As primeiras *queries* realizadas foram mais simples e buscam identificar indivíduos a partir de suas características. Assim, a primeira *query*, ilustrada na Figura 27, exemplifica uma busca simples a qual pretende responder a seguinte pergunta: Quais os equipamentos pertencem a estação de trabalho *Workstation 310*? (1). Como resposta obteve-se que a *Press2*, *Press3*, *Screwdriver1* e *Screwdriver2* pertenciam a estação de trabalho *Workstation 310*.

```

PREFIX fos:
<http://www.semanticweb.org/jaqueline/ontologies/2017/10/untitled-ontology-6#>
SELECT ?Device
WHERE { fos:Workstation310 fos:hasDevice ?Device.
}

```

(1)

Figura 27 - Resultado da busca no *plug-in* Snap-SPARQL

SPARQL query:	
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>	
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>	
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>	
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>	
PREFIX fos: <http://www.semanticweb.org/jaqueline/ontologies/2017/10/untitled-ontology-6#>	
SELECT ?Device	
WHERE { fos:Workstation310 fos:hasDevice ?Device.	
}	
	Device
Press2	
Press3	
Screwdriver2	
Screwdriver1	

Fonte: A autora

Outra busca similar é apresentada na Figura 28, onde buscou-se identificar quais veículos são produzidos em uma determinada estação de trabalho. Considerando-se que três produtos estão representados no domínio, cada um com suas características de fabricação, espera-se que o processo produtivo dos modelos seja distinto, e que cada modelo utilize apenas as estações de trabalho necessárias à sua fabricação. Sendo assim, o resultado obtido com essa busca está relacionado a quais postos de trabalho devem ser utilizados para a fabricação de um determinado veículo. No caso dessa busca, o produto produzido pela estação de trabalho 310 (Workstation310) é o modelo ProductA2.1.

```

PREFIX fos:
<http://www.semanticweb.org/jaqueline/ontologies/2017/10/untitled-
ontology-6#>
SELECT ?Product
WHERE { fos:Workstation310 fos:Assembles ?Product.
}

```

(2)

Figura 28 - Resultado de busca de modelo de veículo a partir da estação de trabalho

SPARQL query:	
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>	
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>	
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>	
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>	
PREFIX fos: <http://www.semanticweb.org/jaqueline/ontologies/2017/10/untitled-ontology-6#>	
SELECT ?Product	
WHERE { fos:Workstation310 fos:Assembles ?Product.	
}	
	Product
ProductA2.1	

Fonte: A autora.

Através desses dois exemplos, pode-se notar que uma *query* é sempre composta de duas partes: SELECT e WHERE (STAAB; STUDER, 2010). A primeira parte, SELECT, especifica as variáveis que devem ser extraídas como resultado das buscas. A segunda parte, WHERE,

corresponde ao formato de triplas (i.e., sujeito – predicado – objeto), ou seja, representa as restrições que devem estar presentes nas soluções da *query*.

Com o objetivo de se chegar a *queries* capazes de descreverem as questões de competência, buscas mais complexas foram formuladas. Pois caso o modelo fosse submetido a uma situação real (i.e., análise de fabricação de um produto), essas buscas demonstrariam a utilidade da ontologia desenvolvida. Então, na sequência, outra busca associada a primeira questão de competência foi realizada. Dessa forma a *query* tem como objetivo demonstrar que a ontologia é capaz de identificar quais equipamentos são capazes e quais não são capazes de produzir uma peça, a partir de determinadas dimensões, representadas por valores nos eixos x, y e z, e em que linha o equipamento se encontra.

A busca relacionada a essa questão e suas respostas são apresentadas na Figura 29. Pode-se perceber que a fabricação do produto, aqui representado pelas medidas no eixo x de 310mm, eixo y de 300mm e eixo z de 210mm –Produto1 dos cenários, está associada às propriedades que indicam restrições de fabricação relacionadas a dimensão do produto (i.e., `hasDimensionMaxXValue`, `hasDimensionMaxYValue` e `hasDimensionMaxZValue`). Assim, a variável que contém um intervalo de dimensões que satisfaz essas restrições, representada por `?Equipment`, `?Assembly_Potential` e `?Line`, deve ser o resultado da busca.

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX fos:
http://www.semanticweb.org/jacqueline/ontologies/2017/10/untitled-
ontology-6#
SELECT ?Device ?Assembly_Potential ?Line
WHERE {?Device fos:hasDimensionMaxZValue ?z.
?Device fos:hasDimensionMaxYValue ?y.
?Device fos:hasDimensionMaxXValue ?x.
?Device fos:isPartOfWorkstation ?work.
?Line fos:hasWorkstation ?work.
BIND ((if((?z >= 210.0 && ?y >= 300.0 && ?x >=310.0 ), "YES",
"NO")) as ?Assembly_Potential)
}

```

(3)

Figura 29 - Resultado de busca de equipamento a partir de dimensões do produto

SPARQL query:

```
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX fos: <http://www.semanticweb.org/jaqueline/ontologies/2017/10/untitled-ontology-6#>
SELECT ?Device ?Assembly_Potential ?Line
WHERE {?Device fos:hasDimensionMaxZValue ?z.
?Device fos:hasDimensionMaxYValue ?y.
?Device fos:hasDimensionMaxXValue ?x.
?Device fos:isPartOfWorkstation ?work.
?Line fos:hasWorkstation ?work.
BIND ((if((?z >= 210.0 && ?y >= 300.0 && ?x >= 310.0),"YES", "NO")) as ?Assembly_Potential)
}
```

Device	Assembly_Potential	Line
Press1	"NO"	Line1
Press3	"NO"	Line1
Press2	"YES"	Line1
Press4	"YES"	Line1

Fonte: A própria autora

Dessa maneira, a partir da Figura 29, pode-se concluir que para as dimensões dadas pelo Produto1, as prensas Press4 e Press2 são capazes de fabricar o produto, já a Press3 e Press1 não são capazes, e que todas encontram-se na linha Line1.

A próxima busca teve como finalidade responder a segunda questão de competência, que corresponde a identificar quais os equipamentos são capazes e quais não são capazes de produzir um produto que necessite de uma dada força de prensagem de P e um torque maior ou igual a T, e apontar em que linha o equipamento se encontra. Para essa query foram utilizados para P e T os valores apresentados na seção **Erro! Indicador não definido**.4.4 para o Produto1.

```
PREFIX fos:
<http://www.semanticweb.org/jaqueline/ontologies/2017/10/untitled-ontology-6#>
SELECT *WHERE
{{SELECT ?Device ?Line ?Assembly_Potential
WHERE {?Device fos:hasPressureForceMaxValue ?max.
?Device fos:hasPressureForceMinValue ?min.
?Device fos:isPartOfWorkstation ?work.
?Line fos:hasWorkstation ?work.
BIND ((if((?max >=200.00 && ?min >=200.00), "YES", "NO"))
as ?Assembly_Potential)}}
UNION
{SELECT ?Device ?Line ?Assembly_Potential
WHERE { ?Device fos:hasTorqueValue ?value.
?Device fos:isPartOfWorkstation ?work.
?Line fos:hasWorkstation ?work.
BIND ((if((?value >= 50.0),"YES", "NO")) as ?Assembly_Potential)
} } }
```

(4)

Figura 30 - Resultado de busca a partir de valor de força de prensagem e torque

SPARQL query:

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX fos: <http://www.semanticweb.org/jaqueline/ontologies/2017/10/untitled-ontology-6#>
SELECT *WHERE
{{(SELECT ?Device ?Line ?Assembly_Potential
WHERE(?Device fos:hasPressureForceMaxValue ?max.
?Device fos:hasPressureForceMinValue ?min.
?Device fos:isPartOfWorkstation ?work.
?Line fos:hasWorkstation ?work.
BIND ((if(?max >=200.00 && ?min >=200.00), "YES", "NO")) as ?Assembly_Potential)}}
UNION
{{(SELECT ?Device ?Line ?Assembly_Potential
WHERE {
?Device fos:hasTorqueValue ?value.
?Device fos:isPartOfWorkstation ?work.
?Line fos:hasWorkstation ?work.
BIND ((if(?value >= 50.0), "YES", "NO")) as ?Assembly_Potential
}}}

```

Device	Line	Assembly_Potential
Press1	Line1	"NO"
Press4	Line1	"NO"
Press2	Line1	"YES"
Press3	Line1	"YES"
Screwdriver2	Line1	"NO"
Screwdriver2	Line1	"NO"
Screwdriver3	Line1	"YES"
Screwdriver1	Line1	"YES"
Screwdriver7	Line1	"YES"
Screwdriver6	Line1	"YES"
Screwdriver4	Line1	"NO"
Screwdriver5	Line1	"YES"
Screwdriver8	Line1	"YES"

Fonte: A autora

O resultado dessa busca está representado na Figura 30. Pode-se concluir através dessa *query* que os equipamentos que não tem capacidade de produção a partir das restrições de valor de força de prensagem e torque são: Press1, Press4, Screwdriver2 e Screwdriver4. Assim como no resultado da primeira busca, todos os equipamentos pertencem a linha Line1. Isso se deve ao fato dessa ter sido a linha escolhida na etapa de determinação do domínio para ser representada.

A próxima busca, a qual representa a terceira questão de competência, permite aos analistas identificar quais os motivos pelos quais os equipamentos não são capazes de fabricar determinado produto. Para a construção dessa *query* optou-se por unir as duas questões já apresentadas, de forma a aproximar-se de um cenário real encontrado pelos analistas. Assim, utilizaram-se novamente os parâmetros apresentados na Tabela 1, considerando-se o Produto1.

```

PREFIX fos:
<http://www.semanticweb.org/jaqueline/ontologies/2017/10/untitled-
ontology-6#>
SELECT *WHERE
{{SELECT ?Equipment ?Line ?Assembly_Potential ?Maximum_limit_for_Z
_axis_dimension_not_attended ?Maximum_limit_for_Y_axis_dimension_no
t_attended ?Maximum_limit_for_X_axis_dimension_not_attended ?Pressu
re_Force_Max_not_attended ?Pressure_Force_Min_not_attended
WHERE
{?Equipment fos:hasMaximumZValue ?z.
?Equipment fos:hasMaximumYValue ?y.
?Equipment fos:hasMaximumXValue ?x.
?Equipment fos:hasPressureForceMaxValue ?max.
?Equipment fos:hasPressureForceMinValue ?min.
?Equipment fos:isPartOfWorkstation ?work.
?Line fos:hasWorkstation ?work.
BIND ((if((?z >= 210.0 && ?y >= 300.0 && ?x >=310.0 && ?max
>=200.00 && ?min >=200.00)), "YES", "NO")) as ?Assembly_Potential)
BIND ((if((?z >= 210.0), "", "X"))
as ?Maximum_limit_for_Z_axis_dimension_not_attended)
BIND ((if((?y >= 300.0), "", "X")) )
as ?Maximum_limit_for_Y_axis_dimension_not_attended)
BIND ((if((?x >= 310.0), "", "X")) )
as ?Maximum_limit_for_X_axis_dimension_not_attended)
BIND ((if((?max >= 200.0), "", "X"))
as ?Pressure_Force_Max_not_attended)
BIND ((if((?min >= 200.0), "", "X"))
as ?Pressure_Force_Min_not_attended) }}
UNION
{ SELECT ?Equipment ?Line ?Assembly_Potential ?Torque_value_not_
attended
WHERE
{?Equipment fos:hasTorqueValue ?value.
?Equipment fos:isPartOfWorkstation ?work.
?Line fos:hasWorkstation ?work.
BIND ((if((?value >= 50.0), "YES", "NO")) as ?Assembly_Potential)
BIND ((if((?value >=50.0), "", "X"))
as ?Torque_value_not_attended)} } }

```

Figura 31 - Resultado de busca do equipamento que não tem potencial de fabricabilidade

SPARQL query:

```

PREFIX fos: <http://www.semanticweb.org/jaqueline/ontologies/2017/10/untitled-ontology-6#>
SELECT *WHERE
[[SELECT ?Equipment ?Line ?Assembly_Potential ?Maximum_limit_for_Z_axis_dimension_not_attended ?Maximum_limit_for_Y_axis_dimension_not_attended ?Maximum_limit_for_X_axis_dimension_not_attended ?Pressure_Force_Max_not_attended ?Pressure_Force_Min_not_attended
WHERE
{?Equipment fos:hasMaximumZValue ?z.
?Equipment fos:hasMaximumYValue ?y.
?Equipment fos:hasMaximumXValue ?x.
?Equipment fos:hasPressureForceMaxValue ?max.
?Equipment fos:hasPressureForceMinValue ?min.
?Equipment fos:isPartOfWorkstation ?work.
?Line fos:hasWorkstation ?work.
BIND ((if((?z >= 210.0 && ?y >= 300.0 && ?x >=310.0 && ?max >=200.00 && ?min >=200.00)), "YES", "NO")) as ?Assembly_Potential)
BIND ((if((?z >= 210.0), "", "X")) as ?Maximum_limit_for_Z_axis_dimension_not_attended)
BIND ((if((?y >= 300.0), "", "X")) as ?Maximum_limit_for_Y_axis_dimension_not_attended)
BIND ((if((?x >= 310.0), "", "X")) as ?Maximum_limit_for_X_axis_dimension_not_attended)
BIND ((if((?max >= 200.0), "", "X")) as ?Pressure_Force_Max_not_attended)
BIND ((if((?min >= 200.0), "", "X")) as ?Pressure_Force_Min_not_attended) }}
UNION
[[SELECT ?Equipment ?Line ?Assembly_Potential ?Torque_value_not_attended
WHERE
{
?Equipment fos:hasTorqueValue ?value.
?Equipment fos:isPartOfWorkstation ?work.
?Line fos:hasWorkstation ?work.
BIND ((if((?value >= 50.0), "YES", "NO")) as ?Assembly_Potential)
BIND ((if((?value >=50.0), "", "X")) as ?Torque_value_not_attended)} } ]]
```

Equipment	Line	Assembly_Potential	Maximum_limit_for_Z_axis_dimension_not_attended	Maximum_limit_for_Y_axis_dimension_not_attended	Maximum_limit_for_X_axis_dimension_not_attended	Pressure_Force_Max_not_attended	Pressure_Force_Min_not_attended	Torque_value_not_attended
Press3	PTAR	"NO"	--	--	"X"	--	--	--
Press1	PTAR	"NO"	"X"	--	--	--	"X"	--
Press4	PTAR	"NO"	--	--	--	--	--	"X"
Press2	PTAR	"YES"	--	--	--	--	--	--
Screwdriver2	PTAR	"NO"	--	--	--	--	--	"X"
Screwdriver2	PTAR	"NO"	--	--	--	--	--	"X"
Screwdriver3	PTAR	"YES"	--	--	--	--	--	--
Screwdriver1	PTAR	"YES"	--	--	--	--	--	--
Screwdriver7	PTAR	"YES"	--	--	--	--	--	--
Screwdriver6	PTAR	"YES"	--	--	--	--	--	--
Screwdriver4	PTAR	"NO"	--	--	--	--	--	"X"
Screwdriver5	PTAR	"YES"	--	--	--	--	--	--
Screwdriver8	PTAR	"YES"	--	--	--	--	--	--

Fonte: A autora

Através dos resultados obtidos com esta busca (Figura 31), os engenheiros e analistas de processo podem identificar mais facilmente qual o motivo responsável pelo equipamento não ser capaz de produzir determinado produto, auxiliando na agilidade da adaptação de meios produtivos ou na alteração dos requisitos do produto, caso seja viável.

A última busca corresponde a quarta questão de competência e tem como objetivo ordenar por grau de prioridade de análises, considerando todos os tipos de equipamentos de acordo com critérios determinados. Para a construção dessa *query* optou-se por unir todas as questões de competência já apresentadas, de forma a aproximar-se ainda mais de um cenário real encontrado pelos analistas. Dessa maneira, para aplicar essa busca, utilizou-se os parâmetros indicados pelo Tabela 1 para o Produto2. A

Figura 32 apresenta o resultado da última questão de competência de acordo com o ordenamento de prioridades.

```

PREFIX fos:
<http://www.semanticweb.org/jaqueline/ontologies/2017/10/untitled-
ontology-6#>
SELECT *WHERE{{
SELECT ?Device ?Production_Line ?Assembly_Potential
?Maximum_limit_for_Z_axis_dimension_not_attended
?Maximum_limit_for_Y_axis_dimension_not_attended
?Maximum_limit_for_X_axis_dimension_not_attended
?Pressure_Force_Max_not_attended ?Pressure_Force_Min_not_attended
WHERE{?Device fos:hasDimensionMaxZValue ?z.
?Device fos:hasDimensionMaxYValue ?y.
?Device fos:hasDimensionMaxXValue ?x.
?Device fos:hasPressureForceMaxValue ?max.
?Device fos:hasPressureForceMinValue ?min.
?Device fos:isPartOfWorkstation ?work.
?Production_Line fos:hasWorkstation ?work.
?Device fos:hasAnalysisPriority ?Priority
BIND ((if((?z >= 200.0 && ?y >= 315.0 && ?x >=200.0 && ?max >=1000.00
&& ?min >=100.00), "YES", "NO")) as ?Assembly_Potential)
BIND ((if((?z >= 200.0), "", "X")) as
?Maximum_limit_for_Z_axis_dimension_not_attended)
BIND ((if((?y >= 315.0), "", "X") ) as
?Maximum_limit_for_Y_axis_dimension_not_attended)
BIND ((if((?x >= 200.0), "", "X ") as
?Maximum_limit_for_X_axis_dimension_not_attended)
BIND ((if((?max >= 1000.0), "", "X")) as
?Pressure_Force_Max_not_attended)
BIND ((if((?min >= 1000.0), "", "X")) as
?Pressure_Force_Min_not_attended)}}
UNION{SELECT ?Device ?Production_Line ?Assembly_Potential
?Torque_value_not_attended
WHERE{?Device fos:hasTorqueValue ?value.
?Device fos:isPartOfWorkstation ?work.
?Production_Line fos:hasWorkstation ?work.?Device
fos:hasAnalysisPriority ?Priority
BIND ((if((?value >= 30.0), "YES", "NO")) as ?Assembly_Potential)

```

(6)

```

BIND ((if((?value >=30.0),"", "X")) as ?Torque_value_not_attended)
}}}}ORDER BY ?Assembly_Potential DESC (?Priority)

```

Figura 32 - Resultado da ordenação por ordem de prioridade e Assembly_Potential

SPARQL query:

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX fos: <http://www.semanticweb.org/jaqueline/ontologies/2017/10/untitled-ontology-6#>
SELECT *WHERE
{(SELECT ?Device ?Production_Line ?Assembly_Potential ?Maximum_limit_for_Z_axis_dimension_not_attended ?Maximum_limit_for_Y_axis_dimension_not_attended ?Maximum_limit_for_X_axis_dimension_not_attended ?Pressure_Force_Max_
WHERE
{?Device fos:hasDimensionMaxZValue ?z.
?Device fos:hasDimensionMaxYValue ?y.
?Device fos:hasDimensionMaxXValue ?x.
?Device fos:hasPressureForceMaxValue ?max.
?Device fos:hasPressureForceMinValue ?min.
?Device fos:isPartOfWorkstation ?work.
?Production_Line fos:hasWorkstation ?work.
?Device fos:hasAnalysisPriority ?Priority
BIND ((if((?z >= 200.0 && ?y >= 315.0 && ?x >= 200.0 && ?max >= 1000.00 && ?min >= 100.00), "YES", "NO")) as ?Assembly_Potential)
BIND ((if((?z >= 200.0),"", "X")) as ?Maximum_limit_for_Z_axis_dimension_not_attended)
BIND ((if((?y >= 315.0),"", "X")) as ?Maximum_limit_for_Y_axis_dimension_not_attended)
BIND ((if((?x >= 200.0),"", "X")) as ?Maximum_limit_for_X_axis_dimension_not_attended)
BIND ((if((?max >= 1000.0),"", "X")) as ?Pressure_Force_Max_not_attended)
BIND ((if((?min >= 1000.0),"", "X")) as ?Pressure_Force_Min_not_attended)
}}
UNION{
SELECT ?Device ?Production_Line ?Assembly_Potential ?Torque_value_not_attended
WHERE

```

Device	Production_Line	Assembly_Potential	Maximum_limit_for_Z_axis_dimension...	Maximum_limit_for_Y_axis_dimension...	Maximum_limit_for_X_axis_dimension...
Press1	Line1	"NO"			
Press2	Line1	"NO"	""	"X"	""
Press4	Line1	"NO"	""	""	""
Screwdriver2	Line1	"NO"			
Screwdriver2	Line1	"NO"			
Press3	Line1	"YES"	""	""	""
Screwdriver3	Line1	"YES"			
Screwdriver1	Line1	"YES"			
Screwdriver7	Line1	"YES"			
Screwdriver6	Line1	"YES"			
Screwdriver4	Line1	"YES"			
Screwdriver5	Line1	"YES"			
Screwdriver8	Line1	"YES"			

Fonte: A autora

4.4.2 Stardog

Todas as buscas realizadas no *plug-in* Snap-SPARQL, apresentadas anteriormente, foram executadas também na plataforma Stardog. Através dessa plataforma é possível realizar buscas em bases de dados RDF, de maneira mais rápida do que através do editor Protégé.

Inicialmente, para inserir o modelo ontológico como uma base de dados nessa plataforma, criou-se um arquivo em RDF a partir do OWL proveniente do Protégé 5.2.0. Após a criação da base, as buscas puderam ser realizadas utilizando-se as mesmas *queries* apresentadas anteriormente em linguagem SPARQL.

Conclui-se então que a adoção dessa plataforma é recomendada, uma vez que ela permite salvar o modelo, permitindo que ele fique disponível em outros computadores e locais, para que sejam visualizados, editados e que buscas sejam realizadas, sendo uma boa alternativa para empresas.

4.4.3 Interface com o usuário

Foi criada uma interface para facilitar a interpretação dos resultados obtidos por meio do Stardog, já que é uma plataforma que pode ser acessada mais facilmente pelos usuários. Assim, os resultados extraídos do Stardog com as *queries* foram exportados em formato *tsv* (formato compatível com o Excel).

Buscou-se então tratar e tornar mais visual os resultados obtidos através das *queries*, para que os usuários identificassem os equipamentos que seriam capazes ou não de fabricar determinado produto. Assim, através da Figura 33 observa-se que foram estipuladas duas cores para essa representação, onde verde indica que um equipamento é capaz de produzir e a cor vermelha simboliza que um equipamento não é capaz de produzir determinado produto.

Além da distinção por cores, foi utilizada uma planta baixa da linha representada pelo domínio do modelo. Com isso a identificação da localização dos equipamentos na linha de produção foi facilitada, auxiliando análises e buscas a possíveis equipamentos alternativos para cada caso.

As Figura 33 e Figura 34 apresentam respectivamente a interface de acordo com os resultados obtidos para a quarta questão de competência para o Produto1 e o Produto2 (Tabela 1). Percebe-se que a interface apresenta resultados diferentes em cada uma das figuras, dessa maneira concluiu-se que a interface funcionaria para qualquer outro cenário, e optou-se por utilizá-la na fase de avaliação da solução, quando o modelo foi apresentado ao usuário.

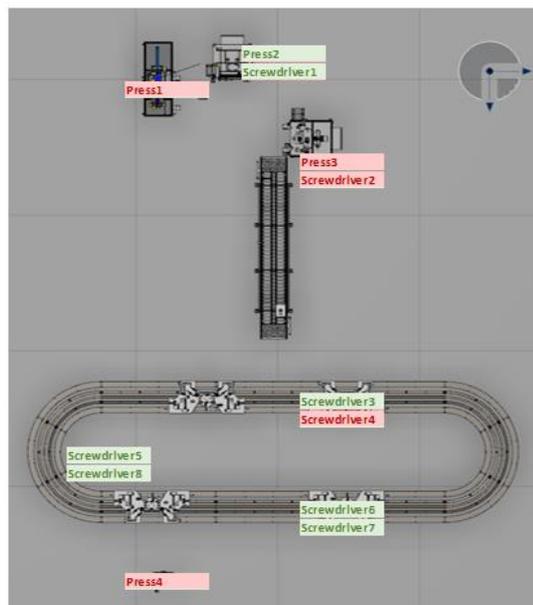
Figura 33 - Resultado apresentado pela interface para o Produto 1

Inserir abaixo o arquivo tsv do stardog

?Equipment	?Line	?Assembly_Potentia	?Maximum_	?Maximum_limit_for	?Maximum_limit_for	?Pressure_Force_f	?Pressure_Force_f	?Torque_value_not_attended
<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	NO						X
<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	NO						X
<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	NO						
<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	NO						
<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	NO	X					
<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	YES						
<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	YES						
<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	YES						
<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	YES						
<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	YES						
<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	YES						
<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	<http://www.semanticweb.org/jaquelineo	YES						

Show
Clear

Equipment	Line	Assembly Potential	Not Attended					
			Maximum limit for Z axis dimension	Maximum limit for Y axis dimension	Maximum limit for X axis dimension	Pressure Force Max	Pressure Force Min	Torque value
Press1	PTAR	NO	X					
Press3	PTAR	NO			X			
Press4	PTAR	NO					X	
Screw driver2	PTAR	NO						X
Screw driver4	PTAR	NO						X
Press2	PTAR	YES						
Screw driver3	PTAR	YES						
Screw driver1	PTAR	YES						
Screw driver7	PTAR	YES						
Screw driver6	PTAR	YES						
Screw driver5	PTAR	YES						
Screw driver8	PTAR	YES						



Fonte: A própria autora

Figura 34 - Resultado apresentado pela interface para o Produto 2

Inserir abaixo o arquivo tsv do stardog									
?Equipment	?Line	?Assembly_Potential	?Maximum_?Maximum_limit_for ?Maximum_limit_for ?Maximum_limit_for ?Pressure_Force_I ?Pressure_Force_I ?Torque_value_not_attended						
<http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ <http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ontologies/2011/NO			X				X		
<http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ <http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ontologies/2011/NO				X					
<http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ <http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ontologies/2011/NO							X		
<http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ <http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ontologies/2011/NO								X	
<http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ <http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ontologies/2011/YES									
<http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ <http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ontologies/2011/YES									
<http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ <http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ontologies/2011/YES									
<http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ <http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ontologies/2011/YES									
<http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ <http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ontologies/2011/YES									
<http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ <http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ontologies/2011/YES									
<http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ <http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ontologies/2011/YES									
<http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ <http://www.semanticweb.org/jaquelelo/ontologies/2011/YES									

Equipment	Line	Assembly Potential	Not Attended						
			Maximum limit for Z axis dimension	Maximum limit for Y axis dimension	Maximum limit for X axis dimension	Pressure Force Max	Pressure Force Min	Torque value	
Press1	PTAR	NO							
Press2	PTAR	NO		X				X	
Press4	PTAR	NO						X	
Screwdriver2	PTAR	NO							X
Press3	PTAR	YES							
Screwdriver3	PTAR	YES							
Screwdriver1	PTAR	YES							
Screwdriver7	PTAR	YES							
Screwdriver6	PTAR	YES							
Screwdriver4	PTAR	YES							
Screwdriver5	PTAR	YES							
Screwdriver8	PTAR	YES							



Fonte: A própria autora

Através dessa fase foi possível atingir o quarto objetivo específico dessa pesquisa, que buscava demonstrar a aplicação do artefato por meio de provas de conceito no contexto da empresa parceira. Então, seguindo a abordagem metodológica adotada por este trabalho, partiu-se para a etapa de avaliação da ontologia, a qual está descrita da seção 4.5.

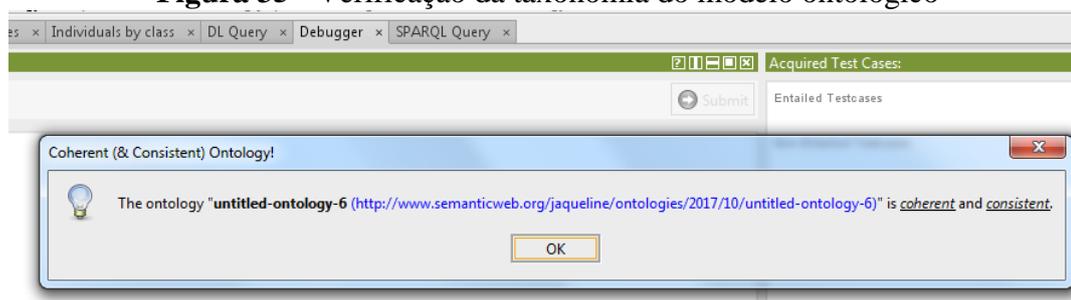
4.5 AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO

Nesta seção, a avaliação da solução proposta é apresentada. Seguindo os preceitos expostos na seção 2.6.2, a avaliação do modelo ontológico seguiu sete etapas, as quais representam as sete dimensões propostas por Fernández-Breis, Aranguren e Stevens (2009), assim como através da utilização das ferramentas ODEval e OOPS!

1) Avaliação da Estrutura do modelo

Primeiramente, utilizou-se a ferramenta ODEval, com o intuito de identificar possíveis inconsistências na taxonomia do modelo. Assim, a ferramenta *Debug Ontology* do editor Protégé 5.2.0, foi utilizada. O resultado dessa verificação, conforme apresentado na Figura 35, mostra que o modelo é coerente e consistente em relação a sua taxonomia, ou seja, não apresenta nenhum problema de circularidade ou redundâncias.

Figura 35 - Verificação da taxonomia do modelo ontológico



Fonte: A própria autora

Após essa verificação, partiu-se para a utilização da ferramenta OOPS!. Essa ferramenta, além de proporcionar uma avaliação global de ontologias, permite avaliar diversas dimensões isoladamente. Para essa etapa selecionou-se primeiramente a opção *Structural Dimension*, e logo em seguida as opções *Consistency*, *Completeness* e *Consciseness*. Dessa maneira, a ferramenta analisou cerca de vinte e quatro *pitfalls* (i.e., conceitos diferentes mesclados na mesma classe, utilização de definições recursivas, definição errada de classes equivalentes). Através da utilização da OOPS! não se obteve nenhuma recomendação relativa a essa dimensão, concluindo-se assim que a ontologia é coerente, consistente, concisa.

A estrutura do modelo também foi considerada satisfatória pelos analistas e engenheiros de processos, os quais classificaram a dimensão como “atinge o objetivo”. Obteve-se essa conclusão através de um questionário que foi aplicado e que englobou diversos critérios das sete dimensões avaliadas. Esse questionário e suas respostas encontram-se mais detalhados no Apêndices A e B.

Sendo assim, é possível afirmar que o modelo ontológico desenvolvido satisfaz os critérios de acurácia, coesão, consistência e integralidade, os quais representam a dimensão Estrutura da ontologia.

2) Avaliação da Funcionalidade do modelo

Através do emprego da OOPS!, selecionando-se a opção *Fuctional Dimension*, são verificadas oito *pitfalls*. De acordo com o resultado da avaliação da ferramenta pode-se concluir que não foi encontrada nenhuma *pitfall* relacionada a dimensão funcionalidade, conforme pode ser observado na Figura 36.

Além da utilização dessa ferramenta, é possível observar que todos os critérios de avaliação considerados por essa dimensão são atendidos pela ontologia, já que a mesma responde a todas as questões de competência previamente definidas. Então, pode-se reiterar que o modelo atende ao critério de avaliação Funcionalidade.

3) Avaliação da Confiabilidade do modelo

Posto que ao construir a ontologia levou-se em consideração que a mesma poderia ser adaptada e representar outros equipamentos e linhas produtivas, o modelo desenvolvido satisfaz o critério de robustez, afinal a mesma está totalmente preparada para receber novos indivíduos. Contudo, quanto a maturidade técnica, apesar de se utilizar o *reasoner* Pellet, o qual detecta com facilidade erros no modelo, pode-se afirmar que o modelo possui uma maturidade técnica minimamente aceitável.

4) Avaliação da Usabilidade do modelo

Assim como na avaliação da Estrutura do modelo, utilizou-se o questionário apresentado no Apêndice A para a Usabilidade do artefato ser avaliada pelo usuário. Verificou-se que para o critério reuso o modelo foi avaliado como “minimamente aceitável”, pois num primeiro contato o editor de ontologias Protégé 5.2.0 parece ser muito complexo. No entanto, o critério clareza foi avaliado como “atinge o objetivo” uma vez que com o auxílio da interface criada pode se perceber com clareza os objetivos e utilidade da ontologia.

Utilizou-se também para avaliar a usabilidade da ontologia a ferramenta OOPS!, a qual auxilia na identificação de possíveis melhorias para o entendimento do modelo pelo usuário. A ferramenta sinaliza a falta de padrão para a nomear classes, indivíduos e propriedades do modelo, conforme representado pela Figura 36, porém, ao verificar a ontologia não foi encontrada nenhuma nomenclatura fora do padrão adotado.

5) Avaliação da Manutenção do modelo

A ontologia pode ser testada à medida que permite o uso de ferramentas como “*Debug Ontology...*”, OOPS! e o *reasoner* Pellet para avaliar as modificações em sua taxonomia a qualquer momento. Com isso, o critério relacionado a capacidade de ser testada é satisfeito. Quanto ao critério mutabilidade, pode-se afirmar que a ontologia desenvolvida pode ser facilmente adaptada a diferentes contextos, visto que a mesma está preparada para servir qualquer empresa de manufatura.

6) Avaliação da Qualidade de uso do modelo

De acordo com as repostas para o questionário aplicado, a satisfação dos usuários e a efetividade do modelo atingem o objetivo proposto, conforme Apêndice B. Pode-se concluir que a ontologia responde às questões de competência apresentadas anteriormente e pode auxiliar no trabalho dos analistas e engenheiros de processos.

7) Avaliação da Eficiência do modelo

A eficiência computacional do modelo supera as expectativas, uma vez que o arquivo da ontologia desenvolvida consome apenas 118KB de memória. Todas as inferências (*reasoner* Pellet) e os resultados das *queries* (*plug-in* Snap SPARQL) demoram apenas alguns segundos para serem processados, utilizando-se um notebook com as seguintes configurações: Acer E14 - Intel®Core™ i5-6200U, 2.3GHz.

Após detalhar a avaliação do modelo ontológico realizada de acordo com cada uma das sete dimensões sugeridas por Fernández-Breis, Aranguren e Stevens (2009), a Figura 36 apresenta o resultado da avaliação da ontologia de maneira global.

Por fim, levando em consideração todos os 40 *pitfalls* que a ferramenta OOPS! analisa, obteve-se apenas sugestões de melhoria em alguns quesitos. Observa-se que outra sugestão de melhoria apresentada pela ferramenta foi acrescentar propriedades que representassem relações inversas às propriedades. Algumas propriedades, quando necessário, tiveram suas propriedades inversas representadas, como no caso da propriedade *Assembles*, que possui a inversa *isAssembledAt*. No entanto julgou-se durante o desenvolvimento do modelo não haver a necessidade de realizar essas declarações de maneira global.

Figura 36 - Resultados da avaliação segundo a OOPS!

Evaluation results

It is obvious that not all the pitfalls are equally important; their impact in the ontology will depend on multiple factors. For this reason, each pitfall has an importance level attached indicating how important it is. We have identified three levels:

- **Critical** 🚫 : It is crucial to correct the pitfall. Otherwise, it could affect the ontology consistency, reasoning, applicability, etc.
- **Important** ⚠️ : Though not critical for ontology function, it is important to correct this type of pitfall.
- **Minor** 🟡 : It is not really a problem, but by correcting it we will make the ontology nicer.

[Expand All] | [Collapse All]

Results for P13: Inverse relationships not explicitly declared.	11 cases Minor 🟡
Results for P22: Using different naming conventions in the ontology.	ontology* Minor 🟡

According to the highest importance level of pitfall found in your ontology the conformace badge suggested is "Minor pitfalls" (see below). You can use the following HTML code to insert the badge within your ontology documentation:



```
<p>
<a href="http://oops.linkeddata.es"></a>
</p>
```

Fonte: A autora

Portanto, a partir da avaliação realizada, é possível afirmar que o modelo ontológico desenvolvido está de acordo com o contexto da avaliação de meios produtivos realizada durante o processo de desenvolvimento de produtos, podendo ser implementado na empresa.

Com a ontologia e a aplicação dos conceitos de DTh tornou-se possível integrar inteligentemente os conhecimentos do PDP, direcionar e auxiliar as análises dos processos produtivos correntes em novos produtos. Além disso, o modelo ontológico desenvolvido nessa pesquisa criou uma estrutura de informações com valor semântico, capaz de realizar inferências lógicas sobre significados que podem ser compartilhados e utilizados para outros domínios e cenários como parte complementar ou central de outras ontologias.

O modelo também permite interoperabilidade semântica já que possui a articulação de uma terminologia que se refere ao domínio de conhecimento representado, relações semânticas explicitadas que articulam todas as informações relacionadas ao domínio de conhecimento a qual se propõe e a representação de conceitos nas mensagens (*Annotations*), tornando possível compatibilizar as diferentes formas através das quais as empresas se referem a dados semelhantes.

Dessa forma, pode-se dizer que o quinto objetivo específico dessa pesquisa foi atingido.

5. CONCLUSÃO

Ao analisar os resultados da pesquisa realizada ao longo desse estudo pode-se perceber que o modelo ontológico proposto permite maior rapidez nas análises de engenharia. Mesmo com a disponibilidade de ferramentas avançadas de análise 3D, as empresas ainda encontram dificuldades em acessar rapidamente todas as informações necessárias que dão embasamento às análises. Portanto, a implementação de um método capaz de realizar a avaliação digital de sistemas produtivos permite a melhoria da qualidade da informação, reduzindo prazos e custos no PDP e garantindo maior satisfação do cliente final.

O artefato proposto é um modelo ontológico capaz de contribuir para avaliação digital de sistemas produtivos, auxiliando a rotina de trabalho dos engenheiros e analistas de processo, o qual utilizou técnicas de captura de conhecimento e inteligência artificial, implementando conceitos de DTh no PDP da empresa parceira. Os conhecimentos relativos a linha que produz eixos traseiros – domínio do modelo- foram capturados e estruturados através da construção da taxonomia.

Contar com a participação de uma empresa no fornecimento de dados reais para criar o modelo ontológico foi muito importante pelo fato de tornar o método mais confiável. A empresa não contava com nenhum método que auxiliasse a detectar antecipadamente a viabilidade do emprego dos processos produtivos correntes em novos produtos, nem que auxiliasse a antever o não atendimento dos requisitos dos processos e meios atuais da linha de montagem da empresa pelo próprio projetista. Portanto, o contexto dessa pesquisa baseou-se na criação de um método, atrelado ao uso de ferramentas necessárias.

Na etapa de demonstração da solução proposta, o modelo mostrou estar apto para responder às questões de competência propostas de maneira eficaz. A criação de uma interface visualmente mais amigável facilitou a interpretação das respostas geradas pelo modelo para os usuários. A partir das avaliações realizadas pode-se afirmar que a ontologia proposta é relevante a medida que atinge os resultados esperados, sendo capaz de auxiliar os analistas na execução de suas atividades.

O modelo ontológico se mostra pertinente já que contribui para a avaliação digital e facilita as tomadas de decisão relativas a sistemas produtivos, uma vez que se mostrou capaz de avaliar a adequação de sistemas produtivos existentes a solicitações de alterações de engenharia através da descrição dos sistemas de fabricação, o que facilita a configuração e simulação, bem como a recuperação, reutilização e gerenciamento de dados de projeto.

Com a aplicação de conceitos da abordagem DTh foi possível contribuir para a formação de um “tecido digital”, através da criação de um modelo computacional com a capacidade de

direcionar e apoiar as etapas do ciclo de vida do produto, permitindo a melhoria da qualidade da informação, resultando em menores prazos e custos no desenvolvimento de novos produtos.

Este trabalho teve como foco o estudo de uma linha de produção específica de uma determinada empresa do ramo automobilístico, contudo há a possibilidade do modelo proposto ser ajustado, no sentido de incluir mais linhas da empresa ou até mesmo ser adaptado para outros segmentos devido a maneira como foi construído.

A utilização da abordagem DSR neste projeto garantiu a delimitação das etapas a serem seguidas para o desenvolvimento do artefato, além de garantir que a solução proposta fosse aplicada e avaliada em um ambiente real de manufatura.

Dentre as atividades realizadas para o desenvolvimento do artefato, construir a ontologia e as *queries* foram as atividades mais desafiadoras. Para a adequada representação do domínio, o modelo foi alterado inúmeras vezes até que a taxonomia, os axiomas, propriedades e indivíduos representassem de maneira fiel o contexto. Outro desafio encontrado está relacionado a execução das queries, uma vez que a sintaxe da linguagem necessária para a utilização do *plug-in* Snap SPARQL não era conhecida pela pesquisadora.

Como limitações desse estudo pode-se citar a própria linguagem do *plug-in* Snap SPARQL. Apesar do artefato apresentar uma interface mais amigável dos resultados obtidos através das buscas, a linguagem utilizada para realizar as buscas pode não ser de fácil entendimento para muitos usuários, comprometendo assim a realização de buscas e o entendimento da ontologia.

Diante disso, como recomendações futuras, sugere-se o desenvolvimento de uma interface que possibilite a realização das buscas em linguagem natural, podendo ser desenvolvida através de uma plataforma cognitiva que utilize inteligência artificial. Essa interface viabilizaria a utilização do método proposto nesse trabalho. Além disso, ampliar o método proposto, adicionando linhas de produção e equipamentos ampliaria os resultados positivos obtidos com a solução proposta.

Outra recomendação futura é utilizar a plataforma Stardog para unificar bases de dados, formando uma base de dados comuns que cooperem entre si e alimentem/atualizem o modelo proposto de maneira automática.

Por fim, apesar do método proposto exigir conhecimentos em ontologia para que possa ser utilizado, o mesmo apresenta potencial de aumentar o desempenho das atividades dos analistas e engenheiros, e possibilitar a melhoria da eficiência, redução de custos e aumento da produtividade do PDP.

REFERÊNCIAS

- AGYAPONG-KODUA, K.; DARLINGTON, R.; RATCHEV, S. Towards the derivation of an integrated design and manufacturing methodology. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 26, n. 6, p. 527-539, 2013.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. D. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Malone, 2008. 721p.
- BARRETT, M.; DAVIDSON, E.; PRABHU, J.; VARGO, S. L. Service innovation in the digital age: key contributions and future directions. **MIS quarterly**, v. 39, n. 1, p. 135-154, 2015.
- BEN MILED, Zina; FRENCH, Mat O. Towards A Reasoning Framework for Digital Clones Using the Digital Thread. In: **55th AIAA Aerospace Sciences Meeting**. 2017. p. 873.
- BONAT, Debora. **Metodologia da pesquisa**. IESDE BRASIL SA, 2009.
- BOTERAM, F. Content architecture: semantic interoperability in na international comprehensive knowledge organization system. **Aslib Proceeding New Information Perspective**, v. 62, n. 4/5, p. 406-414, 2010.
- BRETTEL, Malte et al. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014.
- CAMBA, Jorge D. et al. On the integration of model-based feature information in Product Lifecycle Management systems. **International Journal of Information Management**, v. 37, n. 6, p. 611-621, 2017.
- CARBONE, Thomas A. Integrating operations and product development methodologies for improved product success using advanced product quality planning. In: **Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, 2005 IEEE/SEMI**. IEEE, 2005. p. 228-233.
- CHANDRASEGARAN, Senthil K. et al. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. **Computer-aided design**, v. 45, n. 2, p. 204-228, 2013.
- CHAPMAN, C. B.; PINFOLD, M. Design engineering—a need to rethink the solution using knowledge based engineering. **Knowledge-based systems**, v. 12, n. 5, p. 257-267, 1999.
- CHOI, SangSu et al. Digital manufacturing in smart manufacturing systems: contribution, barriers, and future directions. In: **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**. Springer, Cham, 2015. p. 21-29.
- CHUNG, M.; KIM, J. The Internet Information and Technology Research Directions based on the Fourth Industrial Revolution. **KSII Transactions on Internet & Information Systems**, v. 10, n. 3, p., 2016.

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

DEGBELO, Auriol. A Snapshot of Ontology Evaluation Criteria and Strategies. In: **Proceedings of the 13th International Conference on Semantic Systems**. ACM, 2017. p. 1-8..

DIAS, Raquel et al. The use of cognitive maps for requirements elicitation in product development. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 8, n. 2, p. 178-192, 2016.

DISTANONT, A.; HAAPASALO, H.; VAANANEN, M. Organising knowledge transfer in requirements engineering over organisational interfaces. **International Journal of Innovation and Learning**, v. 15, n. 1, p. 41-64, 2014.

DOURADO, João Paulo; SILVA, Rui; SILVA, Ângela M. E.. Development of new products using APQP and quality gates. 2015.

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

FAVARO, J.; MAZZINI, S.; SCHREINER, R.; DE KONING, H.-P.; OLIVE, X. 3.6.2 Next Generation Requirements Engineering. **INCOSE International Symposium**, v. 22, n. 1, p. 461-474, 2012.

FERNÁNDEZ-BREIS, J. T.; ARANGUREN, M. E.; STEVENS, R. A quality evaluation framework for bio-ontologies. In: **ICBO: International Conference on Biomedical Ontology**, 2009, p. 127-130.

FLORÉN, Henrik et al. Critical success factors in early new product development: a review and a conceptual model. **International Entrepreneurship and Management Journal**, v. 14, n. 2, p. 411-427, 2018.

FORTUNA, B.; GROBELNIK, M.; MLADENIĆ, D. Semi-automatic data-driven ontology construction system. 2006.

FRECHETTE, S. Model Based Enterprise for Manufacturing, N. **Duffie, ed., Omnipress, Madison, WI**, 2011.

FURINI, Francesco; ROSSONI, Marco; COLOMBO, Giorgio. Knowledge based engineering and ontology engineering approaches for product development: Methods and tools for design automation in industrial engineering. In: **ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition**. American Society of Mechanical Engineers, 2016.

GANGEMI, A.; CATENACCI, C.; CIARAMITA, M.; LEHMANN, J. Modelling Ontology Evaluation and Validation. **Heidelberg:Springer Berlin Heidelberg**, 2006. p. 140-154.

GAO, J.; BERNARD, A. An overview of knowledge sharing in new product development. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 94, n. 5-8, p. 1545-1550, 2017.

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

GÓMEZ-PÉREZ, Asunción; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, Mariano; CORCHO, Oscar. **Ontological Engineering: with examples from the areas of Knowledge Management, e-Commerce and the Semantic Web**. Springer Science & Business Media, 2006.

GÓMEZ-PÉREZ, A. Ontology Evaluation. In: Staab, S. e Studer, R. (Ed.). **Handbook on Ontologies**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004, p.251-273.

GÓMEZ-PÉREZ, A. OOPS!(OntOlogy Pitfall Scanner!): supporting ontology evaluation on-line.

GÓMEZ-PÉREZ, A. Evaluation of ontologies. **International Journal of intelligent systems**, v. 16, n. 3, p. 391-409, 2001.

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

GRÜNINGER, M.; FOX, M. S. Methodology for the design and evaluation of ontologies. 1995.

ISO 9126:2000 – Information technology — Software product quality —. Ginebra, 2000. 34p.

HARTMANN, Jens et al. D1. 2.3 Methods for ontology evaluation. **EU-IST Network of Excellence (NoE) IST-2004-507482 KWEB Deliverable D**, v. 1, 2005.

HAUKSDÓTTIR, D.; MORTENSEN, N. H.; NIELSEN, P. E. Identified adjustability dimensions when generating a product specific requirements specification by requirements reuse. **Computers in Industry**, v. 65, n. 6, p. 952-966, 2014.

HEDBERG, T.; LUBELL, J.; FISCHER, L.; MAGGIANO, L.; FEENEY, A. B. Testing the digital thread in support of model-based manufacturing and inspection. **Journal of Computing and Information Science in Engineering**, v. 16, n. 2, p. 21, 2016.

HELU, M.; HEDBERG, T. Enabling Smart Manufacturing Research and Development using a Product Lifecycle Test Bed. **Procedia Manufacturing**, v. 1, n., p. 86-97, 2015.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: **System Sciences (HICSS), 2016 49th Hawaii International Conference on**. IEEE, 2016. p. 3928-3937..

HEVNER, A.; CHATTERJEE, S. Design science research in information systems. In: (Ed.). **Design research in information systems**: Springer, 2010, p.9-22.

HLOMANI, H.; STACEY, D. Approaches, methods, metrics, measures, and subjectivity in ontology evaluation: A survey. **Semantic Web Journal**, v. 1, n. 5, p. 1-11, 2014.

HORRIDGE, Matthew; MUSEN, Mark. Snap-SPARQL: A java framework for working with SPARQL and OWL. In: **International Experiences and Directions Workshop on OWL**. Springer, Cham, 2015. p. 154-165.

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

KALAVRYTINOS, Christos; SIEVERTSEN, Ole Ivar. A knowledge-based engineering approach for offshore process plant design. In: **Engineering, Technology and Innovation (ICE), 2014 International ICE Conference on**. IEEE, 2014. p. 1-6.

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

KALYANPUR, A.; PARSIA, B.; SIRIN, E.; HENDLER, J. Debugging unsatisfiable classes in OWL ontologies. **Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web**, v. 3, n. 4, p. 268-293, 2005.

KANG, H. S.; LEE, J. Y.; CHOI, S.; KIM, H.; PARK, J. H.; SON, J. Y.; KIM, B. H.; NOH, S. D. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v. 3, n. 1, p. 111-128, 2016.

KANNAN, S. Manoj et al. Towards industry 4.0: gap analysis between current automotive MES and industry standards using model-based requirement engineering. In: **Software Architecture Workshops (ICSAW), 2017 IEEE International Conference on**. IEEE, 2017. p. 29-35.

KHALEEQ UZ ZAMAN, U.; SIADAT, A.; RIVETTE, M.; BAQAI, A. A.; QIAO, L. Integrated product-process design to suggest appropriate manufacturing technology: a review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 91, n. 1, p. 1409-1430, 2017.

KNAUSS, Eric et al. Openness and requirements: opportunities and tradeoffs in software ecosystems. In: **Requirements Engineering Conference (RE), 2014 IEEE 22nd International**. IEEE, 2014. p. 213-222.

KOLLIA I., GLIMM B., HORROCKS I. (2011) SPARQL Query Answering over OWL Ontologies. In: **Antoniou G. et al. (eds) The Semantic Web: Research and Applications**. ESWC 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6643. Springer, Berlin, Heidelberg

KRAFT, Edward M. The Air Force Digital Thread/Digital Twin-Life Cycle Integration and Use of Computational and Experimental Knowledge. In: **54th AIAA Aerospace Sciences Meeting**. 2016. p. 897.

LA ROCCA, G. Knowledge based engineering: Between AI and CAD. Review of a language based technology to support engineering design. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 2, p. 159-179, 2012.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & produção**, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LAMPOLTSHAMMER, T. J.; HEISTRACHER, T. Ontology evaluation with Protégé using OWLET. **Infocommunications Journal**, v. 6, n. 2, p. 12-17, 2014.

LEJON, E. **Information Management in Computer-Aided Product Development**. Luleå tekniska universitet, 2016.

LUBELL, Joshua et al. Model based enterprise/technical data package summit report. **NIST Technical Note**, 1753.

LUFT, T.; WARTZACK, S. Requirement analysis for contextual management and supply of process-and design knowledge—a case study. In: **DS 70: Proceedings of DESIGN 2012, the 12th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia**. 2012.

MEJÍA-GUTIÉRREZ, Ricardo; CARVAJAL-ARANGO, Ricardo. Design Verification through virtual prototyping techniques based on Systems Engineering. **Research in Engineering Design**, v. 28, n. 4, p. 477-494, 2017.

MIES, D.; MARSDEN, W.; WARDE, S. Overview of Additive Manufacturing Informatics:“A Digital Thread”. **Integrating Materials and Manufacturing Innovation**, v. 5, n. 1, p. 6, 2016.

MOURTZIS, Dimitris; DOUKAS, Michael; BERNIDAKI, Dimitra. Simulation in manufacturing: Review and challenges. **Procedia CIRP**, v. 25, p. 213-229, 2014.

MUCHERONI, Marcos Luiz; DA SILVA, José Fernando MODESTO. A interoperabilidade dos sistemas de informação sob o enfoque da análise sintática e semântica de dados na Web. **PontodeAcesso**, v. 5, n. 1, p. 3-18, 2011.

MUELLER, E.; CHEN, X.-L.; RIEDEL, R. Challenges and Requirements for the Application of Industry 4.0: A Special Insight with the Usage of Cyber-Physical System. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**. 2017.

NGUYEN, V. D.; MARTIN, P. Product design-process selection-process planning integration based on modeling and simulation. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 77, n. 1, p. 187-201, 2015.

NOY, N. F.; MCGUINNESS, D. L. **Ontology development 101: A guide to creating your first ontology**. 2001.

OBRST, L.; CEUSTERS, W.; MANI, I.; RAY, S.; SMITH, B. The evaluation of ontologies. In: (Ed.). **Semantic web**: Springer, 2007, p.139-158.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H. Projeto na engenharia. **São Paulo: Edgard Blücher**, 2005.

PEDERSEN, S. N.; CHRISTENSEN, M. E.; HOWARD, T. J. Robust design requirements specification: a quantitative method for requirements development using quality loss functions. **Journal of Engineering Design**, v. 27, n. 8, p. 544-567, 2016.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A design science research methodology for information systems research. **Journal of management information systems**, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

PERNSTÅL, J.; GORSCHKE, T.; FELDT, R.; FLORÉN, D. Requirements communication and balancing in large-scale software-intensive product development. **Information and Software Technology**, v. 67, p. 44-64, 2015.

PERSSON, Jan-Gunnar. Current trends in product development. **Procedia CIRP**, v. 50, p. 378-383, 2016.

POSADA, Jorge et al. Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet. **IEEE computer graphics and applications**, v. 35, n. 2, p. 26-40, 2015.

POVEDA-VILLALÓN, M.; GÓMEZ-PÉREZ, A.; SUÁREZ-FIGUEROA, M. C. Oops!(ontology pitfall scanner!): An on-line tool for ontology evaluation. **International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)**, v. 10, n. 2, p. 7-34, 2014.

POVEDA VILLALON, M.; SUÁREZ-FIGUEROA, M. C. OOPS!–OntOlogy Pitfalls Scanner!. 2012.

POVEDA VILLALÓN, M. **Ontology Evaluation: a pitfall-based approach to ontology diagnosis**. ETSI_Informatica, 2016.

QIN, Sheng-Feng; CHENG, Kai. Future Digital Design and Manufacturing: Embracing Industry 4.0 and Beyond. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, v. 30, n. 5, p. 1047-1049, 2017.

RAAD, Joe; CRUZ, Christophe. A survey on ontology evaluation methods. In: **Proceedings of the International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development, part of the 7th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management**. 2015.

REDDY, E. J.; SRIDHAR, C.; RANGADU, V. P. Knowledge based engineering: notion, approaches and future trends. **American Journal of Intelligent Systems**, v. 5, n. 1, p. 1-17, 2015.

REICHEL, T.; RÜNGER, G.; STEGER, D.; XU, H. It support for the creation and validation of requirements specifications - With a case study for energy efficiency. In: **ICED 11 - 18th International Conference on Engineering Design - Impacting Society Through Engineering Design**, 2011, p. 238-247.

ROCHA, J. R. P.; SALERNO, M. S. O papel do APQP–Advanced Planning for Product Quality no desenvolvimento de produtos: Análise de casos na relação montadora-autopeças. **Gestão e Produção, São Carlos**, v. 21, n. 2, p. 231-243, 2014.

ROSEN, R.; VON WICHERT, G.; LO, G.; BETTENHAUSEN, K. D. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. **IFAC-PapersOnLine**, v. 48, n. 3, p. 567-572, 2015.

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

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, 1990.

SHOUMAN, M. **Advanced Product Quality Planning And Control Plan Reference Manual**. Disponível em:

<http://www.academia.edu/1480547/ADVANCED_PRODUCT_QUALITY_PLANNING_AND_CONTROL_PLAN_Reference_Manual>. Acesso em 05 set. 2017.

SILVA, Daniela Lucas da; SOUZA, Renato Rocha; ALMEIDA, Maurício Barcellos. Uma comparação de metodologias para construção de ontologias e vocabulários controlados. 2013.

SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**: MIT press, 1996.

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

STAAB, S.; STUDER, R. **Handbook on ontologies**: Springer Science & Business Media, 2010.

TUEGEL, E. J.; KOBRYN, P.; ZWEBER, J. V.; KOLONAY, R. M. Digital Thread and Twin for Systems Engineering: Design to Retirement. In: **55th AIAA Aerospace Sciences Meeting**, 2017, p. 876.

VERHAGEN, W. J.; BERMELL-GARCIA, P.; VAN DIJK, R. E.; CURRAN, R. A critical review of Knowledge-Based Engineering: An identification of research challenges. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 1, p. 5-15, 2012.

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**, 2016Springer, p. 113-126.

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

VRANDEČIĆ, D. Ontology evaluation. In: (Ed.). **Handbook on ontologies**: Springer, 2009, p.293-313.

WAURZYNIAK, P. PLM Paves the Way for Manufacturing Innovations. **MANUFACTURING ENGINEERING**, v. 157, n. 4, p. 51, 2016.

WEST, T. D.; PYSTER, A. Untangling the Digital Thread: The Challenge and Promise of Model-Based Engineering in Defense Acquisition. **INSIGHT**, v. 18, n. 2, p. 45-55, 2015.

YAMAN, O.; ZHU, B.; ROY, U. Towards the development of an ontology-based product requirement model. In: ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE), 2014.

ZHOU, Keliang; LIU, Taigang; ZHOU, Lifeng. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: **Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2015 12th International Conference on**. IEEE, 2015. p. 2147-2152.

ZWEBER, J. V.; KOLONAY, R. M.; KOBRYN, P.; TUEGEL, E. J. Digital Thread and Twin for Systems Engineering: Requirements to Design. In: (Ed.). **55th AIAA Aerospace Sciences Meeting**: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A – MODELO DE QUESTIONÁRIO APLICADO

Questionário - Avaliação do modelo ontológico				
	Ultrapassa as expectativas	Atinge o objetivo	Minimamente aceitável	Inaceitável
Estrutura do Modelo				
<i>Acurácia</i> - O conhecimento gerado pela ontologia está de acordo com o contexto das análises de adequação de sistemas produtivos?				
<i>Coesão</i> - A forma como os termos da ontologia se relacionam entre si corresponde ao contexto das análises de adequação de sistemas produtivos?				
<i>Consistência</i> - As inferências realizadas na ontologia apresentam consistência lógica?				
<i>Integralidade</i> - O conhecimento esperado a cerca das análises de adequação de sistemas produtivos se encontra na ontologia?				
Usabilidade				
<i>Reuso</i> - A ontologia pode ser facilmente reutilizada?				
<i>Clareza</i> - Compreende-se com clareza os objetivos e a utilidade da ontologia?				
Qualidade de uso				
<i>Satisfação do usuário</i> - A ontologia pode ser utilizada para antecipar e direcionar análises e decisões relativas a adequação de sistemas produtivos?				
<i>Efetividade</i> - O modelo ontológico responde as questões de competência apresentadas?				

APÊNDICE B – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO APLICADO

Questionário - Avaliação do modelo ontológico				
	Ultrapassa as expectativas	Atinge o objetivo	Minimamente aceitável	Inaceitável
Estrutura do Modelo				
<i>Acurácia</i> - O conhecimento gerado pela ontologia está de acordo com o contexto das análises de adequação de sistemas produtivos?		x		
<i>Coesão</i> - A forma como os termos da ontologia se relacionam entre si corresponde ao contexto das análises de adequação de sistemas produtivos?		x		
<i>Consistência</i> - As inferências realizadas na ontologia apresentam consistência lógica?		x		
<i>Integralidade</i> - O conhecimento esperado a cerca das análises de adequação de sistemas produtivos se encontra na ontologia?		x		
Usabilidade				
<i>Reuso</i> - A ontologia pode ser facilmente reutilizada?			x	
<i>Clareza</i> - Compreende-se com clareza os objetivos e a utilidade da ontologia?		x		
Qualidade de uso				
<i>Satisfação do usuário</i> - A ontologia pode ser utilizada para antecipar e direcionar análises e decisões relativas a adequação de sistemas produtivos?		x		
<i>Efetividade</i> - O modelo ontológico responde as questões de competência apresentadas?		x		

Questionário - Avaliação do modelo ontológico

	Ultrapassa as expectativas	Atinge o objetivo	Minimamente aceitável	Inaceitável
Estrutura do Modelo				
<i>Acurácia</i> - O conhecimento gerado pela ontologia está de acordo com o contexto das análises de adequação de sistemas produtivos?		x		
<i>Coesão</i> - A forma como os termos da ontologia se relacionam entre si corresponde ao contexto das análises de adequação de sistemas produtivos?	x			
<i>Consistência</i> - As inferências realizadas na ontologia apresentam consistência lógica?	x			
<i>Integralidade</i> - O conhecimento esperado a cerca das análises de adequação de sistemas produtivos se encontra na ontologia?		x		
Usabilidade				
<i>Reuso</i> - A ontologia pode ser facilmente reutilizada?		x		
<i>Clareza</i> - Compreende-se com clareza os objetivos e a utilidade da ontologia?		x		
Qualidade de uso				
<i>Satisfação do usuário</i> - A ontologia pode ser utilizada para antecipar e direcionar análises e decisões relativas a adequação de sistemas produtivos?		x		
<i>Efetividade</i> - O modelo ontológico responde as questões de competência apresentadas?	x			