

## Ontologias de alto nível: porque precisamos e como usar

Fernanda Farinelli <sup>1</sup>

Amanda D. Souza <sup>2</sup>

**Resumo:** As ontologias são artefatos de representação do conhecimento, e quando estas são formais, permitem tal representação sem ambiguidades e interpretável tanto por humanos quanto por máquinas computacionais. De acordo com a abrangência do escopo de representação e o detalhamento do domínio de conhecimento, as ontologias são classificadas como ontologias de domínio, ontologias de referência e ontologias de alto nível. Os dois primeiros tipos de ontologias abrangem representações sobre domínios específicos de conhecimento, mas com níveis de detalhamento diferentes. As ontologias de alto nível são ontologias de domínio neutro que descrevem conceitos gerais comuns em todos os domínios. Entretanto, nem sempre é claro o papel destas ontologias e porque utilizá-las na concepção de ontologias de domínios ou de referência. Este trabalho descreve o papel das ontologias de alto nível como artefatos de representação e sua contribuição na construção de ontologias de referência e de domínio. Adicionalmente, é apresentado como utilizá-las no processo de construção de ontologias de domínio ou de referência.

**Palavras-chave:** ontologia; ontologia de alto nível; ontologia de topo; ontologia de fundamentação, interoperabilidade entre ontologias.

---

<sup>1</sup> Professora. Doutora em Ciência da Informação. Universidade Federal de Minas Gerais. Email: fernanda.farinelli@gmail.com

<sup>2</sup> Bibliotecária Clínica. Doutora em Gestão e Organização do Conhecimento. Universidade Federal de Minas Gerais. Email: fernanda.farinelli@gmail.com



*Top-Level Ontologies: why do we need it and how to use it*

**Abstract:** Ontologies are knowledge representation artifacts that, when formal, allow unambiguous representation and interpretable by both humans and computational machines. Depending on the representation scope and the details level against the domain of knowledge, ontologies are classified into domain ontologies, reference ontologies and top-level ontologies. The first two types of ontologies cover representations of some specific domain of knowledge, but with different levels of detail. Top-level ontologies are domain-neutral ontologies that describe general concepts common across all domains. However, why do we need top-level ontologies, what are the role of these ontologies and how to use them in the design of domain or reference ontologies is not always clear. Hence, this work describes the role of top-level ontologies as representational artifacts and their contribution to the reference and domain ontologies building. Additionally, it is presented how to use them in the process of building domain or reference ontologies.

**Keywords:** ontology; top-level ontology; upper level ontology; foundational ontology; ontology interoperability.



## 1 INTRODUÇÃO

O tema ontologias cada vez mais é encontrado nas pesquisas em Ciência da Informação e Ciência da Computação como artefatos para representação e organização do conhecimento. Aspectos conceituais sobre ontologias não são objetivo deste capítulo e são discutidos em diversos trabalhos como Smith e Welty (2001), Guarino, Oberle e Staab (2009), Almeida (2013) e Farinelli e Almeida (2019).

A construção de ontologias de domínio tem se tornado uma atividade em expansão devido às possibilidades de representação do conhecimento, e quando estas ontologias são formais, permitem tal representação sem ambiguidades promovendo assim a interoperabilidade semântica de dados e suportando raciocínio/inferências sobre o conhecimento representado. Apesar dos benefícios trazidos pelas ontologias de domínio, a falta de padronização no processo de construção acaba gerando um conjunto de ontologias que muitas vezes não são interoperáveis entre elas, e neste sentido, os projetos constroem suas ontologias sem privilegiarem o reuso.

Nota-se que o desenvolvimento de ontologias não é uma atividade ou processo trivial. Envolve uma série de atividades focadas na criação de um artefato de representação do conhecimento, adequado à compreensão humana e de computadores. Dentre estas atividades destaca-se o uso de ontologias de alto nível como base para as ontologias de domínio. As ontologias de alto nível são ontologias de domínio neutro que descrevem conceitos gerais comuns em todos os domínios.

Segundo a norma ISO/IEC PRF 21838-1, as ontologias de alto nível ajudam a promover interoperabilidade entre ontologias de domínio ao oferecer compreensão semântica que suporte o intercâmbio, recuperação, descoberta, integração e análise de dados (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2020a, p. 1).

Entretanto, para muitos, não é claro o papel das ontologias de alto nível. Ao longo da minha trajetória como ontologista, foi comum ouvir questionamentos como: Por que precisamos de ontologias de alto nível? Qual a vantagem de se utilizar uma ontologias de alto nível na



construção de ontologias de domínio? Como construir uma ontologia de domínio utilizando uma ontologia de alto nível como referência? Neste sentido, este estudo é uma iniciativa que busca enriquecer tal discussão, visando contribuir com a comunidade trazendo respostas a estas questões, conseqüentemente, contribuindo para a construção de ontologia de domínio que sejam semanticamente coerentes, interoperáveis e bem construídas.

## **2 O QUE É UMA ONTOLOGIA DE ALTO NÍVEL?**

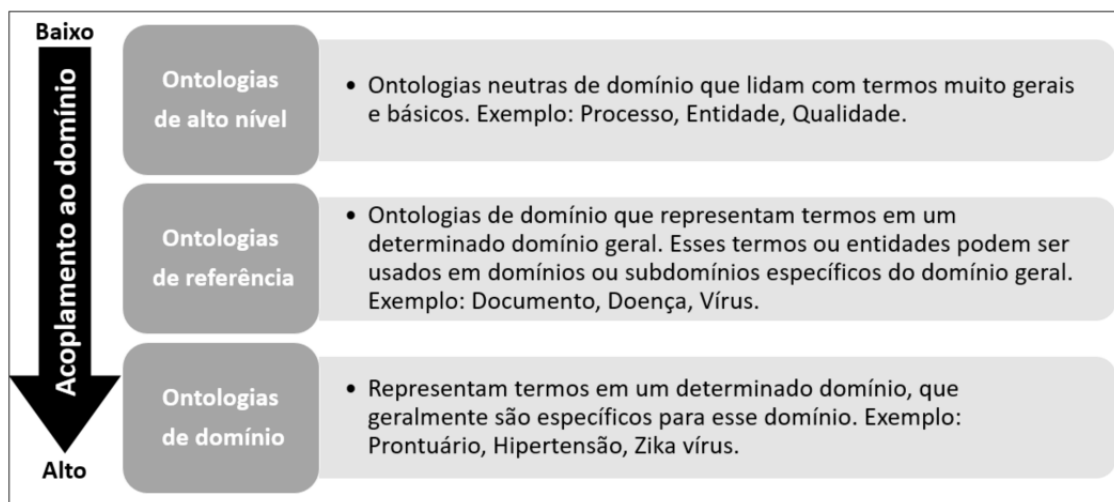
Antes de discutir as vantagens do uso das ontologias de alto nível, é necessário esclarecer o que são estas ontologias. Vários autores discutem os conceitos e a classificação das ontologias. Podemos citar trabalhos, do campo da Ciência da Informação, como Almeida (2013), Sørgeel (1999), Vickery (1997) e Smith (2003a, 2003b), que consideram as ontologias uma ferramenta de organização do conhecimento. Salienta-se ainda que as ontologias contribuem na desambiguação de vocabulário e fornece as estruturas necessárias para garantir a compreensão semântica dos termos (FARINELLI; MELO; ALMEIDA, 2013).

### **2.1 Classificação das ontologias**

Os pesquisadores ainda definem diferentes tipos de ontologias levando em consideração principalmente a abrangência do escopo de representação do conhecimento. Guarino (1997) classifica as ontologias sobre duas perspectivas, seu nível de detalhe e seu nível de dependência do domínio. Quanto a seu nível de detalhe, as ontologias podem ser ontologias de referência e ontologias compartilháveis. Já quanto o nível de dependência de domínio ele distingue quatro tipos de ontologias, a saber: ontologias de alto nível, ontologias de domínio, ontologias de tarefa e ontologias de aplicação. Arp, Smith e Spear (2015) assumem a existência de ontologias de domínio, ontologias de alto nível considerando o detalhamento do domínio, e de ontologias de referência e ontologias de aplicação considerando o propósito para o qual uma ontologia é projetada.

Para melhor compreensão deste artigo, vamos distinguir os conceitos de ontologias de domínio, ontologias de referência e ontologias de alto nível, conforme descrito a seguir na Figura 1.



**Figura 1 - Classificação das ontologias**

Fonte: Traduzido de Farinelli (2017, p.44, figura 9).

## 2.2 Ontologia de alto-nível

Conforme explicitado na norma ISO/IEC PRF 21838-1, uma ontologia de alto-nível pode ser referenciada também como uma “ontologia formal”, “ontologia fundamental”, “ontologia de nível superior”, “ontologia de topo”, ou “ontologia de domínio neutro”.

Uma ontologia fundamental é uma ontologia (como artefato de representação) que abrange termos ou entidade muito gerais, que são independentes de um problema específico e que são comuns a todos os domínios. Alguns autores discutem que as ontologias de alto nível são reflexões filosóficas, e se propõem a auxiliar na solução de problemas de integração entre sistemas, facilitando o processo de comunicação e reduzindo o custo da propagação de erros ao corrigi-los nas fases iniciais do desenvolvimento. Estas ontologias descrevem as diferentes meta-propriedades dos conceitos (WAND; WEBER, 1990; SOWA, 1995; GUARINO, 1998; GANGEMI *et al.*, 2002; GRENON; SMITH, 2004).

Em suma, as ontologias de topo providenciam um modelo conceitual com um nível alto de abstração, independente do domínio de conhecimento, que descreve conceitos abstratos como objeto, processo, eventos e qualidade. Uma série de esforços na comunidade de ontologistas são direcionados ao desenvolvimento de ontologias de alto nível e várias ontologias foram propostas. A seguir, são listadas algumas das principais iniciativas:



- *Basic Formal Ontology* – BFO (ARP; SMITH; SPEAR, 2015; SMITH *et al.*, 2015);
- *Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering* – DOLCE (MASOLO *et al.*, 2003);
- *Unified Foundational Ontology* (UFO 2 ) (GUIZZARDI, 2005);
- *General Formalized Ontology* (GFO) (HERRE *et al.*, 2006; HERRE, 2010);
- *Suggested Upper Merged Ontology* (SUMO) (PEASE; NILES; LI, 2002);
- *Yet another more advanced top-level ontology* (YAMATO) (MIZOGUCHI, 2010).

O trabalho de Mascardi, Cordì e Rosso (2007) apresenta uma síntese comparativa de algumas destas ontologias.

### **2.2.1 Basic Formal Ontology**

A *Basic Formal Ontology* (BFO) é uma das ontologias de alto nível de maior sucesso atualmente. Recentemente, a *International Standards Organization* elegeu a BFO como o padrão internacional de ontologia de alto nível sob a ISO/IEC: 21838-2 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2020b) e é elaborada em conformidade com a ISO/IEC 21838-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2020a).

As teorias fundamentais que sustentam o BFO seguem teorias filosóficas de Aristóteles e Edmund Husserl. O projeto de concepção da BFO foi iniciado em 2002 e originalmente com os pesquisadores Barry Smith e Pierre Grenon, porém, desde sua origem este projeto recebeu contribuições de muitos outros pesquisadores. Existem várias publicações sobre a BFO, destaca-se as seguintes Bittner e Smith (2003); Grenon (2003a, 2003b); Bittner e Smith (2004); Grenon e Smith (2004); Arp e Smith (2008); Arp, Smith e Spear (2015); Smith *et al.* (2015).

A BFO foi projetado para representar entidades genéricas que não pertencem a domínios específicos. Na BFO tudo é uma entidade, que é tudo o que existe, por exemplo, processos, localizações geográficas, objetos, qualidades. Sendo uma ontologia baseada na metodologia do realismo ontológico (SMITH; CEUSTERS, 2010), é concebida a partir do universais e particulares. Particulares ou indivíduos, às vezes chamados de instâncias, são ocorrências únicas de algo existente na realidade, por exemplo, você e eu, cada um de nós é uma única

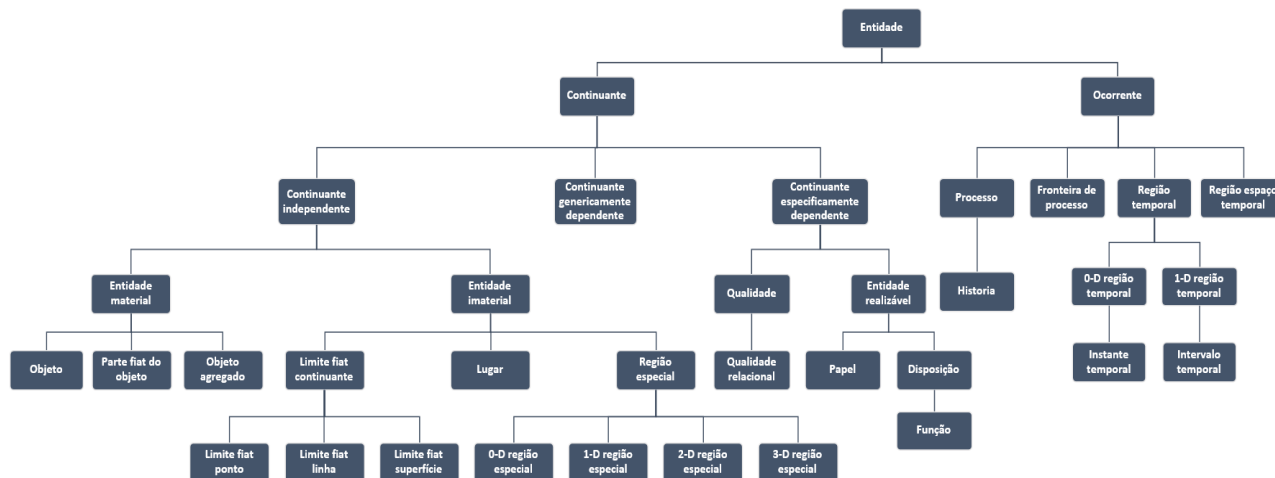


ocorrência ou indivíduo de uma entidade "*homo sapiens*". Assim, a entidade "*homo sapiens*" é uma entidade genérica, que representa o conjunto de particulares deste tipo. Neste sentido, a entidade "*homo sapiens*" é um exemplo de universal. Portanto, universais ou tipos são entidades reais genéricas ou padrões existentes no mundo, que não são crenças ou pensamentos. Um universal existe exclusivamente se pelo menos um particular desse universal existir (GRENON, 2003a; GRENON; SMITH, 2004; ARP, SMITH; SPEAR, 2015).

A BFO divide as entidades no mundo em duas categorias abrangentes, "*continuante*" e "*ocorrente*", e na primeira categoria entre dependente e independente. As entidades do tipo *continuante* são aqueles que possuem uma existência contínua, ou seja, elas perduram ao longo do tempo, por exemplo, eu e você, um objeto qualquer. Os *continuantes* independentes são aquelas que existem por si só, e os dependentes são aquelas que sua existência depende da existência de outra entidade, por exemplo, a cor vermelha de uma maçã existe só se a maçã existir. No caso do *ocorrentes*, são entidades que existem ou ocorrem em um dado período de tempo. Por exemplo, sua infância, qualquer processo (GRENON; SMITH, 2004; ARP; SMITH ; SPEAR, 2015). Além disso, a interação entre dois elementos BFO da ontologia resulta do emprego de relações ontológicas especificadas em *Relation Ontology*<sup>3</sup> (RO). Relações RO são relações binárias que determinam a interação entre dois aspectos da ontologia. Existem três tipos de relações binárias primitivas: a relação classe-classe, a relação instância-classe e a relação instância-instância. A relação entre universais e particulares é de instanciação (SMITH; GRENON, 2004; SMITH; ROSSE, 2004; SMITH *et al.*, 2005; HUNTLEY *et al.*, 2014).

Atualmente, na versão BFO-2020, existem apenas 36 entidades listadas hierarquicamente conforme a Figura 2. Portanto, esta é uma ontologia neutra em relação ao domínio para apoiar a criação de ontologias de domínio de nível inferior.



Figura 2- Hierarquia *is\_a* das entidades BFO-2020

Fonte: Traduzido de International Organization for Standardization (2020b).

A BFO é usada por mais de 250 projetos baseados em ontologia em todo o mundo. No início, a BFO se tornou base para construção de diversas ontologias biomédicas, muitas delas fazem parte do consórcio OBO *Foundry* (*The Open Biological and Biomedical Ontologies*)<sup>4</sup> (SMITH *et al.*, 2007). Ressalta-se que a BFO é adotada como um dos princípios do consórcio OBO *Foundry*. Em seguida, outras áreas como indústria, inteligência, defesa e segurança vêm adotando o BFO, levando sua adoção como uma ontologia de alto nível também da *Industrial Ontologies Foundry*<sup>5</sup> (IOF)(KARRAY *et al.*; WALLACE *et al.*).

### 3 POR QUE USAR ONTOLOGIAS DE NÍVEL SUPERIOR?

Cada vez mais as ontologias de domínio vem sendo usadas como artefatos de representação do conhecimento em diversos campos, principalmente pela sua capacidade de melhorar a comunicação entre humanos ou computadores, especificando a semântica das entidades representadas de maneira desambigua. Entretanto, construir uma nova ontologia de domínio do zero pode ser ineficiente, primeiro pelo tempo necessário para seu desenvolvimento, além disso, se o ontologista não considerar o utilizar definições de ontologias já existentes pode causar redundância nas definições. Desta maneira, a prática

<sup>4</sup> OBO Foundry portal: <http://www.obofoundry.org/>.

<sup>5</sup> IOF portal: <https://www.industrialontologies.org/>



de reuso de ontologias é vista como uma alternativa (SUÁREZ-FIGUEROA; GÓMEZ-PÉREZ; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, 2015; KATSUMI; GRÜNINGER, 2016).

Algumas metodologias que guiam o desenvolvimento de ontologias preveem necessidades de reutilização de ontologias existentes (ARP; SMITH; SPEAR, 2015; SUÁREZ-FIGUEROA; GÓMEZ-PÉREZ; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, 2015; FARINELLI, 2020). No processo de desenvolvimento de ontologias, a prática de reutilizar outras ontologias de domínio bem estabelecidas permite 1) tirar proveito da riqueza semântica dos conceitos relevantes e da lógica já incorporada na ontologia reutilizada, e 2) agilizar o próprio desenvolvimento de sua ontologia a medida que reduz sua lista de termos/entidades para representação e definição. As questões relacionadas ao relacionamento entre duas ou mais ontologias consistem na interoperabilidade entre ontologias.

### **3.1 Interoperabilidade entre ontologias**

Existem diferentes abordagens para fornecer a reutilização de ontologias e a interoperabilidade entre ontologias, como alinhamento/mapeamento, combinação/fusão, integração, entre outras (EHRIG, 2007; PENA; VIDAL, 2020). Algumas destas abordagens são brevemente explicadas a seguir.

#### **3.1.1 Mapeamento de ontologias**

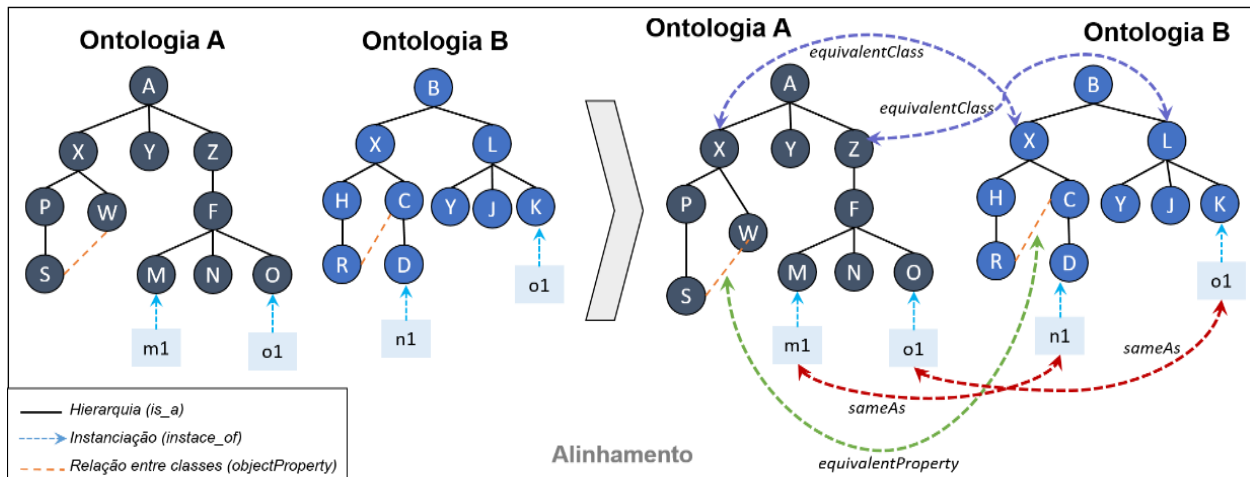
O mapeamento de ontologias também é referido como correspondência de ontologias ou alinhamento de ontologias (NOY, 2009). O mapeamento de ontologias visa definir uma estrutura formal, que inclui a correspondência de termos/conceitos existentes em duas ou mais ontologias que compartilham o mesmo significado ou interpretação semelhante à pretendida. Ou seja, o mapeamento é um processo que busca articular semelhanças/similaridades entre os conceitos pertencentes a duas ontologias distintas (KALFOGLOU; SCHORLEMMER, 2003; EHRIG; SURE, 2004; CHOI; SONG; HAN, 2006).

O mapeamento ou alinhamento de ontologias consiste em encontrar, em duas ou mais ontologias distintas, entidades correspondentes entre estas ontologias, à medida que estas entidades possuam uma mesma semântica pretendida. Desta forma, o alinhamento pode ser obtido por uma relação de igualdade um para um entre as entidades, que pode ser



expresso pelos seguintes axiomas de igualdade da linguagem OWL *owl:equivalentClass*, *owl:equivalentProperty*, e *owl:sameAs* (EHRIG, 2007, p. 19-21). Esta abordagem visa determinar ligações entre entidades que possuem relação mútuas, permitindo que elas reutilizem as informações umas das outras (Figura 3). Note que nem toda entidade existe uma entidade correspondente.

**Figura 3 - Representação esquemática do alinhamento de ontologias**

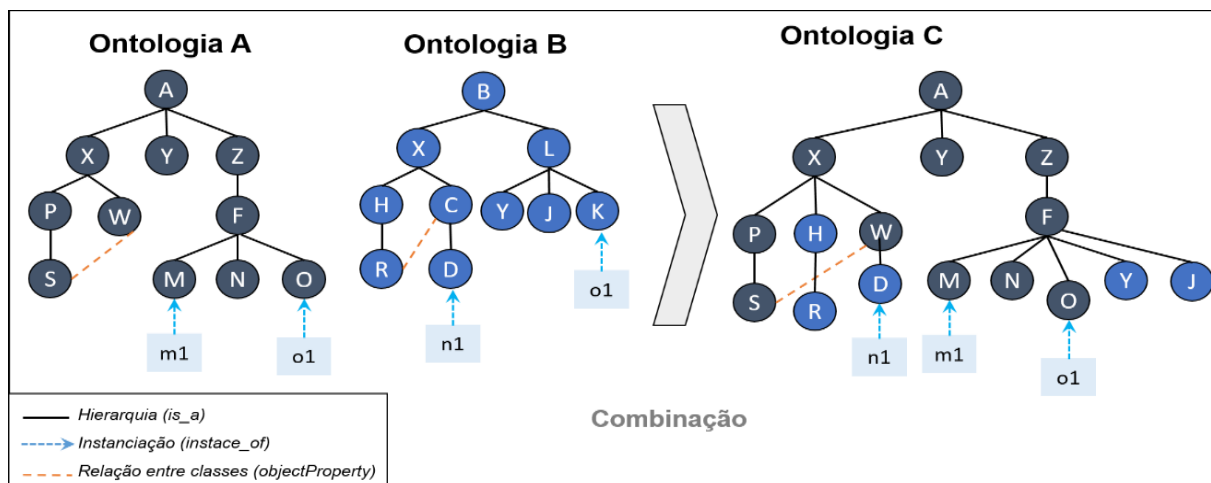


Fonte: Das autoras.

O resultado obtido do alinhamento da ontologia são as ontologias originais alinhadas separadas, no entanto, com alguns dos seus elementos são conectados pelos links de correspondência criados. Essa abordagem é geralmente aplicada quando ambas as ontologias originais cobrem domínios complementares (NOY; MUSEN, 1999, 2000; EHRIG, 2007; NOY, 2009; STOUTENBURG, 2009).

### 3.1.2 Combinação de ontologias

Na combinação ou fusão (*merge*) de ontologias, todos os termos das ontologias originais A e B são combinadas em uma única ontologia coerente, gerando uma terceira ontologia C, conforme mostrado na Figura 4. No processo de combinação, busca-se identificar os elementos das duas ontologias que são equivalentes, no entanto, caso algum elemento seja considerado totalmente oposto a outro, eles podem ser identificados por uma relação de disjunção (HITZLER *et al.*, 2005; CHOI; SONG; HAN, 2006; EHRIG, 2007).

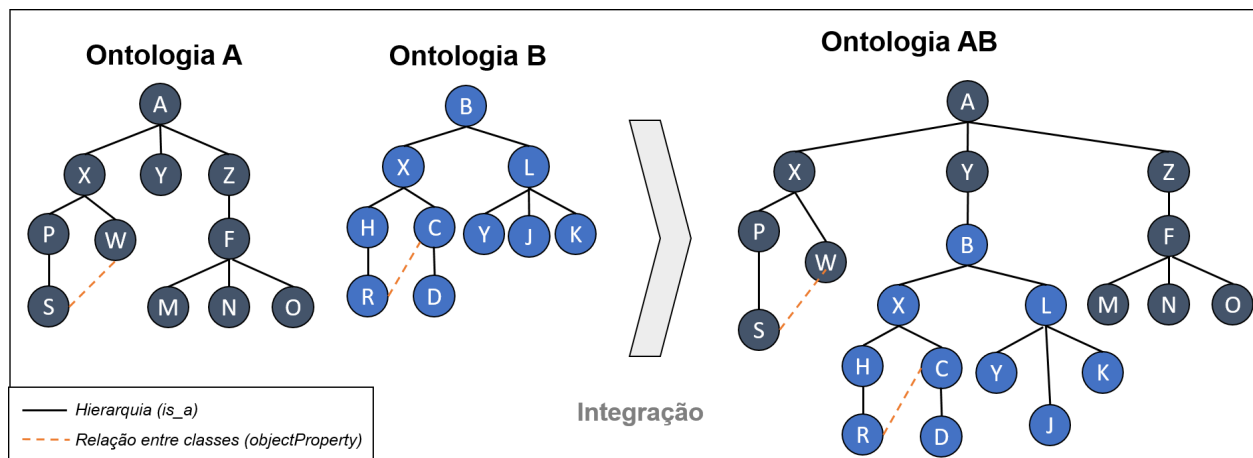
**Figura 4 - Representação esquemática da combinação de ontologias.**

Fonte: Das autoras.

Em geral, esta abordagem é aplicada quando as ontologias originais representam um mesmo domínio de conhecimento ou quando há algum tipo de sobreposição de definições entre elas. Por exemplo, no Portal do consórcio OBO *Foundry* encontramos ontologias distintas que representam estruturas anatômicas, como por exemplo as ontologias Uberon (*Multi-species anatomy ontology*), FMA (*Foundational Model of Anatomy Ontology*) e CARO (*Common Anatomy Reference Ontology*).

### 3.1.4 Integração de ontologias

A abordagem de integração de ontologias visa gerar uma única ontologia a partir da montagem, extensão, especialização, combinação ou adaptação de outras ontologias que nem sempre tratam do mesmo assunto (Figura 5). A diferença entre esta abordagem e a combinação é a possibilidade de identificar as partes que foram criadas a partir das ontologias originais. Além disso, enquanto na abordagem de combinação as ontologias originais tratam do mesmo domínio, na abordagem de integração as ontologias podem ser sobre assuntos distintos (PINTO; GÓMEZ-PÉREZ; MARTINS, 1999; CALVANESE; DE GIACOMO ; LENZERINI, 2001; PINTO; MARTINS, 2001).

**Figura 5 - Representação esquemática da integração de ontologias**

Fonte: Das autoras.

Essas abordagens de interoperabilidade de ontologias, geram resultados diferentes, estão preocupadas com a definição de termos semelhantes nas ontologias originais. Porém, para que ontologias diferentes se integrem umas com as outras, é necessário primeiro encontrar as correspondências entre os conceitos dessas ontologias.

### 3.2. O papel das ontologias de alto nível

À medida que as ontologias de domínio foram sendo criadas, ficou evidente a falta de padronização empregada nestas ontologias, levando inclusive a crescer os problemas de ambiguidades e inconsistências entre os termos existentes nelas. Para Arp, Smith e Spear (2015) existem várias iniciativas de desenvolvimento de ontologias de domínio com foco em suas necessidades locais e específicas, resultando em novos silos de informação, dada a incompatibilidade de definições entre estas ontologias, trazendo assim os problemas de falta de interoperabilidade entre as ontologias e os dados que elas representam, promovendo o não compartilhamento de dados e uso não otimizado de recursos ontológicos.

Smith e Brochhausen (2010) defendem que a aplicação de uma ontologia de alto nível promove a harmonização dos conceitos de ontologias de domínio por meio de uma abordagem uniforme e coerente da representação da realidade no nível mais alto da organização da informação. Estes autores refletem ainda que os termos que predominam na prática de um domínio específico de conhecimento, são encontrados ou definidos nos

níveis mais baixos das ontologias. Corroboram com esta discussão Elmhadhbi, Karray e Archimède (2018) ao demonstrarem que para integrar conhecimento heterogêneo de várias ontologias de domínio, buscando a interoperabilidade semântica, deve-se fazer uso de ontologias de nível superior.

A partir de uma revisão de literatura, destaca-se alguns papéis que as ontologias de alto nível desempenham (BITTNER; SMITH, 2004; BITTNER, 2007; SMITH ;BROCHHAUSEN, 2010; SCHULZ *et al.*, 2012; ARP; SMITH; SPEAR, 2015; ELMHADHBI;KARRAY; ARCHIMÈDE, 2018; SCHULZ, 2018; PENA ; VIDAL, 2020):

1. Servem como uma espécie de guia ou gabarito para ajudar a estabelecer quais categorias de entidades existem em um domínio específico, promovendo a construção de ontologias de domínio bem projetadas;
2. Oferecer suporte à interoperabilidade semântica entre ontologias de domínio, privilegiando o reuso de ontologias;
3. Ajudam a normalizar as ontologias de domínio o que favorece a modularização de ontologias de domínio.

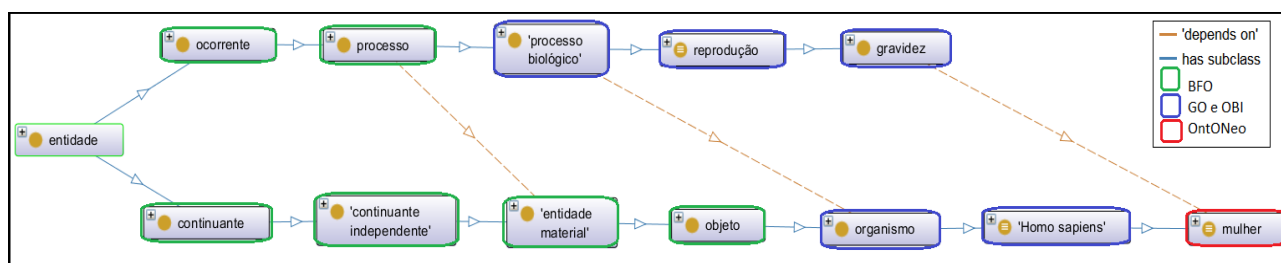
**No primeiro caso**, ao estabelecerem as categorias genéricas e básicas, aplicáveis transversalmente em múltiplos domínios de conhecimento, no processo de desenvolvimento de ontologias de domínio e de referência, os termos mais específicos do domínio são classificados de acordo com os termos gerais da ontologia de nível superior. Sendo assim, as classes ou entidades da ontologia superior são tratadas como superclasses das classes ou entidades das ontologias de domínio. As ontologias de nível superior fornecem restrições às categorias por meio de seus axiomas. Tais restrições são herdadas pelas ontologias de domínio que são fundadas nas ontologias de nível superior.

Conforme apresentado na Figura 6, a ontologia de alto nível BFO define, as entidades genéricas *entidade*, *ocorrente*, *continuante*, *processo*, *continuante independente*, *entidade material*, e *objeto* todas elas independem de um domínio de conhecimento específico. Encontramos instâncias de *processo* e *objeto* em diversos domínios, como na indústria,



engenharia, biomedicina, administração, etc. Um *processo* na BFO é definido como “é uma entidade *ocorrente* que existe no tempo, possui partes temporais e sempre depende de alguma entidade *materiais*” (ARP; SMITH; SPEAR, 2015, p. 121). Já um *objeto* é uma entidade *materiais* que possui três dimensões espaciais, unificadas, e que tais dimensões estão ligadas de uma certa maneira e que qualquer coisa que esteja ligada a essas dimensões da mesma forma faz parte do objeto (ARP; SMITH; SPEAR, 2015, p. 91).

**Figura 6- Exemplo de relação entre ontologia de alto nível e ontologia de domínio**



Fonte: Das autoras.

Assim, ao representar um domínio específico de conhecimento, como as funções dos genes, representado na *Gene Ontology*<sup>6</sup>, e as entidades das investigações clínicas, representado na *Ontology for Biomedical Investigations*<sup>7</sup>, e a algumas entidades específicas foram identificadas como por exemplo *processo biológico*, *reprodução*, *implantação embrionária*, *gravidez*, *organismo*, *homo sapiens* e *mulher* (Figura 6).

Para definir e determinar a natureza deste termos, utiliza-se a BFO como referência para esta definição, nota-se que um *processo biológico* é então definido como uma subclasse de *processo*, conseqüentemente, a classe inferior herda as definições da classe superior. Assim, um *processo biológico* é um *processo*, ou seja, também existe acontece em um determinado tempo (possui partes temporais) e depende de (*depends on*) alguma entidade *materiais* para ocorrer, no caso algum *organismo*. As demais entidades, também são definidas considerando a ontologia de alto nível BFO e a própria definição do *processo biológico*. No caso da classe *gravidez*, é um *processo*, especificamente um *processo biológico*, que ocorre em um determinado tempo e depende de um *organismo* para ocorrer, neste caso, quando

<sup>6</sup> Disponível em: <http://geneontology.org/>

<sup>7</sup> Disponível em: <http://obi-ontology.org/>

for uma *gravidez* de um *organismo* da espécie *homo sapiens*, a cada gravidez ocorre em um período da vida desta *mulher* e normalmente dura até 40 semanas.

Desta forma, as ontologias de domínio que usam ontologias de nível superior como base tendem a ser ontologias mais bem projetadas, já que a semântica do vocabulário de domínio é definida a partir das definições de alto nível que já carregam uma semântica bem estabelecida e consolidada (BITTNER; DONNELLY ; WINTER, 2005; SCHULZ *et al.*, 2012; SCHULZ, 2018).

**No segundo caso**, uma ontologia superior suporta à ampla interoperabilidade semântica entre um grande número de ontologias específicas de domínio, fornecendo um ponto de partida comum para as diferentes estratégias de reuso de ontologias. Uma vez que elas fornecem conceitos gerais comuns a todos os domínios, elas podem fornecer uma base ontológica comum para prover o mapeamento, a combinação e a integração das ontologias de domínio, usando como ponto de partida as entidades superiores comuns à ontologias inferiores.

Neste ponto, regata-se Schulz (2018) que discute sobre como as ontologias fundamentais podem ajudar a prevenir erros típicos em ontologias de domínio. Este autor cita iniciativas como o consórcio de ontologias OBO *Foundry* (SMITH *et al.*, 2007) e o guia GoodOD (*Good Ontology Design guidelines*) (SCHULZ *et al.*, 2012) ao recomendarem o uso de uma ontologia de alto nível concisa como um pilar para a interoperabilidade entre ontologias, além de referenciar esta prática como positiva no desenvolvimento de ontologias por melhorarem a qualidade das ontologias desenvolvidas e propiciarem maior celeridade no desenvolvimento.

O processo de construção de ontologias de domínio é complexo e extenso dada as especificidades dos diferentes domínios. Portanto, o reuso de artefatos ontológicos minimiza retrabalho no desenvolvimento de um novo projeto, sempre levando em consideração trabalhos anteriores, fazendo com que soluções previamente desenvolvidas sejam aproveitadas e implementadas em novos contextos. Mas como mencionado



anteriormente, o reuso implica em estratégias de interoperabilidade entre ontologias, e nem sempre é simples de adotar.

Em particular, na experiência do desenvolvimento da ontologia do domínio Obstétrico e Neonatal chamada *OntONeo* (FARINELLI, 2007; FARINELLI *et al.*, 2016), diversos problemas foram encontrados para a adoção do reuso de ontologias. A premissa no desenvolvimento da *OntONeo* foi privilegiar o reuso de termos definidos em outras ontologias de domínio, entretanto, deparou-se com questões relacionadas à ambiguidade de termos e falta de compatibilidade de definições foram encontrados.

Na fase de definição do projeto da *OntONeo*, a partir de uma lista preliminar de termos a serem representados, foi realizada uma busca por ontologias de domínio candidatas a serem reusadas. Após a identificação de diferentes ontologias com potencial de reuso, notou-se vários problemas relacionados à falta de padrão nas definições, ambiguidades de definições e mesmo inconsistências. Por exemplo, na busca pelo termo “paciente<sup>8</sup>” encontrou-se a definição como papel e como objeto, na estrutura da BFO apresentada na Figura 2, ambos são *continuante*, mas o primeiro é *continuante especificamente dependente* e o outro é *continuante independente*. Neste caso, apesar de tal inconsistência, ainda foi possível determinar uma entidade geral e comum, mas em outros casos, era impossível tal definição, ou porque a ontologia não era fundamentada em uma ontologia de nível superior e não seguia nenhum rigor ontológico ou porque as definições estavam carentes de padrão metodológico.

Uma vantagem do uso de ontologias de nível superior como base das ontologias de domínio e de referências é a capacidade de fornecer interoperabilidade pelos links semânticos estabelecidos entre as diferentes ontologias de níveis inferiores que são baseadas em uma mesma ontologia de topo (BITTNER; DONNELLY; WINTER, 2005).

A iniciativa OBO *Foundry* (*The Open Biological and Biomedical Ontologies*) é um bom exemplo de como as ontologias de alto nível podem promover a harmonização de termos definidos pelas ontologias de domínio. O consórcio OBO *Foundry* nasceu da necessidade de

---

<sup>8</sup> Neste caso, a busca foi realizada utilizando o termo em inglês (*patient*) pois as ontologias existentes eram todas definidas em inglês.





criar ontologias biomédicas não redundantes, minimizando as ambiguidades de termos e definições entre as ontologias, além de promover a integração entre ontologias. O principal foco da iniciativa é determinar um conjunto de práticas para o desenvolvimento de ontologias biomédicas interoperáveis, além de desenvolver uma família de ontologias interoperáveis que sejam logicamente bem formadas e cientificamente precisas. Dentre estas práticas, uma delas é a adoção da ontologia de alto nível BFO como guia fundamental para definição dos termos do domínio (SMITH *et al.*, 2007).

**No terceiro caso**, a modularização da ontologia refere-se a prática de desenvolvimento de ontologias como um conjunto de pequenos módulos para posteriormente poderem ser utilizados em conjunto. Esta prática é bem positiva principalmente para domínios de conhecimento complexos e extensos como por exemplo o domínio da biomedicina. Assim, Bittner e Smith (2004) defendem que para normalizar uma ontologia de domínio é necessário definir uma estrutura hierárquica que representa um conjunto de categorias distintas ontologicamente significativas e um conjunto apropriado de relações binárias entre tais categorias. Ele demonstram como uma ontologia de fundamentação, neste caso a BFO, pode fornecer estas categorias básicas e uma lista das relações binárias semanticamente especificada pelos seus axiomas.

#### 4 COMO USAR ONTOLOGIAS DE NÍVEL SUPERIOR?

Em Farinelli (2017) pode ser consultado uma revisão sistemática da literatura sobre metodologias para o desenvolvimento de ontologias, onde o objetivo desta revisão era determinar a metodologia adequada para construir a ontologia *OntONeo*. Percebe-se a existência de várias metodologias, mas sem um consenso sobre qual metodologia é mais apropriada, cabendo ao ontologista determinar a que melhor lhe atenda. Algumas das metodologias existentes são listadas a seguir:

- *Toronto Virtual Enterprise (TOVE)* (GRÜNINGER E FOX, 1995);
- *Methontology* (FERNÁNDEZ-LÓPEZ, GÓMEZ-PÉREZ E JURISTO, 1997);
- *Metodologia NeOn (Network Ontology)* (SUÁREZ-FIGUEROA, 2010);
- *Systematic Approach for Building Ontologies (SABiO)* (FALBO, 2014);



- *Up for ONtology (UPON)* ((DE NICOLA; MISSIKOFF; NAVIGLI, 2005);
- *Metodologia do realismo ontológico* (SMITH; CEUSTERS, 2010; ARP; SMITH; SPEAR, 2015).

De modo geral, o processo de construção de ontologias de domínio, em geral, iniciam pela definição do seu escopo da ontologia – qual domínio de conhecimento vai representar - e o conjunto de requisitos que a ontologia deve atender. Ainda no início do projeto, o ontologista necessita adquirir conhecimento sobre o domínio que vai representar consiste em reunir conhecimento de várias fontes como livros didáticos, documentos, relatórios sobre o domínio de destino, além de consultar especialistas no domínio de conhecimento (SMITH; CEUSTERS, 2010; ARP; SMITH; SPEAR, 2015; SUÁREZ-FIGUEROA; GÓMEZ-PÉREZ; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, 2015).

Definido o escopo, parte-se para o projeto da ontologia, sendo necessário estabelecer qual ontologia de topo o projeto vai adotar. Tendo em vista a boa prática de reuso de ontologias, e a contribuição das ontologias de fundamentação para o desenvolvimento de ontologias de domínio, um dos critérios usados na seleção de ontologias para reuso pode ser a uniformidade da ontologia de topo no qual a ontologia candidata foi fundamentada, visto que quando diferentes ontologias de domínio compartilham uma mesma ontologia de nível superior, elas apresentam uma maior interoperabilidade semântica. Assim, antes de definir a ontologia de topo do projeto, sugere-se fazer um busca de ontologias candidatas ao reuso, que são aquelas que representam domínios de conhecimento afins ao seu projeto, ou que possuem elementos representados que podem ser reutilizados.

Para pesquisar ontologias isso, existem ferramentas de busca específicas para ontologias, tais como: *Ontobee* (XIANG *et al.*, 2011); *Bioportal* (NOY *et al.*, 2008); *Ontology Lookup Service* (CÔTÉ *et al.*, 2006); *Swoogle* (FININ *et al.*, 2005); e *Watson RDF* (D'AQUIN *et al.*, 2007). Estas ferramentas podem trazer diferentes ontologias que representam o mesmo termo, sendo necessário estabelecer os critérios de seleção destas ontologias. A pesquisa por ontologias candidatas ao reuso gera uma lista de ontologias que vão ser analisadas pelo ontologista.

Neste sentido, sugere-se primeiro adotar no projeto a ontologia de topo mais usada entre as ontologias de domínio listadas como candidatas ao reuso. Em seguida, no caso da



ontologias que serão reutilizadas, alguns critérios de seleção devem ser adotados, como por exemplo: a ontologia mais reutilizada; a melhor documentada; aquela que a descrição do termo seja mais compatível com sua necessidade; o rótulo do termo mais adequado (*rdfs:label*); o escopo de representação da ontologia candidata; a ontologia de topo na qual a ontologia candidata está fundamentada; o grau de interoperabilidade das ontologias candidatas, etc.

No caso da *OntONeo*, a ontologia de topo escolhida foi a ontologia BFO visto que ela é usada em mais de 200 projetos de ontologias biomédicas. Assim, na busca por ontologias candidatas, optou-se por usar apenas os buscadores *Ontobee* e *Bioportal*. O primeiro por ser exclusivo de ontologias existentes no consórcio OBO *Foundry* e o segundo por incorporar apenas ontologias que pertencem a domínios biomédicos.

Uma vez identificadas as ontologias para reuso, e quais elementos destas ontologias serão reutilizados, o ontologista precisa definir a estratégia de interoperabilidade de ontologias (seção 3.1) e assim, realizar a recuperação da ontologia (fazer um recorte com os elementos de reuso). Essa recuperação de ontologias pré-existentes pode ocorrer por pelo menos duas abordagens diferentes: a recuperação de toda a ontologia e a recuperação apenas alguns elementos da ontologia.

Na *OntONeo*, a primeira abordagem foi usada para importar na totalidade as ontologias BFO e *Relational Ontology* (RO) do portal OBO *Foundry*<sup>9</sup>, importando os arquivos OWL disponíveis. A segunda abordagem, segue as diretrizes do MIREOT (*Minimal Information to Reference External Ontology Terms*), que invoca em favor de importar apenas elementos necessários para serem reutilizados, evitando a sobrecarga da importação de toda a ontologia (COURTOT *et al.*, 2011). Para isso, utilizada a ferramenta baseada na web chamada *Ontofox*, que gera um arquivo OWL como saída apenas com os elementos específicos da ontologia selecionada para reuso, a partir das configurações parametrizadas por seus usuários (XIANG *et al.*, 2010). Este arquivo de saída pode ser importado na ontologia em desenvolvimento.

---

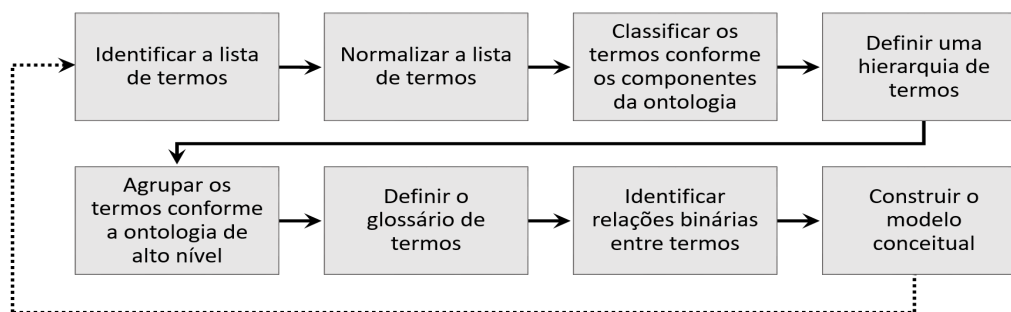
<sup>9</sup> O portal OBO Foundry está disponível no seguinte endereço: <http://www.obofoundry.org/>.



Assim, para iniciar a implementação da ontologia, deve-se primeiro importar a ontologia de alto nível definida para seu projeto, e depois importar as ontologias que serão reutilizadas. Pode ser necessário classificar os termos das ontologias em reuso conforme as categorias da ontologia de topo. Esta classificação pode ser realizada também na ferramenta Ontofox, no momento da extração dos termos que serão reutilizados.

No caso de definição de novos termos, não existentes previamente em outras ontologias de domínio, o ontologista deve organizar e estruturar os termos da lista previamente identificada, normalizando e definindo o termo. Para isso, sugere-se executar os passos conforme a sequência definida na Figura 2 que são baseados na metodologia do realismo ontológico (ARP; SMITH; SPEAR, 2015). No entanto, cada ontologista pode definir a sequência mais conveniente para ele conforme a metodologia e ontologia de alto nível adotada.

**Figura 7- Passos para definição de termos na ontologia de domínio**



Fonte: Das autoras, baseado na tabela 3.1 de Arp, Smith e Spear (2015, p. 50).

Note que um dos passos consiste em agrupar os termos da ontologia em desenvolvimento conforme as definições da ontologia de topo. Neste ponto, o ontologista classifica o termos em representação conforme uma das categorias da ontologia de alto nível, mas pode também, classificar o termo dentro de uma categoria das ontologias em reuso, que já devem estar classificadas conforme a ontologia de topo. Para exemplificar, na hierarquia apresentada anteriormente na Figura 6, os termos existentes na *Gene Ontology* (*processo biológico*, *reprodução*, e *gravidez*) e na OBI<sup>10</sup> (*organismo* e *homo sapiens*) foram classificados conforme as categorias da BFO. Sendo a hierarquia dos termos *processo biológico*, *reprodução*, e *gravidez* da *Gene Ontology* classificados como subtipo de *processo*. E os termos *organismo* e *homo sapiens* da OBI classificados como subtipo de *objeto*. Já o termo

<sup>10</sup> Acrônimo da ontologia *Ontology for Biomedical Investigations*



*mulher* que foi definido na ontologia *OntONEo*, foi classificado na hierarquia da BFO como um *objeto*, mas sendo ainda mais específico, foi classificado como um subtipo de *homo sapiens*.

Desta forma, seja pela importação de termos de reuso de ontologias de domínio ou referência pré-existentes, ou seja pela definição de novos termos na ontologia em desenvolvimento, nota-se que deve ser adotada a prática de sempre classificar os termos conforme a ontologia de alto nível definida para o projeto pois corroboram para especificar a semântica para os termos.

Adicionalmente, além de definir o rótulo principal que o termo vai assumir, é importante realizar a definição textual e formal destes termos utilizando os Princípios Aristotélicos de *Genus e Differentia*, conforme apresentado em Souza (2015) e Souza e Almeida (2016). Tais definições proporcionam uma visão clara sobre a essência do termo em definição, ao se determinar as condições necessárias e suficientes de cada termo em questão.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho buscou, descrever o papel das ontologias de alto nível e sua contribuição na construção de ontologias de referência e de domínio. Primeiramente, foi apresentado o conceito dos diferentes tipos de ontologia, a saber, ontologias de domínio, ontologias de referência e ontologias de alto nível. Em seguida, foi abordado o porquê do uso das ontologias de alto nível e finalmente como utiliza-las no processo de construção de ontologias de domínio ou de referência.

As ontologias de nível superior especificam a semântica para termos muito gerais que desempenham papéis fundamentais importantes na terminologia usada em quase todos os domínios e disciplinas. Elas servem tanto como representação do conhecimento geral quanto como mediação para permitir a interoperabilidade de ontologias heterogêneas.

Foram descritos três principais papéis que as ontologias de alto nível desempenham: 1) Fornecem uma base ontológica comum às ontologias de domínio ao estabelecer categorias gerais aplicáveis a qualquer domínio de conhecimento; 2) Promove à interoperabilidade



semântica entre ontologias de domínio favorecendo o reuso de ontologias; e 3) Ajudam a normalizar as ontologias de domínio o que favorece a modularização de ontologias de domínio.

A diversidade de ontologias de domínio desenvolvidas de maneira *ad-hoc*, sem padronização, e focadas em atender resultados muito específicos, em parte, prejudica a cooperação e a interoperabilidade de duas ou mais ontologias independentes. Dada a complexidade dos diferentes domínios de conhecimento, notamos que a prática de reuso de ontologias pode trazer maior agilidade na criação de novas ontologias já que muitos termos já se encontram definidos. Entretanto, nem sempre é possível definir a interoperabilidade entre ontologias de domínio devido a variabilidade semântica.

Assim, observou-se que a principal forma de integrar conhecimento heterogêneo em várias ontologias é fazer uso de ontologias de nível superior pois elas fornecem uma base ontológica comum para ontologias de domínio. Por fim, conclui-se que fazer o uso de ontologias de alto nível como uma referência na definição de ontologias de domínio minimiza os erros ou inconsistências pois descrevem as categorias independentes de domínio e fornecem um meio de verificar restrições ontológicas básicas.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. B. D. Revisiting ontologies: A necessary clarification. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 64, n. 8, p. 1682-1693, 2013.

ARP, R.; SMITH, B. Function, Role, and Disposition in Basic Formal Ontology. In: THE 11TH ANNUAL BIO-ONTOLOGIES MEETING, 2008, Toronto, Canada. **Citeseer**, 2008. p.1. Disponível em : <https://philarchive.org/archive/ARPFRA>. Acesso em 26 ago 2021.

ARP, R.; SMITH, B.; SPEAR, A. D. **Building Ontologies with Basic Formal Ontology**. Cambridge, Massachusetts: The Mit Press, 2015.220p.

BITTNER, T. From top-level to domain ontologies: Ecosystem classifications as a case study. In: WINTER, S. D. M.; KULIK, L.; KUIPERS, B. (eds). **Spatial Information Theory. COSIT 2007, Lecture Notes in Computer Science**, v. 4736, p.61-77. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-74788-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74788-8_5)

BITTNER, T.; DONNELLY, M.; WINTER, S. Ontology and semantic interoperability. In:



ZLATANOVA, S.; PROSPERI, D. (ed.) **Large-scale 3D data integration: Challenges and Opportunities**. Abingdon: Taylor Francis, 2005. p. 139-160.

BITTNER, T.; SMITH, B. Formal ontologies of space and time. **IFOMIS**, Department of Philosophy. University of Leipzig, Leipzig, University at Buffalo and NCGIA, v. 17, 2003. Disponível em : <http://ontology.buffalo.edu/geo/sto.pdf>. Acesso em 26 ago 2021.

\_\_\_\_\_. Normalizing medical ontologies using basic formal ontology. In: VERSORGUNG, K. ; FORSCHUNG, V., **Ubiquitäre Information (Proceedings of GMDS 2004)**, 2004, Verlag videel OHG, Niebüll. p.199-201.

CALVANESE, D.; DE GIACOMO, G.; LENZERINI, M. A framework for ontology integration. **The emerging semantic web**: CEUR-WS. org p. 201-214. 2001. Disponível em : [https://files.ifi.uzh.ch/ddis/iswc\\_archive/iswc/ih/SWWS-2001/program/full/paper21a.pdf](https://files.ifi.uzh.ch/ddis/iswc_archive/iswc/ih/SWWS-2001/program/full/paper21a.pdf). Acesso em 26 ago 2021.

CHOI, N.; SONG, I.Y.; HAN, H. A survey on ontology mapping. **ACM Sigmod Record**, v. 35, n. 3, p. 34-41, 2006.

CÔTÉ, R. G. *et al.* The Ontology Lookup Service, a lightweight cross-platform tool for controlled vocabulary queries. **BMC bioinformatics**, v. 7, n. 1, p. 97, 2006.

COURTOT, M. *et al.* MIREOT: The minimum information to reference an external ontology term. **Applied Ontology**, v. 6, n. 1, p. 23-33, 2011.

D'AQUIN, M. *et al.* Watson: Supporting next generation semantic web applications. In: NUNES, M. B., ISAÍAS, P. ; BARROSO, J. **6th edition of the International Conference WWW/Internet (IADIS 2007)**, 2007, Vila Real, Portugal, 2007.

DE NICOLA, A.; MISSIKOFF, M.; NAVIGLI, R. A Proposal for a Unified Process for Ontology Building: UPON. In: ANDERSEN K.V., DEBENHAM, J.; WAGNER, R. (eds) Database and Expert Systems Applications. DEXA 2005. **Lecture Notes in Computer Science**, v. 3588. p.655-664, 2005. [https://doi.org/10.1007/11546924\\_64](https://doi.org/10.1007/11546924_64).

EHRIG, M. **Ontology alignment: bridging the semantic gap**. New York City: Springer US. 2007. 248 p. (Semantic Web and Beyond, 4)

EHRIG, M.; SURE, Y. Ontology mapping: an integrated approach. Springer, v. 3053, p.76-91. 2004. Disponível em : <http://disi.unitn.it/~accord/RelatedWork/Matching/Marc.pdf>. Acesso em 26 ago 2021.

ELMHADHBI, L.; KARRAY, M.-H.; ARCHIMÈDE, B. Toward the use of upper-level ontologies for semantically interoperable systems: An emergency management use case. In: **9TH CONFERENCE ON INTEROPERABILITY FOR ENTERPRISE SYSTEMS AND APPLICATIONS I-ESA2018 CONFERENCE**, 2018, Berlin, Germany. hal-02359706. p.1-10.



FALBO, R. D. A. SABiO: Systematic Approach for Building Ontologies. In: GUIZZARDI, G.PASTOR, O.WAND, Y, *et al*, ONTO-COM-ODISE 2014- Ontologies in Conceptual Modeling and Information Systems Engineering, 2014, Rio de Janeiro, Brazil. **CEUR Workshop Proceedings**, v. 1301,2014.

FARINELLI, F. **Conceitos básicos de programação orientada a objetos**. Belo Horizonte: [s.n],2007. 35p.Disponível em : <https://docplayer.com.br/843871-Conceitos-basicos-de-programacao-orientada-a-objetos.html>. Acesso em 26 ago 2021.

\_\_\_\_\_. **Improving semantic interoperability in the obstetric and neonatal domain through an approach based on ontological realism** 2017. 256p. Doctoral Thesis (PhD in Information Science). School of Information Science Federal University of Minas Gerais at Brazil, Belo Horizonte.2017.

\_\_\_\_\_. **Um diálogo entre o realismo ontológico e a engenharia de ontologias na construção de artefatos de representação**. Representação do conhecimento, ontologias e linguagem: pesquisa aplicada em ciência da informação. Curitiba: CRV, 2020. p. 277-294.

FARINELLI, F.; ALMEIDA, M. B. Ontologias biomédicas: teoria e prática. In: ZIVIANI, A.,FERNANDES, N. C.; SAADE, D. C. M. 18º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO APLICADA À SAÚDE - SBCAS 2019, Niterói, RJ, Brasil. Sociedade Brasileira de Computação, 11 a 14 de junho de 2019. p.93-140.

FARINELLI, F. *et al*. OntONeo: The Obstetric and Neonatal Ontology. In: JAISWAL, P.;HOEHNDORF, R.;ARIGHI, C. *et al*. 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOLOGICAL ONTOLOGY (ICBO 2016), 2016, Oregon State University, Corvallis, OR, USA.**CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org)**, v. 1747, 2016.

FARINELLI, F.; MELO, S.; ALMEIDA, M. B. O papel das ontologias na interoperabilidade de sistemas de informação: reflexões na esfera governamental. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 2013, Florianópolis, Brasil, **Anais [...]** 2013.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M.; GÓMEZ-PÉREZ, A.; JURISTO, N. Methontology: from ontological art towards ontological engineering. In: PROCEEDINGS OF THE ONTOLOGICAL ENGINEERING AAAI-97 SPRING SYMPOSIUM SERIES, 1997, Stanford University, EEUU. American Association for Artificial Intelligence.

FININ, T. *et al*. Swoogle: Searching for knowledge on the Semantic Web.In: TWENTIETH NATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AAAI'05, 2005, Pittsburgh, Pennsylvania, USA. 4: Menlo Park, CA; Cambridge, MA; London; AAAI Press; MIT Press; 1999, 20, July 9–13. p.1682.

GANGEMI, A. *et al*. A formal ontological framework for semantic interoperability in the fishery domain. In: EUZENAT, J.GOMEZ-PEREZ, A.GUARINO, N., *et al*, EUROPEAN CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE (ECAI'02) - WORKSHOP ON ONTOLOGIES





AND SEMANTIC INTEROPERABILITY, 2002, Lyon, France. **CEUR Workshop Proceedings**, v. 64.

GRENON, P. **BFO in a Nutshell: A Bi-categorical Axiomatization of BFO and Comparison with DOLCE - Report 06/2003**. Institute for Formal Ontology and Medical Information Science (IFOMIS). University of Leipzig: Leipzig, Germany,. 2003a. p.33

\_\_\_\_\_. **Nuts in BFO's nutshell: Revisions to the bi-categorical axiomatization of BFO - Report 07/2003**. Institute for Formal Ontology and Medical Information Science (IFOMIS). University of Leipzig: Leipzig, Germany, 2003b. p.48.

GRENON, P.; SMITH, B. SNAP and SPAN: Towards Dynamic Spatial Ontology. **Spatial Cognition And Computation**, v. 4, n. 1, p. 69-104, 2004. Disponível em : [http://ontology.buffalo.edu/smith/articles/SNAP\\_SPAN.pdf](http://ontology.buffalo.edu/smith/articles/SNAP_SPAN.pdf). Acesso em 26 ago 2021.

GRÜNINGER, M.; FOX, M. S. Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies. In: MELLISH, C. S.. 14TH INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE (IJCAI-95), 1995, Montreal, CA Morgan Kaufmann.

GUARINO N. Semantic matching: Formal ontological distinctions for information organization, extraction, and integration. In: PAZIENZA M.T. (eds) Information Extraction A Multidisciplinary Approach to an Emerging Information Technology. SCIE 1997. **Lecture Notes in Computer Science** (Lecture Notes in Artificial Intelligence), v. 1299.1997. [https://doi.org/10.1007/3-540-63438-X\\_8](https://doi.org/10.1007/3-540-63438-X_8)

\_\_\_\_\_. Formal ontology in information systems In: GUARINO, N. (ed), **PROCEEDINGS OF THE 1ST FORMAL ONTOLOGY IN INFORMATION SYSTEMS**, 1998, Trento, Italy. **IOS press**, June 6-8. p.81-97.

GUARINO, N.; OBERLE, D.; STAAB, S. What is an Ontology? In: STAAB, S.; STUDER, R. (eds.) . **Handbook on ontologies**. Berlin-Heidelberg: Springer, 2009. p.1-17. Disponível em : [https://iaoa.org/isc2012/docs/Guarino2009\\_What\\_is\\_an\\_Ontology.pdf](https://iaoa.org/isc2012/docs/Guarino2009_What_is_an_Ontology.pdf). Acesso em 26 ago 2021.

GUIZZARDI, G. **Ontological foundations for structural conceptual models**. Thesis. (PhD in Telematics and Information Technology) Centre for Telematics and Information Technology, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 2005. (CTIT PhD.-thesis series, No. 05-74). Disponível em : <http://www.inf.ufes.br/~gguizzardi/OFSCM.pdf>. Acesso em 26 ago 2021.

HERRE, H. General Formal Ontology (GFO): A Foundational Ontology for Conceptual Modelling. In: POLI, R.; HEALY, M.; KAMEAS, A. (eds). **Theory and Applications of Ontology: Computer Applications**. Dordrecht: Springer, 2010. p.297-345. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-8847-5\\_14](https://doi.org/10.1007/978-90-481-8847-5_14)

HERRE, H. *et al.* **General formal ontology (GFO)**. Part I: Basic Principles. Version 1.0,



.Leipzig: University of Leipzig , 2006.(Onto-Med Report, v. 8). Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.88.7825&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em 26 ago 2021.

HITZLER, P. *et al.* What is ontology merging? A Category-Theoretical Perspective Using Pushout. In: AAAI WORKSHOP, 2005, **AAAI Press**, 2005. p.4. Disponível em: <https://www.aaai.org/Papers/Workshops/2005/WS-05-01/WS05-01-017.pdf>. Acesso em 26 ago 2021.

HUNTLEY, R. P. *et al.* A method for increasing expressivity of Gene Ontology annotations using a compositional approach. **BMC Bioinformatics**, v. 15, 2014.

KALFOGLOU, Y.; SCHORLEMMER, M. Ontology mapping: the state of the art. **The knowledge engineering review**, v.18, n.1, p.1-31,2003.

KARRAY, M. *et al.* The Industrial Ontologies Foundry (IOF) perspectives. In: PROCEEDINGS OF THE WORKSHOPS OF I-ESA 2020. 17-11-2020, Tarbes, France. Disponível em : <http://ceur-ws.org/Vol-2900/WS5Paper5.pdf>. Acesso em 26 ago 2021.

KATSUMI, M.; GRÜNINGER, M. What is ontology reuse? In: KUHN, R. F. W. 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON FORMAL ONTOLOGY IN INFORMATION SYSTEMS, 2016, Annecy, France. **IOS Press**, v.283, 2016. p.9-22.

MASCARDI, V.; CORDÌ, V.; ROSSO, P. A Comparison of Upper Ontologies. In: BALDONI, M. BOCCALATTE, A. PAOLI, F. D., *et al.* WOA - 8TH WORKSHOP DAGLI OGGETTI AGLI AGENTI, 2007, Genova, Italy. 2007. p.55-64.

MASOLO, C. *et al.* Dolce: a descriptive ontology for linguistic and cognitive engineering. **WonderWeb Project, Deliverable D17 v2**, v. 1, p. 75-105, 2003.

MAIRINK, C. H. P.; SOARES, F. M. **Manual de normalização de artigos científicos**: atualizado de acordo com as NBR 6022/2018 e NBR 6023/2018. Belo Horizonte: CaMaik, 2019. Disponível em: <http://famigvirtual.com.br/famig-monografias/index.php/mono/catalog/view/245/247/982-1>. Acesso em: 26 nov. 2019

MIZOGUCHI, R. YAMATO: yet another more advanced top-level ontology. In: TAYLOR, K.; MEYER, T.; ORGUN, M. **Advances in ontologies**, Adelaide, Australia, , 2010. p.1-16. Disponível em : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.182.1546>. Acesso em 26 ago 2021.

NOY, N. F. Ontology mapping. In: STAAB, S.; STUDER, R. (eds.). **Handbook on ontologies**. Berlin-Heidelberg: Springer, 2009. p.573-590.

NOY, N. F.; MUSEN, M. A. SMART: Automated support for ontology merging and alignment. In: 12TH WORKSHOP ON KNOWLEDGE ACQUISITION, MODELLING, AND MANAGEMENT (KAW'99), 1999, Banf, Canada. 1999. Disponível em:



<http://citeseer.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.18.3346>. Acesso em 26 ago 2021.

\_\_\_\_\_. Algorithm and tool for automated ontology merging and alignment. In: 17TH NATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AAAI-00), 2000, Austin, Texas, USA. 2000. p.450–455.

NOY, N. F. *et al.* BioPortal: A Web Repository for Biomedical Ontologies and Data Resources. In: JOSHI, C. B. A.(ed). 7TH INTERNATIONAL SEMANTIC WEB CONFERENCE (ISWC2008), 2008, Karlsruhe, Germany. CEUR-WS.org, Vol. 401, 2008.

PEASE, A.; NILES, I.; LI, J. The suggested upper merged ontology: A large ontology for the semantic web and its applications. **AAAI Technical Report WS-02-11**. 2002. Disponível em: <https://www.aaai.org/Papers/Workshops/2002/WS-02-11/WS02-11-011.pdf>. Acesso em 26 ago 2021.

PENA, C. R.; VIDAL, M. T. Ontology Reusing: A Review. **Res. Comput. Sci.**, v. 149, n. 4, p. 107-113, 2020.

PINTO, H. S.; GÓMEZ-PÉREZ, A.; MARTINS, J. P. Some issues on ontology integration. In: PROCEEDINGS OF THE 16TH INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE (IJCAI'99) WORKSHOP: KRR5: Ontologies and Problem-Solving Methods: Lesson Learned and Future Trends. 2 August 1999, Stockholm, Sweden. **CEUR Workshop Proceedings**, 1999.

PINTO, H. S.; MARTINS, J. P. A methodology for ontology integration. In: K-CAP '01: PROCEEDINGS OF THE 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE CAPTURE, October 2001, **ACM Digital Library**, 2001. p.131-138.

SCHULZ, S. The Role of Foundational Ontologies for Preventing Bad Ontology Design. In: JANSEN, L.; RADICIONI, D. P. ; GROMANN, D. In: 1ST INTERNATIONAL WORKSHOP ON BADONTOLOGY (BOG'18), PART OF THE JOINT ONTOLOGY WORKSHOP (JOWO 2018), Cape Town, South Africa. 1st: **CEUR Workshop Proceedings**, v. 2205. 2018.

SCHULZ, S. *et al.* **Guideline on Developing Good Ontologies in the Biomedical Domain with Description Logics**. December 11th, 2012, p.85. 2012. Disponível em: [https://www.uni-rostock.de/storages/uni-rostock/Alle\\_PHF/IPH/media/GoodOD/GoodOD-Guideline v1 2012.pdf](https://www.uni-rostock.de/storages/uni-rostock/Alle_PHF/IPH/media/GoodOD/GoodOD-Guideline v1 2012.pdf). Acesso em 26 ago 2021.

SMITH, B. **Ontology and information science**. 2003a. Disponível em: [http://ontology.buffalo.edu/ontology\\_long.pdf](http://ontology.buffalo.edu/ontology_long.pdf). Acesso em 31 ago 2021.

\_\_\_\_\_. **Ontology and Information Systems**. p.93. 2003b. Disponível em: [http://ontology.buffalo.edu/ontology\(PIC\).pdf](http://ontology.buffalo.edu/ontology(PIC).pdf). Acesso em 26 ago 2021.

SMITH, B. *et al.* **Basic Formal Ontology 2.0**: Specification and User's Guide. June 26th,



2015, p.97. 2015.

SMITH, B. *et al.* The OBO Foundry: coordinated evolution of ontologies to support biomedical data integration. **Nature Biotechnology**, v. 25, n. 11, p. 1251-1255, 2007.

SMITH, B.; BROCHHAUSEN, M. Putting biomedical ontologies to work. **Methods of information in medicine**, v. 49, n. 2, p. 135, 2010.

SMITH, B.; CEUSTERS, W. Ontological realism: A methodology for coordinated evolution of scientific ontologies. **Applied ontology**, v. 5, n. 3-4, p. 139-188, 2010.

SMITH, B. *et al.* Relations in biomedical ontologies. **Genome Biology**, v. 6, n. 5, 2005.. Disponível em: < <http://genomebiology.com/content/6/5/R46> >. Acesso em: 20/01/2015.

SMITH, B.; GRENON, P. The Cornucopia of Formal-Ontological Relations. **Dialectica**, v. 58, n. 3, p. 279-296, 2004.

SMITH, B.; ROSSE, C. The role of foundational relations in the alignment of biomedical ontologies. **Medinfo**, v. 11, n. Pt 1, p. 444-8, 2004.

SMITH, B.; WELTY, C. Ontology: Towards a new synthesis. In: 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON FORMAL ONTOLOGY IN INFORMATION SYSTEMS (FOIS 2001), 2001, Ogunquit. ACM Press, 2001, October 17-19. p.3-9.

SØERGEL, D. The rise of ontologies or the reinvention of classification. **Journal of the Association for Information Science and Technology**, v. 50, n. 12, p. 1119, 1999.

SOUZA, A.D. **Sistematização do processo de criação de definições formais em ontologias biomédicas**: uma investigação no domínio das leucemias mieloides agudas. 2015. 180 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação) Escola de Ciência da Informação, Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

SOUZA, A. D.; ALMEIDA, M.B. Natural Language Definitions for the Leukemia Knowledge Domain. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE OF BIOMEDICAL ONTOLOGIES, ICBO, Corvallis, U.S. 2016.

SOWA, J. F. Top-level ontological categories. **International journal of human-computer studies**, v. 43, n. 5-6, p. 669-685, 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/IEC PRF 21838-1**: Information technology - Top-level ontologies (TLO) — Part 1: Requirements). Switzerland, p. 23. 2020a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/IEC PRF 21838-2.2**: Information technology - Top-level ontologies (TLO) - Part 2: Basic Formal Ontology (BFO). p. 2020b.



STOUTENBURG, S. K. **Advancing ontology alignment: new methods for biomedical ontology alignment using non equivalence relations.** 2009. 202p. Thesis (Ph.D. in Engineering, Focus in Computer Science). Department of Computer Science, University of Colorado at Colorado Springs.2009.

SUÁREZ-FIGUEROA, M. C. **NeOn Methodology for building ontology networks: specification, scheduling and reuse.** 2010. 268p. Thesis (PhD. in Inteligência Artificial). Inteligência Artificial, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2010

SUÁREZ-FIGUEROA, M. C.; GÓMEZ-PÉREZ, A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M. The NeOn Methodology framework: A scenario-based methodology for ontology development. **Applied Ontology**, v. 10, n. 2, p. 107-145, 2015.

VICKERY, B. C. Ontologies. **Journal of information science**, v. 23, n. 4, p. 277-286, 1997.

WALLACE, E. *et al.* The industrial ontologies foundry proof-of-concept project. In: MOON, I. *et al.* (eds). **Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0. APMS 2018. IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v 536, p.402-409. 2018. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99707-0\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99707-0_50)

WAND, Y.; WEBER, R. Mario Bunge's Ontology as a formal foundation for information systems concepts. **Studies on Mario Bunge's Treatise, Rodopi**, Atlanta, p. 123-149, 1990.

XIANG, Z. *et al.* OntoFox: web-based support for ontology reuse. **BMC research notes**, v. 3, n. 1, p. 175, 2010.

XIANG, Z. *et al.* Ontobee: A Linked Data Server and Browser for Ontology Terms, Ontology. In: 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOMEDICAL ONTOLOGY (ICBO2011), 2011, Buffalo, NY, USA. **CEUR-WS.org**, v.833, p.279-281, 2011.

