



Ontologias para modelos de negócio na pecuária de corte: uma revisão da literatura

Matheus Collares Machado¹, Ana Paula Lüdtke Ferreira¹

¹Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

{matheusmachado.aluno, anaferreira}@unipampa.edu.br

Abstract. *Ontologies are formal representations of concepts and their relationships, with semantics expressed by terms in Description Logics. Business models form the framework for testing the feasibility and financial results of enterprises. The description of a business model as an ontology allows the inference of knowledge about the business and the generation and combination of models to build software applications. This paper presents a literature review on business model and beef cattle ontologies as a basis for identifying research opportunities in the area.*

Resumo. *Ontologias são representações formais de conceitos e de seus relacionamentos, com semântica expressa por Lógicas de Descrições. Modelos de negócio formam o arcabouço para teste de viabilidade e resultados econômicos de empreendimentos. A descrição de um modelo de negócio como uma ontologia permite tanto a inferência de conhecimento sobre o negócio quanto gerar e combinar modelos na forma de aplicações de software. Este trabalho apresenta uma revisão da literatura sobre ontologias de modelos de negócio e sobre pecuária de corte, como base para a identificação de oportunidades de pesquisa na área.*

1. Introdução

A evolução dos sistemas produtivos agropecuários acompanhou as chamadas *revoluções industriais*: de maquinário movido a tração animal ou humana, passou-se ao trabalho mecanizado, informatização dos processos e, atualmente, uma miríade de soluções de cunho tecnológico [Massruhá e Leite 2017]. As implementações feitas fazem uso de diferentes tipos de interfaces, formas de organização da informação, linguagens de programação, sistemas gerenciadores de bancos de dados e todo um conjunto de artefatos tecnológicos independentes e sem comunicação entre si, causando uma sobrecarga cognitiva que pode comprometer os processos de controle e tomada de decisão.

A evolução da Agricultura Digital exige que a tecnologia se torne transparente para os usuários, integrada em dispositivos físicos com interfaces que façam sentido para quem delas fará uso. Devido aos impactos econômicos, ambientais e éticos relacionados à atividade agropecuária, é preciso garantir que o funcionamento dos artefatos de hardware e software é seguro e está de acordo com as suas especificações. Para tanto, a informação e os procedimentos devem estar mapeados e organizados, de forma a permitir que novas tecnologias e sistemas possam ser integrados aos que já existem com um mínimo de esforço humano e com garantias de correção e qualidade. Modelos formais de especificação e integração de sistemas podem servir de base para que este objetivo seja atingido.

Um modelo é dito formal quando possui sintaxe e semântica definidas por meio de algum domínio matemático. Uma das vantagens de linguagens de especificação formal é a capacidade de tradução das especificações para outras linguagens. A vantagem da tradução orientada por semântica – e não somente por sintaxe – é a possibilidade de gerar e integrar aplicações de maneira correta. Ontologias [Staab e Studer 2009] podem ser um caminho nessa direção. Uma ontologia é “uma especificação explícita de uma conceptualização” [Gruber 1993]. [Borst 1997] complementa a definição adicionando o aspecto formal das ontologias e sua natureza contratual, no sentido da conceptualização ser bem definida e compartilhada. Ou seja, ontologias expressam um modelo conceitual, formal, explícito e acordado de algum aspecto do conhecimento humano.

Ontologias podem ser desenvolvidas em diferentes níveis de abstração. Inicialmente usadas para construção de taxonomias e tesouros (dicionários de sinônimos), sua natureza formal evoluiu para o desenvolvimento de modelos de inferência, expressos em lógica de descrições [Baader et al. 2007]. A lógica de descrições é um fragmento decidível da lógica de primeira ordem, com vantagens computacionais imediatas, como o uso de algoritmos para verificação de propriedades. As bases de conhecimento construídas com lógica de descrições são divididas em duas partes: (i) a representação da terminologia dos conceitos que se quer descrever, ou o vocabulário do domínio de interesse e (ii) as propriedades e relações existentes entre os elementos anteriores. Assim, não somente a sintaxe de uma representação pode ser definida, mas também sua semântica. A descrição semântica, usando o motor de inferência da lógica de descrições, permite que conclusões corretas sejam produzidas sobre os modelos. Ou seja, pode-se unificar conceitos e suas relações e inferir novos conhecimentos sobre os fatos inicialmente estabelecidos.

O advento da web semântica [Bizer et al. 2009] trouxe a especialização das linguagens para descrição de ontologias [Horrocks et al. 2003], com um consórcio para o desenvolvimento e padronização das tecnologias relacionadas à web semântica (<https://www.w3.org/>). Essas tecnologias incluem padrões para a construção de páginas web, criação de repositórios de dados interligados, construção de vocabulários e criação de regras para manipulação desses dados. As linguagens usadas para representação de conhecimento na web semântica interligam-se com as linguagens usadas para descrição de ontologias [Gasevic et al. 2006], originadas em XML (*eXtensible Markup Language*), que usa símbolos de marcação para a construção de gramáticas de vários tipos, XML namespaces e identificadores de recursos web. As linguagens padrão correntes são RDF Schema (*Resource Description Framework*) e a família de linguagens OWL (*Web Onto-*

logy Language), com diferentes poderes de expressão e computabilidade.

Ontologias têm sido usadas em diferentes domínios de aplicações, da Educação à Medicina. A motivação para o seu uso no desenvolvimento de sistemas agropecuários engloba: (i) a diversidade de termos regionais para expressar os mesmos conceitos requer uma adequação de linguagem dos sistemas para refletir a linguagem dos usuários locais e (ii) a possibilidade de descrever produtos relacionados aos conceitos dos sistemas produtivos agropecuários, facilitando processos de integração de dados e sistemas. O uso de ontologias permite que esses processos possam ser conduzidos (semi)automaticamente.

O objetivo deste trabalho é investigar o uso de ontologias como ferramenta de modelagem conceitual e buscar seus usos em modelos de negócio da pecuária de corte por meio de uma revisão sistemática da literatura. O foco em modelo de negócios é derivado de uma recente pesquisa, conduzida com produtores rurais por um consórcio entre EMBRAPA, SEBRAE e INPE, que conclui que diversos produtores gostariam de ter condições de melhor planejar e gerir seus negócios, avaliar seus custos de produção e de quantificar o seu lucro [Bolfe et al. 2020]. Essa dificuldade pode ser contornada pela definição explícita de um modelo de negócio no qual todos os aspectos do sistema produtivo, incluindo custos e receitas possam ser formalmente descritos e computados, a partir de sistemas gerados com base nas descrições.

O restante deste trabalho está assim organizado: a Seção 2 descreve o protocolo de revisão aplicado; a Seção 3 apresenta e discute os resultados obtidos; a Seção 4 conclui com a análise dos resultados e direções para futuras pesquisas.

2. Material e métodos

A condução do processo de revisão foi adaptada de [Kitchenham 2004] e [Dermeval e Bittencourt 2020]. As questões de pesquisa da revisão deste trabalho são:

- Q1 Existem ontologias já construídas para pecuária de corte?
- Q2 Existem ontologias já construídas para sistemas de produção agropecuária?
- Q3 Existem ontologias já construídas para modelos de negócio?
- Q4 Para que fins são utilizadas as ontologias construídas, referentes às questões de pesquisa anteriores?

A definição das *strings* de busca foi feita com base nas questões de pesquisa e em artigos relacionados, previamente selecionados. As duas *strings* de busca construídas, S1 e S2, são as seguintes:

- S1 (ontology OR ontologies OR ontologia OR ontologias OR ontological) AND (agriculture OR agricultural OR agronomic sciences OR precision agriculture OR agricultura OR pecuária OR pecuária de precisão OR agropecuária)
- S2 (ontology OR ontologies OR ontologia OR ontologias OR ontological) AND (business OR business model OR business models OR modelo de negócio OR modelos de negócio)

As *strings* foram usadas nos repositórios digitais ACM Digital Library (<https://dl.acm.org/>), IEEE Xplorer (<https://ieeexplore.ieee.org/>), Wiley Online Library (<https://onlinelibrary.wiley.com/>) e Science Direct (<https://www.sciencedirect.com/>). As buscas foram feitas somente nos campos de título e resumo, de trabalhos publicados entre

Tabela 1. Resultados da revisão sistemática da literatura

Fonte	Encontrados		Excluídos		Incluídos	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2
ACM Digital Library	1	8	1	5	0	3
IEEE Xplorer	39	21	33	20	6	1
Wiley Online Library	1	2	1	2	0	0
Science Direct	63	164	61	162	2	2

os anos de 2015 e 2021. Os critérios de inclusão para o trabalhos obtidos exigiram que o artigo versasse sobre ontologias projetadas para pecuária ou para modelos de negócio e que estivessem escritos em Português ou Inglês. Foram excluídos os artigos que se tratavam de versões anteriores do mesmo trabalho, duplicatas ou que não fossem capazes de responder a pelo menos uma das questões de pesquisa. As referências dos artigos incluídos foram verificadas e, se em conformidade com os critérios de inclusão, foram incluídas na revisão. Essa ação garante que trabalhos mais antigos possam ser incluídos com menor esforço. Os artigos usados para a construção das *strings* de busca também foram incluídos. Os resultados da busca e análise dos artigos produzidos na revisão sistemática estão apresentados na Tabela 1.

3. Resultados

3.1. Ontologias para modelos de negócio

[Liang et al. 2019] introduz a ontologia de domínio GDBPO para a construção de modelos dinâmicos de processos de negócios orientados a objetivos. A ontologia proposta fornece quatro perspectivas, na forma de subontologias: processos, objetivos, regras de negócio e tomadas de decisão. Ela é capaz de auxiliar na decomposição de metas de alto nível em refinadas metas de nível operacional que são alinhadas com regras de negócio e atividades disponíveis para dinamicamente construir o processo de negócio. As subontologias especificam conceitos sobre os processos da empresa, variáveis para diferentes níveis de objetivos e metas da organização, restrições e requisitos a seguir durante a execução dos processos e especificações sobre como uma decisão é tomada e quais os fatores que a afetam, incluindo análise de riscos, metas e operações alternativas para cumpri-las. A ontologia construída não foi aplicada em nenhum domínio específico. Também não houve nenhum processo de inferência realizado, ainda que o trabalho aponte nessa direção.

[Zeleti e Ojo 2017] apresenta a ontologia de domínio OGDBMO (*open government data business model ontology*), objetivando criar um arcabouço para novas ferramentas de gestão de dados abertos. Os autores identificaram seis conceitos fundamentais usados para criar o modelo *6-Values Business Model Framework*, usado para guiar o desenvolvimento dos requisitos funcionais para a ontologia proposta. A concepção de requisito funcional, no trabalho, foram identificadas com questões de competência [Ren et al. 2014] como método de elicitación de requisitos. Estas questões consistem em perguntas que a ontologia deve ser capaz de responder quando completa e caso a ontologia seja capaz de responder a questão, ela é considerada atendida.

[Pease et al. 2020] desenvolve uma ontologia de domínio projetada para um sis-

tema automatizado de apoio à tomada de decisão para produtos *end-of-life*: produtos que estão no final de sua vida útil ou serão descontinuados. Decisões sobre continuidade de produtos são tomadas por pessoas que podem não ter total ciência das informações necessárias para aquela tomada de decisão, não podendo ser efetivadas em tempo hábil. O autor propõe um sistema capaz apoiar as decisões com foco na diminuição do risco da decisão tomada não resultar em lucro. O sistema desenvolvido é construído sobre uma ontologia cujos conceitos e relações explicitam lucratividade, previsão de preços e custos de produção.

[Yingbo e Xia 2019] propôs um método de modelagem de negócios e raciocínio baseada em uma ontologia de descrição de processos, com o intuito de resolver o problema do grande volume e alta complexidade dos dados no processamento de negócios bancários. Os autores decompõem e refinam a função principal do processo de negócio, completando a definição com os relacionamentos, resultando em um modelo da ontologia de processos voltados ao negócio bancário. Os elementos das operações bancárias são incorporados ao modelo e um conjunto customizado de regras de inferência é utilizado para verificar a efetividade e completude do modelo criado. Por fim o autor explica que a falta de dados experimentais abre caminho para melhora no trabalho e que o objetivo futuro é estender a ontologia para outros domínios de negócio.

[Zou et al. 2019] criou uma ontologia para descrever conceitos de *product-service-systems*, representados sob três pontos de vista: criador de estratégias de negócio, fabricantes e consumidores. Utilizando a ontologia desenvolvida o autor foi capaz de verificar a consistência entre modelos de negócio e modelos de manufatura de maneira semiautomática, provê raciocínio e evita potenciais inconsistências, além de auxiliar na seleção de sócios, mercados e tecnologias. Por fim o autor explica que, apesar do teste das funcionalidades, a aplicabilidade do modelo exige verificação em escalas maiores.

[Afify et al. 2017] elaborou uma ontologia de domínio de negócios para serviços em nuvem, englobando conhecimentos sobre modelos de computação em nuvem (entrega, *deployment* e preço), componentes, provedores e detalhes do serviço. A abordagem é orientada aos tipos de serviços da computação em nuvem: infraestrutura como um serviço (IaaS), plataforma como um serviço (PaaS) e software como um serviço (SaaS). A ontologia foi desenvolvida na linguagem OWL 2.0 por sua expressividade e semântica que permite modelagem explícita de seus conceitos e descrições do domínio além de possibilitar raciocínio automatizado.

3.2. Ontologias para a agropecuária

[Boshkoska et al. 2019] apresenta um sistema de apoio à decisão para avaliação de limites do compartilhamento de conhecimento na área de *agri-food value chains*. O desenvolvimento do sistema se dá em duas fases: identificação dos limites do conhecimento utilizando aprendizado de máquina e ontologias e transformação da ontologia obtida em um sistema de apoio à decisão para a avaliação dos limites desse conhecimento. A efetividade do sistema desenvolvido foi avaliada aplicando-o a três cadeias de valor distintas, sendo que nas três aplicações foi possível encontrar pontos que necessitavam de melhoria.

[Walisadeera et al. 2015] apresenta uma ontologia com conceitos relacionados a condições ambientais, colheitas e uso de fertilizantes, com o objetivo de inferir conhecimentos a partir das informações registradas na ontologia. As informações representadas

foram usadas para auxiliar os agricultores na seleção dos vegetais que seriam plantados. O sistema foi testado com um grupo de agricultores do Sri Lanka e a ontologia desenvolvida foi disponibilizada na nuvem em conjunto com uma interface para requisição de informações. O motor de inferência usado foi um *plug-in* chamado *FaCT ++ reasoner* e suas requisições foram codificadas em SPARQL e em lógica de descrições.

[Chukkapalli et al. 2020a] desenvolve um ecossistema de fazendas cooperativo e conectado que gerencia sensores e sua comunicação entre diferentes entidades do ecossistema através de um *co-op hub* na nuvem, desenvolvido a partir de duas ontologias: a ontologia membro e a ontologia co-op. A ontologia membro descreve os conceitos de uma fazenda individual membro da rede e a ontologia co-op descreve interações e conhecimento de domínio específico sobre o ecossistema cooperativo de fazendas. Ambas ontologias são utilizadas em conjunto para capturar os dados do ecossistema e gerenciar suas interações. Em seu outro trabalho [Chukkapalli et al. 2020b] foi construído um sistema de segurança para controle de acesso baseado em atributos para a ontologia proposta anteriormente. O sistema é capaz de controlar o acesso dos trabalhadores ao maquinário (e.g. tratores), controlar o acesso de trabalhadores aos dados dos sensores e manter as permissões de uso dos sistemas automatizados (e.g. irrigação) por meio de regras escritas em SWRL em conjunto com conceitos e atributos da ontologia.

[Bi et al. 2016] apresenta um método de integração de dados da agricultura baseado em ontologia, motivado pelas inconsistências nos diferentes métodos de representação do conhecimento na agricultura. A ontologia foi construída a partir da análise da estrutura comum dos dados de gerência da produção agrícola de instituições, com construção de um modelo lógico de estruturas e múltiplas relações entre dados da agricultura são estabelecidas. As múltiplas relações entre os dados são convertidos em um modelo orientado a objetos e aplicados em um sistema de análise econômica em Jilin, província rural da China.

[Pani e Mishra 2016] desenvolve uma ontologia para formalização de conceitos da agricultura. A ontologia é descrita na linguagem OWL DL para uso em um sistema web. A ontologia é construída com base em um diagrama de classes criado anteriormente por meio da análise das variadas fases necessárias em um sistema para agricultura e as informações que o agricultor necessita em cada fase. Por fim são definidos os axiomas da ontologia que com base nestes axiomas e na estrutura hierárquica da ontologia poderão ser feitas consultas e inferências.

[Abrahamo e Hirakawa 2017] criaram um modelo para representar conhecimento técnico de operações agrícolas de campo. As operações agrícolas foram analisadas para determinar quem são os agentes, as funções, recursos de entrada, controle de fluxo, conceitos das tarefas, atributos e relacionamentos. Como resultado foi obtida uma representação formal do domínio em conjunto com um modelo conceitual construído usando diagrama de classe UML e diagrama de atividades. A consistência do modelo foi verificada em estudo de caso sobre as operações da colheita de cana de açúcar. O trabalho termina com as perspectivas para futuras pesquisas envolvendo metodologias para construir implementações com linguagens como OWL e a exploração de outras maneiras de representar o controle de fluxo das operações como BPMN.

[Da Silva et al. 2019] descrevem um modelo ontológico para classificação de

doenças que acometem rebanhos de bois e búfalos. A ontologia proposta foi dividida em seis classes principais: anatomia, Bioma Amazônia, doenças, raças, sistema de criação e tipo de produção. O modelo foi capaz de relacionar doenças presentes na pecuária bovina e bubalina, tipos de produção, sistemas de criação e os ecossistemas do Bioma Amazônia. A linguagem utilizada foi OWL em conjunto com RDF. O trabalho apresenta consultas demonstrativas a base de dados utilizando a linguagem SPARQL.

3.3. Discussão

Apesar do protocolo estabelecer a busca de trabalhos nas bases com vultoso acervo de artigos tanto sobre Computação como sobre Ciências Agrárias, acrescidos aos achados relevantes dos referenciais bibliográficos dos trabalhos inicialmente selecionados, foram encontrados relativamente poucos trabalhos de formalização de modelos de negócio/sistemas produtivos agropecuários com ontologias. Os trabalhos encontrados, por outro lado, mostram possibilidades promissoras de desenvolvimento nessa direção.

Dentre as ontologias voltadas para a modelagem de negócios, foram observadas aplicações variando entre níveis estratégicos e operacionais. Ontologias empregadas em níveis estratégicos foram usadas para desenvolver sistemas de apoio a decisão (e.g. [Pease et al. 2020]) e ontologias empregadas a níveis operacionais se preocupam com a definição dos processos de negócio da empresa (e.g. [Zou et al. 2019, Afify et al. 2017, Yingbo e Xia 2019]). Seja com modelos descrevendo parcialmente ou de forma mais completa (como [Liang et al. 2019]) a ideia de modelo de negócio, todos os trabalhos apresentam relações entre diferentes níveis. Essa é uma das características de uma ontologia: a descrição dos conceitos e de seus relacionamentos permite particionar e hierarquizar ideias em diferentes níveis, o que é importante para o controle da complexidade. Por outro lado, relacionamentos explícitos mantém os elementos conectados com precisão sintática (em todos os casos) e semântica (em alguns).

A revisão sistemática encontrou apenas um artigo projetado especificamente para pecuária, com foco em saúde animal ([Da Silva et al. 2019]). Outros trabalhos incluem ontologias aplicadas à gestão de fazendas inteligentes que também podem ser usadas para gerir sensores empregados na pecuária. Entre os trabalhos analisados, um aspecto geográfico das ontologias projetadas para a agropecuária foi observado onde os conceitos e informações relevantes para o produtor variam entre localizações, biomas, espécies e tipos de produção (e.g. [Walisadeera et al. 2015],[Da Silva et al. 2019]). Nota-se que, com exceção de [Pani e Mishra 2016], os demais trabalhos são voltados a descrições de processos específicos no setor, ainda que também com ligações aos seus conceitos de maior abstração, com as mesmas vantagens já descritas o parágrafo anterior. Nenhum trabalho no domínio de sistemas de produção de pecuária de corte foi encontrado durante a revisão.

As linguagens e ferramentas usadas nos trabalhos estudados é apresentada na Tabela 2. Pode-se notar a predominância de OWL como linguagem para descrição das ontologias. Essa predominância faz sentido, dado que a linguagem é suportada pelo consórcio W3C, além de que seus três níveis de expressividade/computabilidade bem definidos permitem que o desenvolvedor possa adequar a ferramenta certa às suas necessidades. O software Protégé [Musen 2015] segue sendo uma escolha frequente, dada sua robustez, tempo de desenvolvimento e tamanho da comunidade de usuários.

A Tabela 3 apresenta as ferramentas de inferência empregados nos trabalhos em

Tabela 2. Uso de ferramentas nos trabalhos analisados

Ferramenta	Linguagem de descrição da ontologia	Trabalhos
Protégé	OWL	[Afify et al. 2017], [Yingbo e Xia 2019], [Zou et al. 2019], [Pani e Mishra 2016], [Walisadeera et al. 2015]
Não especificado	OWL	[Chukkapalli et al. 2020b], [Chukkapalli et al. 2020a], [Pease et al. 2020]
Protégé	RDF e OWL	[Zeleti e Ojo 2017], [Da Silva et al. 2019]
OntoGen	Não especificado	[Boshkoska et al. 2019]
Não especificado	UML	[Abraham e Hirakawa 2017]
Não especificado	Não especificado	[Liang et al. 2019], [Bi et al. 2016]

que havia algum tipo de raciocínio ou verificação de consistência automatizado, contabilizando aproximadamente 40% dos trabalhos analisados. Todos os trabalhos listados na Tabela 3 realizaram verificação de consistência em suas ontologias com exceção de [Da Silva et al. 2019]. Note-se que em [Pease et al. 2020] duas ferramentas de inferência foram usadas para verificação de consistência e, portanto, aparece em duas linhas da tabela. As inferências realizadas nos trabalhos analisados incluem o processamento de operações bancárias ([Yingbo e Xia 2019]), a extração de informações sobre saúde animal ([Da Silva et al. 2019]) e sobre plantações ([Pani e Mishra 2016], [Walisadeera et al. 2015]) e, por fim, estimativas de risco e lucro em sistema de apoio a decisão ([Pease et al. 2020]).

Tabela 3. Ferramentas de inferência utilizadas

Motor de inferência	Trabalhos
Jena	[Yingbo e Xia 2019], [Da Silva et al. 2019]
FaCT ++	[Walisadeera et al. 2015]
HermiT	[Pease et al. 2020]
Pellet	[Pani e Mishra 2016], [Pease et al. 2020], [Zeleti e Ojo 2017]

4. Conclusão

Ontologias são formalizações de conceitos e seus relacionamentos, com possibilidade de especificação da semântica dessas descrições e inferência sobre o conhecimento existente, por meio de lógicas de descrições e seus sistemas de prova. Ontologias têm sido usadas em várias áreas do conhecimento. Neste trabalho, apresentou-se uma revisão da literatura sobre o uso de ontologias para especificação de modelos de negócio e para a área da agropecuária. A intenção do trabalho é avaliar possíveis caminhos de pesquisa, especificamente na descrição de modelos de sistemas produtivos da pecuária de corte, com foco no controle e gerenciamento da produção.

A literatura encontrada mostrou que existem iniciativas em ambas as áreas, mas que ainda não atingiram seu potencial. Todos os trabalhos apresentam conceitos e seus relacionamentos, mas poucos implementam uma semântica, análises de consistência e inferência ou geração automatizada de aplicações. Essas últimas definições são imprescindíveis para que se atinja todo o potencial de uso de ontologias em sistemas produtivos agropecuários.

Como trabalho futuro, vislumbra-se a construção de uma ontologia voltada para modelos de negócio na pecuária de corte. Ontologias permitem a construção de tesouros, então os regionalismos existentes podem ser incorporados naturalmente ao sistema. O foco do trabalho será no gerenciamento e controle do sistema produtivo, com previsões relacionadas ao ganho financeiro do processo e melhor controle do processo como um todo. Inicialmente, as definições serão construídas com apoio de produtores de gado de corte na região do Pampa no Rio Grande do Sul com a parceria da EMBRAPA. A ontologia deverá abarcar detalhes que permitam a geração (semi)automatizada de aplicações, a partir das necessidades do negócio.

Referências

- Abrahamo, E. Hirakawa, A. R. (2017). Task ontology modeling for technical knowledge representation in agriculture field operations domain. *Proceedings - 2017 2nd International Conference on Information Systems Engineering, ICISE 2017*, 2017-Janua(1):12–16.
- Afify, Y. M., Badr, N. L., Moawad, I. F., Tolba, M. F. (2017). A comprehensive business domain ontology for cloud services. *2017 IEEE 8th International Conference on Intelligent Computing and Information Systems, ICICIS 2017*, 2018-Janua(Icicis):134–143.
- Baader, F., Calvanese, D., McGuinness, D. L., McGuinness, D. L., Nardi, D., Patel-Schneider, P. F. (2007). *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications*. Cambridge University Press, Cambridge, UK., 2 edition.
- Bi, L., Di, X. Q., Zhang, Y. (2016). Agricultural data modeling method based on semantics. *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Big Data Analysis, ICBDA 2016*.
- Bizer, C., Heath, T., Berners-Lee, T. (2009). Linked data - the story so far. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, 5:1–22.
- Bolfe, E. L., Junior, A. L., de Castro Victoria, D., Grego, C. R. (2020). Agricultura digital no Brasil - tendências, desafios e oportunidades (resultado de pesquisa online). Technical report, Campinas.
- Borst, W. N. (1997). *Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse*. PhD thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands.
- Boshkoska, B. M., Liu, S., Zhao, G., Fernandez, A., Gamboa, S., del Pino, M., Zarate, P., Hernandez, J., Chen, H. (2019). A decision support system for evaluation of the knowledge sharing crossing boundaries in agri-food value chains. *Computers in Industry*, 110:64–80.

- Chukkapalli, S. S. L., Mittal, S., Gupta, M., Abdelsalam, M., Joshi, A., Sandhu, R., Joshi, K. (2020a). Ontologies and artificial intelligence systems for the cooperative smart farming ecosystem. *IEEE Access*, 8:164045–164064.
- Chukkapalli, S. S. L., Piplai, A., Mittal, S., Gupta, M., Joshi, A. (2020b). A smart-farming ontology for attribute based access control. In *IEEE 6th Intl Conference on Big Data Security on Cloud*, pages 29–34.
- Da Silva, B. A., Da Ponte, M. J. M., Filho, J. R. B., Lima, C. P. (2019). Ontological model for classification of diseases in bovines and buffaloes. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI*, 2019-June(June):19–22.
- Dermeval, D. Bittencourt, J. A. P. M. C. I. I. (2020). *Mapeamento Sistemático e Revisão Sistemática da Literatura em Informática na Educação*, volume 2, chapter 3, pages 1–26. CEIE/SBC.
- Gasevic, D., Djuric, D., Devedzic, V. (2006). *Model Driven Architecture and Ontology Development*. Springer, Berlin Heidelberg.
- Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 5:199–220.
- Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., Van Harmelen, F. (2003). From SHIQ and RDF to OWL: The making of a Web Ontology Language. *Web Semantics*, 1(1):7–26.
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. Joint Technical Report TR/SE-0401, Keele University, Keele.
- Liang, Y., Wen, Z., Liu, L., Li, G., Guo, B. (2019). Towards a goal-driven dynamic business process ontology. In *ACM International Conference Proceeding Series*, pages 295–299.
- Massruhá, S. M. F. S. Leite, M. A. d. A. (2017). *Agro 4.0 – rumo à Agricultura Digital*. Centro Paula Souza, São Paulo, 2 edition.
- Musen, M. A. (2015). *The Protégé project: A look back and a look forward*, volume 1. Association of Computing Machinery Specific Interest Group in Artificial Intelligence.
- Pani, S. Mishra, J. (2016). Building semantics of E-agriculture in India: Semantics in e-agriculture. *Proceedings - 2015 International Conference on Man and Machine Interfacing, MAMI 2015*, pages 15–18.
- Pease, S. G., Sharpe, R., van Lopik, K., Goodall, P., Young, B., Conway, P., West, A. (2020). An interoperable semantic service toolset with domain ontology for automated decision support in the end-of-life domain. *Future Generation Computer Systems*, 112:848–858.
- Ren, Y., Parvizi, A., Mellish, C., Pan, J. Z., Van Deemter, K., Stevens, R. (2014). Towards competency question-driven ontology authoring. *Lecture Notes in Computer Science*, 8465:752–767.
- Staab, S. Studer, R., editors (2009). *Handbook on Ontologies*. International Handbooks on Information Systems. Springer, 2 edition.
- Walisadeera, A. I., Ginige, A., Wikramanayake, G. N. (2015). User centered ontology for Sri Lankan farmers. *Ecological Informatics*, 26(P2):140–150.

- Yingbo, D. Xia, H. (2019). Business modeling and reasoning based on process ontology. In *ACM International Conference Proceeding Series*, pages 143–147.
- Zeleti, F. A. Ojo, A. (2017). An ontology for open government data business model. In *ACM International Conference Proceeding Series*, volume Part F1280, pages 195–203.
- Zou, M., Basirati, M. R., Bauer, H., Kattner, N., Reinhart, G., Lindemann, U., Böhm, M., Krcmar, H., Vogel-Heuser, B. (2019). Facilitating consistency of business model and technical models in product-service-systems development: An ontology approach. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13):1229–1235.