

# Teorias ontológicas para modelagem

---

Maurício Barcellos de Almeida<sup>1</sup>

**Resumo:** existe um crescente interesse na aplicação de ontologias para a solução de problemas em diversas áreas como Ciência da Computação, Ciência da Informação, Filosofia, Inteligência Artificial, Linguística, Gestão do Conhecimento; bem como em domínios como Saúde, Biomedicina, Direito, Geografia, para citar alguns. O presente ensaio introduz o estudo da ontologia, um campo de pesquisa interdisciplinar que aborda entidades e relações fundamentais para a modelagem de domínios do conhecimento. A abordagem é a da “Ontologia Aplicada”, um campo que alia novas tecnologias, em particular as desenvolvidas para a Web Semântica, à uma sólida fundação filosófica metafísica. Apresentam-se aqui informações básicas sobre ontologia e sua aplicação em sistemas de informação.

**Palavras-chave:** ontologia; modelagem.

## *Ontological theories for modeling*

**Abstract:** There is a growing interest in the application of ontologies for problem-solving in several areas, such as Computer Science, Information Science, Philosophy, Artificial Intelligence, Linguistics, Knowledge Management; as well as within knowledge domains, such as Health, Biomedicine, Law, Geography, to name a few. This essay is dedicated to the study of ontology, an interdisciplinary research field that examine entities and relationships as a mean for better performing knowledge domains modeling. Our approach here is called "Applied Ontology", a field that gathers new technologies, in particular those developed for the Semantic Web, together with solid metaphysical philosophical foundations. We present basic information about ontology and its application in information systems.

**Keywords:** ontology; modeling.

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os anos 1960, as aplicações computacionais têm feito uso de bancos de dados com sucesso. A questão sobre o uso de ontologias, ao invés de banco de dados, sempre surge em contextos práticos. Na verdade, ontologias como artefatos construídos sem os princípios da ontologia como disciplina, pouco tem a oferecer mais do que os bancos de dados, os quais

---

<sup>1</sup> Doutor em Ciência da Informação (CI), professor associado da Universidade Federal de Minas Gerais, pós doutorado na State University of New York at Buffalo. mba@eci.ufmg.br, Lattes 5218069708058487. ORCID: 0000-0002-4711-270X.

alguns autores nomeiam como uma “promiscuidade ontológica”. A razão para isso é a natureza ad-hoc utilizada pelos desenvolvedores para a criação de sistemas. De fato, faz sentido construir modelos ontológicos bem fundamentados, os quais são passíveis de representação lógica, o que possibilita a redução da ambiguidade e de problemas de comunicação.

Entretanto, a diferença essencial entre as duas tecnologias reside no fato de que bancos de dados são tipos de sistemas de “mundo fechado”, em que se assume que o que não é sabido verdadeiro deve ser falso; e ontologias são sistemas conhecidos como de “mundo aberto”, em que se pressupõe que o que não é sabido verdadeiro é simplesmente desconhecido. Esse é um apelo para o uso de ontologias em Medicina, onde muito ainda pode ser descoberto e revelado, por exemplo, via inferências automáticas. Cabe assim verificar se o problema em questão exige o uso de ontologias. Não faria sentido, por exemplo, usar um sistema de mundo aberto para descobrir quantos presidentes o Brasil já teve. Outro apelo ao uso de ontologias é de que muitas consultas feitas com a tecnologia da Web Semântica não seriam possíveis em ambientes de bancos de dados.

O uso de motores de inferência se tornou popular nos últimos anos por avanços recentes da Inteligência Artificial (IA). Trata-se de IA uma vez que conhecimento novo é deduzido a partir de conhecimento existente. Entretanto, abordar diretamente a tecnologia sem adentrar antes as teorias da ontologia vai resultar em algo não tão diferente de um banco de dados. Para aproveitar o poder das ontologias, é preciso saber como usá-las e como modelar a partir dos construtos disponíveis na lógica apropriada. Esse ensaio introduz tais teorias buscando possibilitar ao leitor um conhecimento sobre o tema que permita maior aprofundamento e uso da tecnologia de forma produtiva.

No restante do presente artigo, apresentam-se os fundamentos teóricos das ontologias e dos modelos (seção 2), os principais construtos para modelagem bem como seus fundamentos (seção 3), as categorias ontológicas aplicada à modelagem (seção 4). Cabe salientar que não se trata de artigo de pesquisa, mas sim de caráter informativo e educacional. Em função dessa proposta, não se descrevem aqui métodos de revisão de literatura, mas cabe salientar que tal

revisão não é sistemática, nem exaustiva, e se fundamenta em grande medida na corrente conhecida como “realista”.

## 2 FUNDAMENTOS: ONTOLOGIAS E MODELOS

Ontologia é um tema que tem sido estudado em diferentes campos de pesquisa – Filosofia, Ciência da Computação e Ciência da Informação – e no âmbito de vários domínios do conhecimento – Medicina, Biologia, Direito e Geografia, para citar alguns. Apesar da ampla difusão do termo, não é uma tarefa simples entender o que significa “ontologia”. Na Filosofia, ontologia é um ramo da Metafísica que diz respeito a quais categorias de entidades existem e estão relacionadas [Lowe 2007]. Em Ciência da Computação, ontologias são aplicadas à modelagem de sistemas de informação (SIs), em diferentes ramos: sistemas tradicionais baseados em bancos de dados, e sistemas baseados em conhecimento, assim nomeados no campo da Representação do Conhecimento. Em Ciência da Informação, Vickery [1997, p. 285] conclui que “os problemas com os quais os cientistas da informação vêm lutando há muito tempo são enfrentados agora pela comunidade de engenheiros do conhecimento.” Tais problemas dizem respeito questões de modelagem.

Antes de adentrar em detalhes sobre os diversos significados para o termo “ontologia”, apresenta-se, para entendimento do contexto, um breve histórico desde os primeiros modelos de dados até os modelos baseados em ontologias. Modelos são representações simplificadas da realidade que se busca entender. O mundo é complexo e os modelos são produzidos para permitir que a compreensão humana apreenda e organize fatos. Modelos também são entidades importantes e partes integrantes do método científico. Uma das formas de classificar os modelos é considerar a questão semântica, a qual trata das funções da representação. Deste ponto de vista, os modelos podem ser *modelos de fenômenos*, *modelos teóricos* ou *modelos de dados* [Frigg 2006]. Modelos de dados proliferam nas organizações modernas como um meio de representar o que se pretende codificar e processar em SIs.

Os SIs têm papel relevante na consolidação de novas práticas administrativas, pois visam atender às necessidades da corporação. O desenvolvimento de SIs envolve a criação de modelos para representar atividades e processos que ocorrem na corporação. Um modelo

de dados corporativo é “[...] uma representação explícita da estrutura, atividades, processos, fluxos, recursos, pessoas, comportamento, objetivos e restrições de uma corporação” [Gandon 2002, p.42].

No desenvolvimento de SI, o estágio em que os modelos são criados para fins de compreensão humana é geralmente referenciado como *modelagem conceitual*. Os modelos conceituais são criados a partir de abstrações de aspectos da realidade, seja da perspectiva de um indivíduo ou de um grupo. As abstrações são um meio de especificar as entidades e as relações entre entidades dentro do domínio de um campo de conhecimento que é de interesse para o sistema em construção. A modelagem conceitual de SIs é resultado de pesquisas realizadas nos últimos 50 anos. As primeiras iniciativas para a especificação de modelos de dados datam do final da década de 1950 [Young, Kent 1958, Bosak *et al.* 1962]. Tais iniciativas objetivavam gerar modelos que fornecessem estruturas de dados para atendimento a necessidades computacionais.

Na década de 1960, a pesquisa em bancos de dados deu origem a três tipos principais de modelos de dados: o *modelo hierárquico*, o *modelo de rede* e o *modelo relacional*. Esses modelos são em geral referenciados como *modelos lógicos*, pois não alcançavam aspectos físicos (de implementação). No entanto, os modelos lógicos apresentavam problemas que limitavam sua utilização na modelagem conceitual [Mylopoulos 1998]. Por exemplo, no modelo relacional [Codd 1970], um constructo denominado “relacionamento” é usado para representar tanto “entidades” quanto “relações entre entidades” do mundo real [Peckham, Maryanski 1988]. Esse fato gera problemas de comunicação e leva a erros de modelagem.

Os primeiros *modelos semânticos* utilizados na modelagem conceitual surgiram na década de 1970, no escopo do trabalho do Comitê ANSI/X3/SPARC para a padronização de sistemas de gerenciamento de banco de dados. Os mais notáveis são o *modelo de dados semântico* [Abrial 1974], a *arquitetura de três esquemas* [Jardine 1976], o *modelo entidade-relacionamento (ER)* [Chen 1976] e o *modelo ER estendido* [Codd 1979], dentre outros. A principal característica dos modelos semânticos, em comparação aos anteriores, é que eles são de mais fácil compreensão por pessoas.

O modelo ER, por exemplo, removeu a sobrecarga do constructo “relação” que existia nos modelos relacionais, além de fornecer termos adicionais para uso como primitivas de modelagem. A modelagem conceitual surgiu a partir de modelos de dados semânticos desenvolvidos para bancos de dados, mas o Comitê ISO/TC97/SC5 formou um grupo com o objetivo de determinar padrões para linguagens de modelagem conceitual de SIs.

Nos anos 90, propostas para *modelagem orientada a objetos* se tornaram populares. Muitos consideravam a orientação a objeto como uma categoria diferente dos modelos de dados. De fato, tais modelos tinham recursos adicionais em comparação com modelos de dados anteriores, mas ainda assim mantinham semelhanças nos constructos adotados, tais como: *objetos versus entidades, atributos versus propriedades, relacionamentos versus associações, classes versus hierarquias* [Milton 2000]. A *Unified Modeling Language* foi uma tentativa de padronizar as notações orientadas a objetos que incluíam diversas outras iniciativas: o Método Booch [Booch 1993], a Técnica de Modelagem de Objetos [Rumbaugh *et al.* 1991], a Engenharia de Software Orientada a Objetos [Jacobson *et al.* 1992], dentre outros.

Ao longo de todos esses anos, a criação de modelos conceituais vem sendo motivada pela busca de formas cada vez melhores de representar a realidade em SIs. A modelagem conceitual é “[...] a atividade de descrever formalmente alguns aspectos do mundo físico e social ao nosso redor para fins de compreensão e comunicação” [Mylopoulos 1992, p. 3]. No entanto, modelos semânticos usados na modelagem conceitual utilizam um conjunto limitado de constructos para a tarefa a que se propõe. A partir dos anos 1990, uma diversidade de iniciativas para o uso de ontologias nas corporações pode ser encontrada na literatura de SIs [Fox 1992, Uschold *et al.* 1998, Fillion *et al.* 1995, Schlenoff 1996, Bernus *et al.* 1996].

Smith e Welty (2001) apontam a inconsistência nas práticas durante os primeiros anos de modelagem conceitual como a principal causa dos problemas de interoperabilidade nos SIs atuais. Uma alternativa para esse tipo de problema são os *modelos baseados em ontologias*: “[...] a provisão, definitiva, de uma ontologia de referência comum e bem fundamentada – uma taxonomia compartilhada de entidades – pode fornecer vantagens significativas sobre os métodos *ad-hoc*, caso a caso, usados até aqui” [Smith, Welty 2001, p. 4].

O termo “ontologia” apareceu pela primeira vez na literatura da Ciência da Computação em 1967, na teoria de dados proposta por Mealy<sup>2</sup> [Smith 2003]. Historicamente, vários autores foram pioneiros no tema [Genesereth, Nilsson 1987, Gruber 1993, Guarino, 1995, Guarino, Giaretta 1995, Guarino 1998, Smith 2003, Vickery 1997, Wand *et al.* 1999]. Ontologias têm sido estudadas desde a década de 1970 na pesquisa de Inteligência Artificial e desde os anos 80 na modelagem conceitual de SI. Nos anos 90, a pesquisa em Web Semântica aumentou a demanda por ontologias para diversos tipos de aplicativos, tanto para solucionar problemas de interoperabilidade quanto para fornecer uma estrutura unificada de comunicação.

O estudo das ontologias é caracterizado pela coexistência de abordagens interdisciplinares, com pelo menos sete interpretações disponíveis na literatura para o termo ontologia [Guizzardi 2005]: i) uma disciplina filosófica; ii) um sistema conceitual informal; iii) um sistema baseado semântica formal; iv) uma especificação de uma conceitualização. v) uma representação de um sistema conceitual via teoria lógica; vi) um vocabulário usado por uma teoria lógica; vii) uma especificação (meta-nível) de uma teoria lógica. Uma ontologia descreve o significado dos símbolos adotados no SI e representa uma visão específica do mundo. As ontologias são nesse caso classificadas em duas dimensões principais: a dimensão de tempo corresponde à utilização de ontologias em SI, seja em tempo de desenvolvimento ou em tempo de execução; a dimensão estrutural lida com o uso da ontologia como um componente de banco de dados, como a interface do usuário ou como um aplicativo [Guarino 1998].

Em Representação do Conhecimento (RC), um subcampo da Inteligência Artificial (IA), o termo ontologia é usado para se referir a uma estrutura de entidades representados por um vocabulário lógico. Para melhor entendimento, considere-se as atividades e os agentes envolvidos na tarefa de representar conhecimento: *sistemas declarativos* contém declarações que representam *fatos* governados por *regras*. Um exemplo de um fato é “New York é uma cidade nos Estados Unidos” e de uma regra é “todas as pessoas que vivem em New York

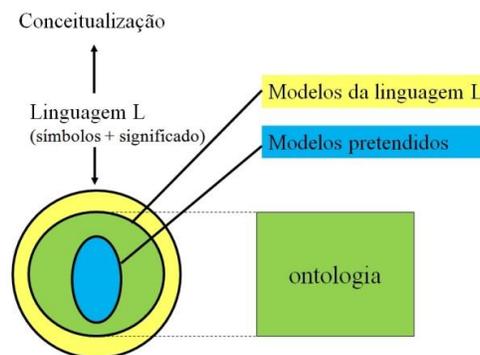
---

<sup>2</sup> Mealy, G. H. (1967). Another Look at Data. Proceedings of AFIPS Conference. 31, 525-534. Washington: Thompson.

vivem nos Estados Unidos”. Essa combinação de fatos e regras compõem uma *base de conhecimento* do sistema. Uma base de conhecimento é construída e mantida por um *engenheiro do conhecimento*, que tem como tarefa formalizar o conhecimento de um grupo de especialistas. Em muitos casos, a ontologia faz o papel da base de conhecimento.

Para executar tais tarefas, um engenheiro realiza generalizações e abstrações, as quais requerem *insights* metafísicos. Nessa linha de pensamento, uma ontologia é uma teoria representativa dos principais fatos e regras que governam parte da realidade, para fins computacionais. Existem outras abordagens em RC que empregam linguagens de representação mais expressivas para construir modelos para uma teoria [Guarino 1998]. Aderindo a um compromisso ontológico – uma descrição da conceitualização pretendida para uma teoria lógica [Guarino, Giaretta 1995] – emprega-se uma linguagem de representação para gerar um conjunto de modelos representativos da realidade. O papel da ontologia é tornar explícitos axiomas que restringem modelos, de forma a igualar, tanto quanto possível, os modelos que contém o significado pretendido (ver Figura 1).

Figura 1. Ontologia e linguagem de representação



Fonte: Adaptado de Guarino (1998)

Uma explicação formal da Figura 1 deve incluir uma conceitualização  $C$  representada por uma linguagem de representação  $L$  aderente a um compromisso ontológico  $K = \langle C, I \rangle$ . Na verdade,  $L$  se compromete com o domínio  $D$  através de  $K$ , do qual  $C$  é a conceitualização subjacente. A variável  $I$  representa a função interpretação, a qual mapeia elementos de  $D$  para símbolos do vocabulário  $V$ . Todos os modelos de  $L$  compatíveis com  $K$  são modelos

pretendidos de L de acordo com K. Nesse contexto, o papel da ontologia é restringir modelos de L que se tornam modelos pretendidos  $I_kL$ .

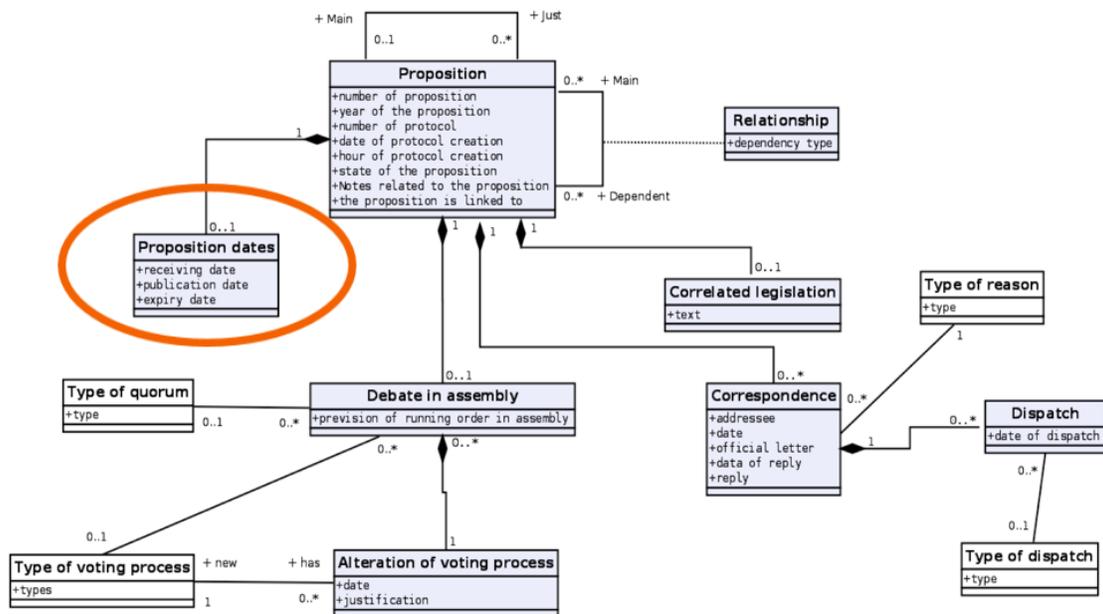
Observam-se então dois significados principais para o termo ontologia em Ciência da Computação.

O primeiro significado diz respeito ao uso de princípios ontológicos para entender e modelar a realidade (ver por ex. Wand, Weber 1990, Wand *et al.* 1999), o qual denominamos princípios da “ontologia como disciplina”. O uso do termo nesse caso está alinhado com seu papel original na Filosofia, ou seja, fornecer uma descrição do que existe e caracterizar entidades nas atividades de modelagem.

Para um ilustrar de forma prática em sistemas de informação, a Figura 3.2 apresenta um modelo em *Unified Modeling Language* (UML) real com uma falha de modelagem: uma data é modelada como entidade, quando na verdade é uma propriedade. Esse é um tipo de falha simples que a ontologia, funcionando como um metamodelo, pode aprimorar. Na verdade, diversos outros tipos de falhas similares podem ser corrigidos pelo uso da ontologia como metamodelo. A Figura 3 apresenta o mesmo modelo UML da Figura 2 depois de corrigido pelo uso da ontologia *Bunge-Wand-Weber* (BWW) [Alturki *et al.* 2013]. O uso da ontologia como disciplina para criar ontologias como artefatos em geral gera modelos ontológicos bem fundamentados.

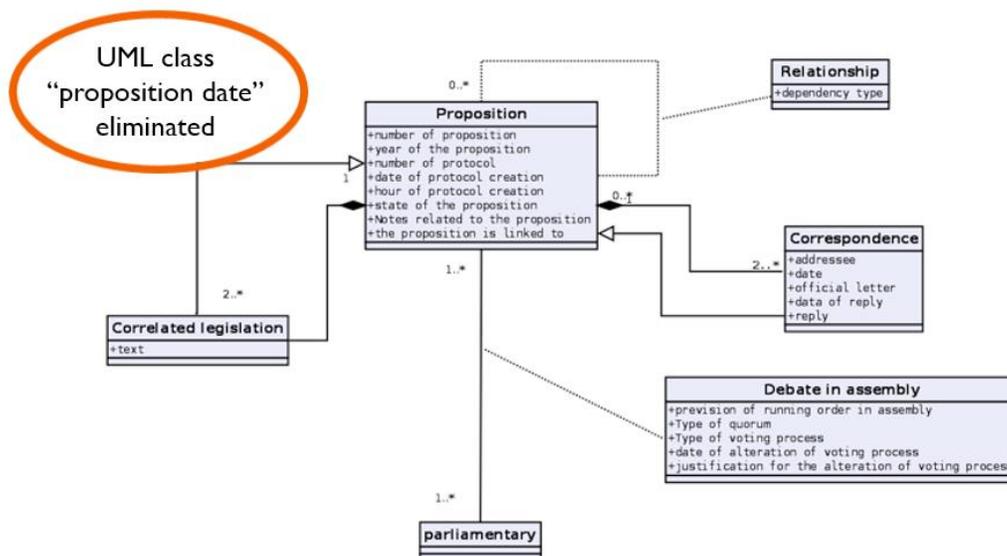
O segundo significado para o termo ontologia diz respeito a representação de um domínio em uma linguagem de representação computacional (ver por ex. Staab, Studer 2004), o qual denominamos aqui “ontologia como artefato”. Uma ontologia, nesse caso, consiste de um conjunto de declarações expressas em uma linguagem de representação, a qual pode ser processado por mecanismos de inferência automatizados. Mecanismos de inferências são artefatos de software que podem extrair conhecimento novo a partir de conhecimento existente em uma ontologia, devidamente axiomatizada. A inferência equivale a verificar as consequências lógicas.

Figura 2. Modelo UML com falha na modelagem



Fonte: dos autores

Figura 3. Modelo UML corrigido pelo uso da ontologia BWW



Fonte: dos autores

Do ponto de vista filosófico, pode haver apenas uma ontologia [Smith 1998]. A fim de lidar com a questão da pluralidade de uso de termo, o qual passou a ser usado também no mundo

dos SIs, distinguem-se dois tipos de ontologias: i) a ontologia real, que diz respeito a como o universo é organizado, e corresponde a uma abordagem filosófica; e ii) ontologia epistemológica, relacionada à tarefa de conceituar um domínio. Essa nomenclatura, entretanto, é confusa ao misturar os termos “ontologia” e “epistemologia”, que em Filosofia estão em diferentes campos de estudo. Outras formas de distinção são encontradas na literatura, por exemplo: ontologia com “O” maiúsculo versus ontologia com “o” minúsculo [Guarino, Giaretta 1995]; ontologia “de” SI e ontologia “para” SI [Fonseca 2007]. No primeiro caso, a ontologia é usada para modelagem conceitual; no segundo, a ontologia é um componente do SI que descreve o vocabulário de um domínio com o objetivo de apoiar a criação de esquemas conceituais.

O quadro 3.1 reúne as interpretações genéricas para o termo ontologia em todos os campos em que o termo é amplamente citado. No restante do presente capítulo, adota-se assim a seguinte nomenclatura:

- *ontologia como disciplina*, para nomear a ontologia como disciplina filosófica e os princípios metafísicos subjacentes;
- *ontologia como artefato*, para se referir a qualquer artefato computacional construído com alguma linguagem declarativa de representação;
- *modelo ontológico*, para se referir a qualquer ontologia como artefato que faz uso dos princípios da ontologia como disciplina para obter boa fundamentação na modelagem.

A capacidade de integração entre modelos via a redução de ambiguidade inerente a construção de ontologias em linguagens declarativas formais possibilita aplicações relevantes em campos críticos como a Medicina. Uma aplicação direta atualmente utilizada em todo o mundo é a melhoria da comunicação, para pessoas e máquinas, em partes dos sistemas médicos de grande importância para os cuidados a saúde, por exemplo, os prontuários de pacientes. Dessa forma, as ontologias podem auxiliar aos profissionais que lidam com sistemas de informação médicos ao prover uma fundamentação sólida para a construção de modelos alinhados com a realidade e, portanto, passíveis de melhor possibilidade de integração com outros sistemas, hoje facilmente distribuídos temporal e geograficamente.

Quadro 3.1. Quadro sinóptico resumindo as visões sobre ontologia

Distinção	Campo	O que é?	Propósito	Exemplo
Ontologia como uma disciplina	Filosofia	Ontologia como um sistema de categorias	Entender a realidade, as coisas que existem e suas características	Sistemas de Aristóteles, Kant, Husserl
Ontologia como um artefato	Ciência da Computação	ontologia como uma teoria (baseada em lógica)	Entender um domínio e reduzi-lo à modelos	BFO, DOLCE (genéricas)
		ontologia como um artefato de software	Criar um vocabulário para representação em sistemas e para gerar inferências	OWL (linguagem de RC)
	Ciência da Informação	ontologia como uma teoria (informal)	Entender um domínio e classificar termos	Sistema de classificação de Ranganathan
		ontologia como um sistema conceitual informal	Criar vocabulários controlados para recuperação da informação a partir de documentos	um catálogo, um glossário, um tesouro

Fonte: adaptado de Almeida (2013)

### 3 CLASSES, TIPOS, RELAÇÕES, PROPRIEDADES, INSTÂNCIAS

Existe consenso de que o estudo da ontologia como disciplina diz respeito aos tipos de coisas que existem. Nesse contexto, “tipo” quer dizer “categoria”, um termo que foi usado ainda por Aristóteles para discutir que declarações se pode fazer sobre uma entidade. De fato, uma teoria das categorias é o mais importante tópico do estudo da ontologia como disciplina. Tais teorias especificam sistemas de categorias estruturados em níveis hierárquicos, em geral, na forma de uma árvore invertida na qual a categoria de mais alto nível é nomeada “entidade”. Qualquer coisa pode ser descrita como uma entidade de algum tipo, mas qual os próximos níveis de categorização são questão para discussão.

Em termos de Filosofia, três sistemas de categorias são os mais influentes e, mesmo que não diretamente, influenciam a forma como os modelos SIs são criados atualmente: o de

Aristóteles<sup>3</sup>, o de Kant<sup>4</sup> e o de Husserl<sup>5</sup> [Thomason 2009]. Apresenta-se a seguir uma breve introdução ao sistema de classificação de Aristóteles, uma vez que ele foi a base para todos os subsequentes e é adotado até os dias de hoje.

Aristóteles usou a linguagem como uma pista para descrever as categorias ontológicas. Kant utilizou conceitos como uma maneira de abordar categorias de objetos de uma possível cognição. O objetivo dos sistemas de categorias aristotélico e kantiano era descrever a estrutura categórica do mundo de acordo com o pensamento e a linguagem humanos. Partindo das categorias de Aristóteles, Husserl forneceu categorias descritivas das mais altas essências das coisas possíveis. Husserl não fornece um inventário das coisas que realmente existem, ainda que tenha sido o criador do termo “ontologia formal”.

Aristóteles parece ter sido o primeiro filósofo a usar a palavra grega “categoria” como um termo técnico para predicação. Embora os estudos de Aristóteles tenham diferentes interpretações, os seguidores de sua tradição acreditam que um sistema de categorias deveria fornecer um inventário das coisas que existem. O primeiro sistema de categorias proposto por Aristóteles dividiu entidades em dois ramos: *dito-sobre* e *presente-em*, tornando possível as seguintes situações:

- qualquer entidade é dita de outra, ou não é dita de outra
- qualquer entidade está presente em outra; ou não está presente em outra

Entidades que são *ditas-sobre* outras são chamadas *universais*; enquanto aquelas que não são *ditas-sobre* outras são chamadas de *particulares*. Entidades que estão *presentes-em* outras são chamadas de *acidentes*, enquanto aquelas que não estão *presentes-em* outras são não acidentais. Entidades não acidentais são universais e descritos como entidades essenciais; entidades não-acidentais são particulares e descritas simplesmente como não essenciais.

---

<sup>3</sup> Aristóteles - filósofo grego, 384–322AC

<sup>4</sup> Immanuel Kant - filósofo alemão, 1724–1804

<sup>5</sup> Edmund Gustav Albrecht Husserl - filósofo alemão, 1859–1938

Reunindo as possibilidades em conjunto, obtém-se um sistema quádruplo de categorias e os nomes para cada uma [Studtmann 2008]:

- Entidades que são ditas-sobre e presentes-em são *universais acidentais*
- Entidades que são ditas-sobre e não presentes-em são *universais essenciais*
- Entidades que não são ditas-sobre e estão presentes-em são *particulares acidentais*
- Entidades nem são ditas-sobre nem estão presentes-em outra coisa são as *substâncias primárias*

Organizadas dessa forma, as entidades do mundo podem ser representadas pelo *Quadrilátero de Aristóteles*, conforme Fig. 4.

Figura 4a. Quadrilátero ontológico de Aristóteles

	Substância (não presente-em um sujeito)	Acidente (presente-em um sujeito)
Universal (dito-sobre um sujeito ou predicado de um sujeito)		
Particular (não dito-sobre um sujeito ou predicado de um sujeito)		

Fonte: adaptado de Smith (2003)

Figura 4b. Quadrilátero ontológico de Aristóteles com exemplos

	Substância	Acidente
Universal	Segunda substância <i>homem</i> <i>cão</i> <i>touro</i>	Segundo acidente <i>dor de cabeça</i> <i>bronzeado</i> <i>pavor</i>
Particular	Primeira substância <i>este homem</i> <i>este cão</i> <i>este touro</i>	Primeiro acidente <i>esta dor de cabeça</i> <i>este bronzeado</i> <i>este pavor</i>

Fonte: adaptado de Smith (2003)

Um segundo sistema categorias foi proposto por Aristóteles, o qual contém uma lista dos tipos de mais alto nível. Percebendo que os objetos comuns da experiência humana são alocados em classes de crescente generalidade, pode-se observar indícios de que a existência de um tipo mais elevado e abstrato é provável. No entanto, Aristóteles não acreditava em uma categoria de alto nível única, mas em dez delas, como mostrado na Figura 5.

Figura 5. Categorias genéricas de Aristóteles

Termo Aristotélico	Significado moderno	Exemplo
Ti esti, ousia	Substância	homem
Poson	Quantidade	cinco metros
Poion	Qualidade	branco
Pros ti	Relação	metade
Pou	Local	no mercado
Pote	Data	ontem
Keisthein	Postura	sentado
Echein	Estado	vestido
Poitein	Ação	queimar
Paschein	Sentimento	ser queimado

Fonte: adaptado de Sutcliffe (1993)

A categoria mais importante, *substância*, pode ser entendida listando-se suas características mais significativas [Smith 1997]: substâncias podem existir por conta própria; permanecem

numericamente únicas e as mesmas, tendo propriedades diferentes em momentos diferentes; podem participar de relações causais; não têm partes próprias que são substâncias; têm uma contínua; e não têm partes temporais.

Os diferentes tipos de perguntas que teriam sido empregadas para obter a lista de categorias de Aristóteles são perguntas que podem ser feitas sobre algo. Por exemplo, a pergunta “o que é isto?” Só pode ser feita sobre uma substância, e somente respostas descrevendo substâncias são apropriadas [Ackrill 1963]. Independentemente da pergunta, as categorias de Aristóteles são entendidas como categorias de coisas, não de linguagem. Por exemplo, a definição de um tigre não nos diz o significado da palavra “tigre”, mas nos diz o que é ser um tigre [Cohen 2008]. Esse fato tem reflexos diretos em atividades de modelagem atuais, sugerindo que para uma boa modelagem, deve-se observar aquelas categorias que tem referente no mundo real.

Outra questão é como e se uma categoria é mais fundamental que outra. Neste contexto, “fundamental” diz respeito a condições de existência e identidade das entidades de uma categoria [Lowe 2007]. Cada entidade tem um recurso fundamental chamado *essência real*. Quando uma entidade possui uma essência específica, significa que ela é de certo tipo; e, para ser de certo tipo, uma entidade deve compartilhar um conjunto de propriedades necessárias e suficientes com outros membros desse mesmo tipo. Em contraste com tais propriedades essenciais, há também propriedades acidentais que uma entidade pode perder sem perder sua essência real [Ackrill 1963]. Por exemplo, uma pessoa é um animal bípede, mas uma pessoa pode perder ambas as pernas e continuar a ser uma pessoa, mantendo a verdadeira essência de uma pessoa. Esse fato também tem reflexos diretos em atividades de modelagem atuais, uma vez que é a forma de se obter uma boa definição para uma entidade.

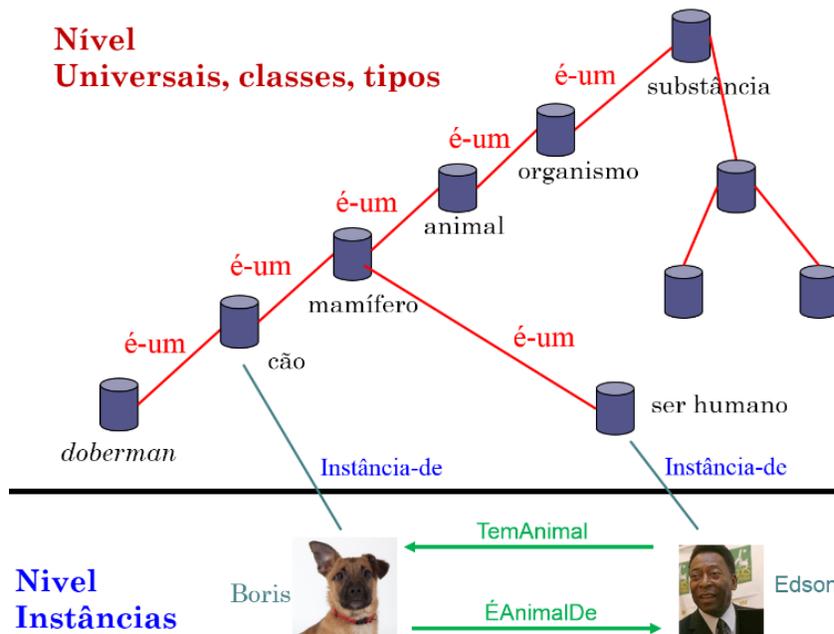
A tradição aristotélica fornece um método para ordenar categorias de coisas com base em sua essência. O método para distinguir essências usa a distinção gênero-espécie e a divisão dicotômica [Lennox 2000]. De acordo com a distinção gênero-espécie, a verdadeira essência das espécies é uma combinação de seu gênero e sua diferenciação, que é o critério usado para distinguir uma espécie de outra do mesmo gênero. Por exemplo, a espécie humana pertence ao gênero *Homo* e sua diferenciação é racionalidade; então a verdadeira essência

de um ser humano é ser um animal racional. Além disso, através da divisão dicotômica, Aristóteles também propôs a divisão de cada gênero nas entidades que possuem uma diferenciação particular e aquelas que não possuem. Por exemplo, o gênero dos seres vivos é dividido em animais e plantas pela diferenciação do movimento próprio.

Em resumo, a terminologia de origem filosófica que vai influenciar termos usados em modelagem de SIs pode ser organizada da seguinte forma (ver também Figura 6).

- *Universais, tipos, tipos naturais ou categorias*: derivados da segunda substância (Figura 4a) são abstrações de conjuntos de entidades com características similares que existem no mundo independentemente da mente humana, e que representam todas as entidades daquele tipo que existem, existiram ou vão existir; por ex., pessoas, árvores, bactérias, etc.
- *Classes*: são abstrações de conjuntos de entidades com características similares, mas não que não são naturais, ou seja, são demarcações criadas pela mente humana para um determinado fim; por exemplo, as pessoas que estão presentes a aula (para fins de fazer uma chamada), os carros no pátio da universidade (para fins de credenciamento), etc.
- *Particulares, instâncias ou indivíduos*: derivados da primeira substância (Figura 3.4a) são as entidades ou coisas do mundo em si; por exemplo, o universal “pessoa” pode ser instanciado por José, ou por Maria; o universal “planeta” instanciado por “Terra”, etc.
- *Qualidades, propriedades ou atributos*: derivados do primeiro e do segundo acidentes (Figura 4a) são características, ou relações unárias, de uma determinada entidade no nível dos universais (segundo acidente) ou nível das instâncias (primeiro acidente); por exemplo, peso e peso do José; vermelho e vermelho deste tomate, etc.
- *Relacionamentos*: conexões mantidas entre entidades, no mínimo binárias, no nível dos universais ou nível das instâncias, além de inter-níveis com universal e instância; por exemplo, vírus causa doença, João namora-com Maria; Pedro é-um professor; etc.

Figura 6. Entidades e relações



Fonte: adaptado de Smith (2003)

Nas ontologias como artefatos encontram-se todas essas denominações, e as vezes autores diversos usam uma ou outra notação, ou uma mistura delas. Outro termo também muito usado em ontologias como artefato é “axioma”, que consiste de uma sentença declarativa em uma linguagem lógica, que define uma entidade ao impor-lhe restrições de significado. A Figura 7 apresenta um axioma da ontologia D-acts [Brochaussen, Almeida, Slaughter 2013] que define a entidade “*identity document*”, em um dialeto de lógica descritiva chamado *Manchester Syntax*. Trata-se de uma expressão lógica com quantificadores existenciais, nessa sintaxe representada pelo termo “*some*”.

Finalmente, mais alguns conceitos relevantes de origem filosófica são necessários para o correto entendimento e uso de modelos ontológicos em SIs. As teorias filosóficas subjacentes à representação são, via de regra, classificadas de acordo com duas posições principais: *realismo* e *anti-realismo*. O debate envolvendo essas correntes já dura séculos e não há consenso [MacLeod, Rubenstein 2005].

Figura 7. Expressão lógica para definir “documento de identidade”

```
document
and ('is about' some 'documented identity')
and ('is concretized as' some
('specifically dependent continuant'
and ('inheres in' some ('bearer of' some 'credential role'))))
and ('is concretized as' only
('specifically dependent continuant'
and ('inheres in' some ('bearer of' some 'credential role'))))
```

Fonte: ontologia dos Atos dos Documentos (D-acts)

O termo realismo tem várias interpretações em Filosofia [Niiniluoto 1999], mas em geral é usado para designar a noção de que existe um mundo físico independente da mente. Entidades independentes da mente são os já mencionados “universais”, os quais são instanciadas por “particulares. De acordo com os realistas, por exemplo, a frase “a lua é esférica” é verdadeira independentemente das crenças e das práticas linguísticas de qualquer pessoa.

As primeiras propostas realistas se originaram de Platão e Aristóteles. Para Platão, o conhecimento verdadeiro seria permanente e imutável e, portanto, não poderia ser oriundo de objetos ordinários sujeitos a mudanças constantes. Assim, para Platão, as coisas permanentes, os chamados universais, vêm de um reino de formas que existe à parte do mundo cotidiano. Nesta linha de pensamento, uma “cama” ou uma “mesa” são ideias (ou formas) que as pessoas têm antes mesmo de nascerem. Aristóteles não conectou o reino de formas de Platão com detalhes da vida cotidiana. Propôs que os universais não deveriam ser separados da realidade, mas deveriam ser elementos comuns presentes em particulares da mesma categoria. Por exemplo, o universal “mesa” consiste de todas as características comuns a todas as mesas.

O anti-realismo pode assumir muitas formas, dependendo de qual a dimensão do realismo é rejeitada: ou a existência ou a independência de entidades. Em geral, os anti-realistas são classificados como *nominalistas* e *conceitualistas* [MacLeod, Rubenstein 2005].

Os nominalistas acreditam que existem apenas indivíduos e os problemas de identidade e semelhança podem ser resolvidos a partir de indivíduos e nas relações entre eles. Acreditam que as semelhanças empíricas entre entidades não são bons critérios para estabelecer a filiação de uma entidade a uma categoria ou para caracterizar um universal. A existência separada de universais, uma visão dualista exibida tanto nas visões de Platão quanto de Aristóteles, é o principal ponto de discordância com o realismo. Nominalistas defendem que os universais são desnecessários e que todo conhecimento provem de entidades particulares oriundo da experiência das pessoas.

Conceitualistas negam que os indivíduos são suficientes para resolver os problemas, mas não apelam para o uso de universais. Em vez disso, conceitualistas explicam os problemas de identidade e de semelhança referindo-se a conceitos ou ideias. Nessa visão, cada palavra da linguagem tem um conceito geral associado a ela. A visão conceitualista parece trazer de volta uma espécie de dualismo, semelhante à visão realista, que estabelece uma diferença entre as coisas e as abstrações sobre coisas, agora sobre outro nome, à saber, conceito.

Apesar de esse tipo de tema parecer um tanto desligado da realidade dos SIs, ele é a base da boa modelagem uma vez que identifica como as entidades do mundo são caracterizadas. O uso prático dos conceitos até aqui explicados será objeto de mais detalhe em seções seguintes.

#### 4. CATEGORIAS PARA MODELAGEM

O sistema de categorias apresentado na seção anterior (Figura 4b) foi expandido para um sexteto ontológico, de forma a abrigar as considerações sobre entidades *continuentes* e *ocorrentes*, entidades básicas e essenciais para a modelagem ontológica. Essa é a divisão que a ontologia como disciplina (de origem aristotélica) aplica de mundo, ou seja, todas as coisas ou são *continuentes*, entidades que mantêm identidade ao longo do tempo, como por exemplo os objetos (pessoas, árvores, etc.); ou são *ocorrentes*, entidades que se alteram ao longo do tempo, como por exemplo os processos (de digestão, de matrícula, etc.). Além disso, o sexteto também diferencia aquelas entidades que dependem de outras para existir, à saber, *continuentes independentes* e *continuentes dependentes* (Figura 8).

Figura 8. Sexteto ontológico estendendo o quadrilátero de Aristóteles

	Continuante independente	Continuante dependente	Ocorrente (processo)
Universal	Segunda substância homem gato touro	Segunda qualidade dor de cabeça bronzado pavor	Segundo processo caminhar pensar dormir
Particular	Primeira substância este homem este gato este touro	Primeira qualidade esta dor de cabeça este bronzado este pavor	Primeiro processo este caminhar este pensar este dormir

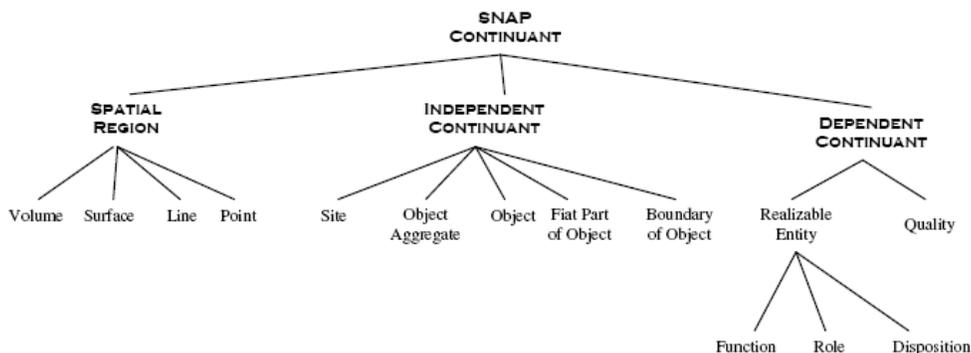
Fonte: adaptado de Smith (2003)

*Ontologias de alto nível* são ontologias como artefatos desenvolvidos para atender objetivos específicos de modelagem, raciocínio automático e recuperação de informação [Hoehndorf, Schofield, Georgios 2015]. Exemplos de ontologias de alto nível são a *Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering* (DOLCE) [Gangemi *et al.* 2002], a *Unified Foundational Ontology* (UFO) [Guizzardi 2005] e a *Basic Formal Ontology* (BFO) [Grenon, Smith, Goldberg 2002].

Adota-se a BFO como ontologia de alto nível, um tipo de metamodelo, uma vez que tem sido amplamente aceita em domínios como Medicina, Biologia, Bioinformática e áreas afins, Direito, Geografia, para mencionar alguns. Como uma ontologia de alto nível, o BFO segue os princípios do realismo já mencionado na seção anterior e representa apenas as categorias mais genéricas, fornecendo meios para categorizar entidades no âmbito da representação (Spear, 2006). A Figura 9 apresenta os dois ramos da BFO.

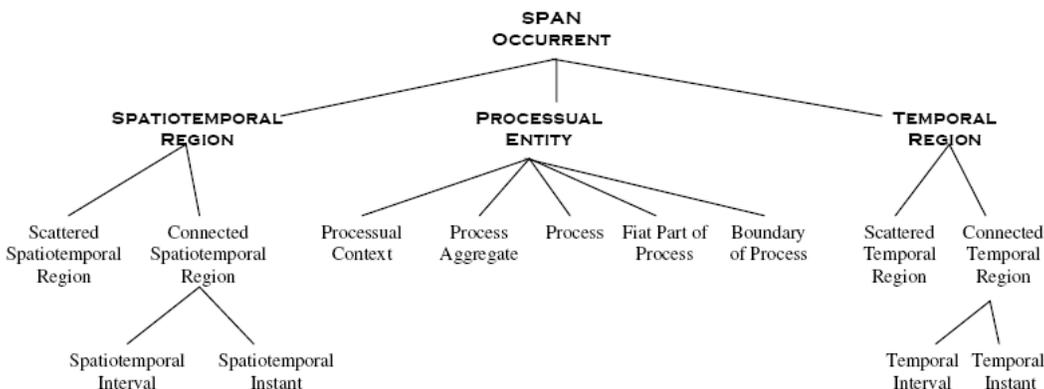
O BFO consiste em uma taxonomia que fornece uma categorização das entidades existentes no mundo e, portanto, uma explicação sobre a realidade (Fig. 9). O nó raiz da taxonomia do BFO é a entidade mais genérica, identificada apenas como “entidade”, e dele derivam dois ramos, à saber, *continuentes* (Fig. 9a) e *ocorrentes* (Fig. 9b). As Fig. 10 (de 10a até 10f, *continuentes*) e Fig. 11 (de 11a até 11f, *ocorrentes*) define cada nó da BFO e dá exemplos de uso [Spear 2006, Smith *et al.* 2007].

Figura 9a. Ontologia de alto nível BFO (versão 1), ramo dos continuantes



Fonte: Spear (2006)

Figura 9b. Ontologia de alto nível BFO (versão 1), ramo dos ocorrentes



Fonte: Spear (2006)

Figura 10a. Ramo dos continuantes

	<b>CONTINUANTES</b> Entidades que mantêm identidade ao longo do tempo
Características	A entidade existe completamente em qualquer período de tempo no qual está presente. A entidade não tem partes temporais.
Exemplos	Uma pessoa, a cor de uma fruta, um conjunto musical, uma lei, o vento na UFMG, ...

Fonte: adaptado de Spear (2006)

Figura 10b. Distinções no ramo dos continuantes

Distinção entre continuantes	Região espacial	Continuante independente	Continuante dependente
Características	Corresponde a um continuante independente. Não é portador de qualidades. Não é parte natural de outras entidades.	São portadores de qualidades ou propriedades Entidades das quais outras entidades são partes naturais. Entidades que por si próprias não podem ser parte natural em nada. São existencialmente independentes de outras entidades.	São partes naturais ou originadas em outras entidades. São parte de outra entidade dependente ou independente. Exibem algum tipo de dependência existencial: para existir, outras entidades também devem existir.
Exemplos	A soma total de todos os espaços do universo, ...	Um organismo, um coração, uma orquestra, uma perna, uma pessoa...	A cor de uma laranja, o cheiro de pão, a função de ser um professor...

Fonte: adaptado de Spear (2006)

Figura 10c. Distinções no ramo das regiões espaciais

Distinção entre região espacial	Volume	Superfície	Linha	Ponto
Características	Uma região espacial com três dimensões	Uma região espacial com duas dimensões	Uma região espacial com uma dimensão	Uma região espacial sem dimensões
Exemplos	Uma parte do espaço em forma de cubo, em forma de esfera, ...	A superfície de uma parte do espaço em forma de cubo, em forma de esfera, ...	Uma aresta de uma parte do espaço em forma de cubo, ...	-

Fonte: adaptado de Spear (2006)

Figura 10d. Distinções no ramo das continuantes independentes

Distinção continuantes independentes	Local	Agregado	Objeto	Parte fiat do objeto	Limite do objeto
Características	É um continuante independente que consiste de uma forma espacial característica em relação a um arranjo de outros continuantes. Distinto de região espacial	É um continuante independente que corresponde a uma soma de objetos separados. Possuem um grau de unidade mais fraco do que o dos objetos Possuem limites não conectados.	É um continuante independente com extensão auto-contida. A identidade independe de outras entidades e pode ser mantida ao longo do tempo a despeito de perdas e ganhos.	É um continuante independente que é parte de um objeto, mas não é demarcado por falta de continuidade física.	É um continuante independente que é a parte dimensional inferior de outros continuante independentes.
Exemplos	Uma cidade, uma veia, um ambiente, a localização de uma guerra, o quarto onde alguém está, ...	Uma pilha de pedras, um grupo de pacientes de um hospital, uma coleção de livros, uma matilha de cães, ...	Um organismo, uma cadeira, uma célula, uma maçã, uma dobradiça, uma pedra, ...	O lado oeste de São Paulo, as superfícies dorsal e ventral do corpo, uma amostra de tecido, ...	A superfície da pele, a superfície da terra, a superfície externa de uma célula, ...

Fonte: adaptado de Spear (2006)

Figura 10e. Distinções no ramo das continuantes dependentes

Distinção entre continuantes dependente	Entidade realizável	Qualidade
Características	São continuantes dependentes, partes naturais de continuantes que não são exibidas a cada momento em que fazem parte de uma entidade ou grupo de entidades. A exibição de uma entidade realizável corresponde a uma manifestação particular ou processo que ocorre sob certas circunstâncias. São entidades cuja vida contém períodos de atualização, com transformações em seus portadores; e períodos de latência, quando existem em seus portadores, mas não se manifestam.	É um continuante dependente que é exibido caso seja parte natural de uma entidade ou entidades. Podem ser partes naturais de outras entidades; para que a qualidade exista, essas entidades também devem existir.
Exemplos	O papel de ser um professor, a função dos órgãos respiratórios, a disposição do metal para conduzir eletricidade, a disposição do sangue para coagular, a fragilidade de um vaso, ...	A cor de uma laranja, a temperatura ambiente, a forma de uma orelha, a massa de um pedaço de ouro, o peso de um ser, ...

Fonte: adaptado de Spear (2006)

Figura 10f. Distinções no ramo das entidades realizáveis

Distinção entre entidades realizáveis	Função	Papel	Disposição
Características	É uma entidade realizável cuja manifestação é uma atividade de um continuante direcionada para um fim específico. A finalidade é definida em virtude do continuante ser um tipo específico de entidade no contexto.	É uma entidade realizável não essencial para um continuante, ou seja, cuja manifestação gera resultados que não são essenciais para a identidade. Podem participar no tipo de continuante em contextos sociais e institucionais	É uma entidade realizável que causa um processo específico ou um tipo de transformação no objeto do qual é parte natural. A transformação ocorre apenas sob certas circunstâncias e junto a certas leis naturais, de forma que são entidades frágeis
Exemplos	A função de um coração em bombear sangue, a função de reprodução, a função de um martelo em uma obra, a função de juiz, ...	O papel de uma pessoa como advogado, o papel de uma droga no tratamento de uma doença, o papel de um árvore no ecossistema, ...	Alimentos que estragam se não armazenados sob refrigeração, a disposição do sangue em coagular, a disposição de um metal em conduzir eletricidade, ...

Fonte: adaptado de Spear (2006)

Figura 11a. Ramo dos ocorrentes

	<b>OCORRENTES</b> Entidades que se alteram ao longo do tempo
Características	A entidade se desdobra ao longo de um período de tempo.
Exemplos	A respiração, o funcionamento de um órgão do corpo, parte da vida de Einstein, ...

Fonte: adaptado de Spear (2006)

Figura 11b. Distinções no ramo dos ocorrentes

Distinção entre ocorrentes	Região espaço-temporal	Entidade processual	Região temporal
Características	É uma entidade ocorrente na qual entidades processuais podem estar localizadas.	Uma entidade ocorrente que existe no tempo, tem partes temporais e depende de um continuante. A característica é a existência de partes temporais e espaciais.	É uma entidade ocorrente que é parte do tempo.
Exemplos	A região espaço-temporal ocupada por uma vida, pelo desenvolvimento de um tumor, ...	A vida de um organismo, o processo de meiose, o curso de uma doença, o voo de um pássaro, ...	O tempo para correr uma maratona, a duração de uma cirurgia, o momento da morte.

Fonte: adaptado de Spear (2006)

Figura 11c. Ramo dos ocorrentes

Distinção entre regiões temporais	Região temporal distribuída	Região temporal conectada
Características	É uma região do espaço que tem dimensões espaço-temporais. Cada ponto espacial e temporal não é conectado com outro ponto espacial e temporal.	É uma região que tem dimensões temporais e espaciais tal que todos os pontos dentro da região espaço temporal são imediatamente conectadas a todos ou outros pontos dentro da mesma região espaço temporal
Exemplos	O espaço e o tempo ocupados por jogos individuais da copa do mundo, ...	A localização espacial e temporal da vida de um organismo, a localização espacial e temporal do desenvolvimento de um feto, ...

Fonte: adaptado de Spear (2006)

Figura 11d. Distinção entre entidades processuais

Distinção entidades processuais	Contexto processual	Processo agregado	Processo	Parte fiat de processo	Limite do processo
Características	É um ocorrente que consiste de uma forma característica espacial inserida em algum arranjo de outras entidades ocorrentes. Entidades nas quais ocorrentes podem estar localizados...	Um processo agregado é a soma das partes de processo s. Não possui limites não conectados.	É uma entidade processual que é um todo maximamente conectado espacial e temporalmente. Possui início e fim <i>bona-fide</i> que corresponde a descontinuidades	É uma entidade processual que é parte de um processo. Não tem início e fim <i>bona-fide</i> e corresponde a descontinuidades reais.	É uma entidade processual que é o limite temporal instantâneo <i>bona-fide</i> ou fiat de um processo.
Exemplos	Uma operação cirúrgica como contexto processual para uma infecção, um check-up de rotina para encontrar uma doença, ...	O bater do coração de cada um dos sete indivíduos em um quarto, ...	A vida de um organismo, o processo de dormir, o processo de divisão celular,	Mascar chiclete durante uma refeição, o meio de uma tempestade, a pior parte de um ataque cardíaco, ...	A separação de um dedo em um acidente industrial, uma incisão no início da cirurgia, ...

Fonte: adaptado de Spear (2006)

Figura 11e – Distinção entre entidades processuais

Distinção reg. temporais conectadas	Intervalo temporal	Instante temporal
Características	Uma região temporal conectada que dura por mais do que um único momento de tempo.	uma região temporal conectada contendo um simples momento de tempo.
Exemplos	Qualquer duração temporal contínua na qual um processo ocorre.	O momento de nascimento de uma criança, o momento da morte.

Fonte: adaptado de Spear (2006)

Figura 11f. Distinção entre regiões espaço temporais conectadas

Distinção reg. espaço temporal conectada	Intervalo espaço temporal	Instante espaço temporal
Características	Uma região do tempo e espaço conectados que se mantêm por mais de um simples momento de tempo.	Uma região do tempo e espaço em um momento específico.
Exemplos	A região de espaço e tempo ocupada por um processo, ou por a parte fiat de um processo.	A região de espaço tempo ocupada por uma única parte temporal de um processo.

Fonte: adaptado de Spear (2006)

As categorias filosóficas básicas são essenciais para a boa modelagem uma vez que fornecem uma fundamentação sólida para a definição, entendimento e comunicação sobre as entidades que povoam os modelos da realidade. Possibilitam construir uma base formal sobre a qual sistemas podem ser desenvolvidos e mesmo auditados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente artigo, apresentaram-se os fundamentos teóricos das ontologias e dos modelos para sistemas de informação, os principais construtos para modelagem bem como seus fundamentos, além de categorias ontológicas aplicada à modelagem. Cabe dizer novamente que não se trata de artigo de pesquisa, mas um texto de caráter informativo e educacional. A revisão não é sistemática, nem exaustiva, e se fundamenta em grande medida na corrente conhecida como “realista”. O leitor deve estar avisado que existe outras possibilidades para a construção de ontologias.

Finalmente, cabe aqui destacar dois aspectos essenciais do texto: i) a relação ontologias vs modelagem; ii) o sistema de categorias da BFO.

Para executar tarefas de modelagem, realizam generalizações e abstrações, as quais requerem insights metafísicos. Uma ontologia é assim uma teoria representativa dos fatos e regras que governam a realidade. O papel da ontologia é tornar explícitos axiomas que restringem modelos, de forma a igualar, tanto quanto possível, os modelos que contém o significado pretendido.

A BFO inclui um sistema de categorias a partir de um sexteto ontológico, de forma a abrigar as considerações sobre entidades continuantes e ocorrentes, entidades essenciais para a modelagem ontológica. Essa é a divisão que a ontologia como disciplina aplica ao mundo, ou seja, todas as coisas ou são continuantes, entidades que mantêm identidade ao longo do tempo, como por exemplo os objetos (pessoas, árvores, etc.); ou são ocorrentes, entidades que se alteram ao longo do tempo, como por exemplo os processos (de digestão, de matrícula, etc.). Além disso, o sexteto também diferencia aquelas entidades que dependem de outras para existir, à saber, continuantes independentes e continuantes dependentes.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, M. B. D. (2006) “Noções Básicas para uso do Protégé”, online, Tutorial, 09/07/2006. <[http://mba.eci.ufmg.br/onto\\_frames/](http://mba.eci.ufmg.br/onto_frames/)>, 16/04/2019.
- Almeida, M.B. (2013). Revisiting Ontologies: a necessary clarification. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. vol. 64, n. 8, p. 1682–1693.
- Abrial, J. R. (1974). “Data Semantics”. In J. W. Klimbie & K. L. Koffeman, (Eds.), *Proceedings of the IFIP Working Conference Data Base Management* (pp. 1-60). Amsterdam: North-Holland.
- Ackrill, J. L. (1963). *Aristotle: Categories and De Interpretatione*. Oxford: Clarendon Press.
- Alturki, A.; Gable, G.; Bandara, W. (2013). “BWW ontology as a lens on IS design theory: extending the design science research roadmap”. *Proceedings of the 8th International Conference on Design Science at the Intersection of Physical and Virtual Design*. p. 258-277.
- Arp, R., Smith, B., Spear, A. D. (2015). *Building Ontologies with Basic Formal Ontology*. Cambridge, Massachusetts: The Mit Press, 2015.
- Bernus, P., Nemes, L., & Williams, T. J. (1996). “Architectures for enterprise integration”. London: Chapman & Hall.
- Booch, G. (1993). *Object-oriented Analysis and Design with Applications*, 2nd ed., Redwood: Benjamin Cummings.
- Bosak, R., Richard, F. Clippinger, R. F., Dobbs, C., Goldfinger, R., Jasper, R. B., Keating, W., Kendrick, G., Sammet, J. E. (1962). “An information algebra: phase 1 report - language structure group of the CODASYL development committee”. *Communications of the ACM*, vol. 5, n. 4, p.190-204.
- Brochaussen, M., Almeida, M.B., Slaughter, L. (2013). Towards a formal representation of document acts and the resulting legal entities. In: Ingthorsson, R.D., Svennerlind, C., and Almäng J. (Ed.). *Johanssonian Investigations*. Ontos: Frankfurt, p. 120-139.

- Chen, P. (1976). "The entity-relationship model: towards a unified view of data". *ACM Transactions on Database Systems*, vol. 5 , n. 1. p. 9-36.
- Cohen, S. M. (2008). *Aristotle's Metaphysics*. Retrieved February 10, 2012, from <http://plato.stanford.edu/entries/aristotle-metaphysics/>
- Cood, E. F. (1979). "Extending the database relational model to capture more meaning". *ACM Transactions on Database Systems*, vol. 4, n. 4, p. 397-434.
- Farinelli, F., Elkin, P. L. (2017). "Construção de ontologia na prática: um estudo de caso aplicado ao domínio obstétrico". *Ciência da Informação*, v. 46, n. 1.
- Fillion, E., Menzel, C., Blinn, T., Mayer, R. (1995). "An ontology-based environment for enterprise model integration". *Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing at IJCAI95*. Montreal: AAAI Press (pp. 33-45).
- Frigg, R. (2006). *Models in Science*. Retrieved July 18, 2008, from <http://plato.stanford.edu/entries/models-science/>
- Fonseca, F. (2007). "The Double Role of Ontologies in Information Science Research". *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. vol. 58, n. 6, p. 786–793.
- Fox, M. S. (1992). "The TOVE Project: towards a common-sense model of the enterprise". In F. Belli, & F. J. Radermacher (Eds.), *Proceedings of 5th International Conference Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems*. pp. 25-34. London: Springer-Verlag.
- Gandon, F. (2002). *Distributed artificial intelligence and knowledge management: ontologies and multi-agent systems for a corporate semantic web*. PhD Thesis, INRIA and University of Nice, Nice, FR, School of Sciences and Technologies of Information and Communication.
- Gangemi, A., Guarino, N., Masolo, C., Oltramari, A., Oltramari, R., & Schneider, L. (2002). *Sweetening Ontologies with DOLCE*. Retrieved January 10, 2010, from <http://www.loa.istc.cnr.it/Papers/DOLCE-EKAW.pdf>
- Genesereth, M. R., Nilsson, L. (1987). *Logical foundation of AI*. San Francisco: Morgan Kaufman.
- Grenon, P., Smith, B., Goldberg, J. (2007). *Biodynamic Ontology: Applying BFO in the Biomedical Domain*. Retrieved September 20, 2011, from <http://ontology.buffalo.edu/medo/biodynamic.pdf>
- Guarino, N. (1995). *Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation*. *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 43, n.5-6, p. 625-640.
- Guarino, N. (1998). *Formal ontology and information systems*. In N. Guarino (Ed.), *Formal ontology in information systems*. pp. 3–15. Amsterdam: IOS Press.

Guarino, N., Giaretta, P. (1995). "Ontologies and KBs: towards a terminological clarification". In N. Mars (Ed.), *Towards a Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing*. pp. 25-32. Amsterdam: IOS Press.

Guizzardi, G. (2005). *Ontological Foundations for Structural Conceptual Models*. PhD Thesis, University of Twente, Twente, NL, Centre for Telematics and Information Technology.

Gruber, T. (1993). What is an ontology? Retrieved September 14, 2002, from <http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>

Grüninger, M., Fox, M. S. (1995). "Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies". In: Mellish, C. S., *14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95)*, Montreal, CA. Morgan Kaufmann.

Hoehndorf, R., Schofield, P.N., Georgios, G. V. (2015). "The role of ontologies in biological and biomedical research: a functional perspective". *Briefings in bioinformatics*.vol. 16, n. 6, p. 1069-1080.

Jacobson, I., Christerson, M., Jonsson, P., Overgaard, G. (1992). *Object-Oriented Software Engineering: A Use Case Driven Approach*. Massachusetts: Addison-Wesley.

Jardine, D. A. (1976). "The ANSI/SPARC DBMS model". *Proceedings of the 2nd SHARE Working Conference on Database Management Systems*. Amsterdam: North Holland.

Lennox, J. (2000). *Aristotle's Philosophy of Biology: Studies in the Origins of Life Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lowe, E. J. (2007). *The Four-Category Ontology: A Metaphysical Foundation for Natural Science*. New York: Oxford University Press.

MacLeod, M.C.and Rubenstein, E.M.(2005). *Universals*. Retrieved March 30, 2010, from <http://www.iep.utm.edu/universa/>

Milton, S. (2000). *An Ontological Comparison and Evaluation of Data Modelling Frameworks*. PhD Thesis, The University of Tasmania, Hobart, AU, School of Information Systems.

Mylopoulos, J. (1992). "Conceptual Modelling and Telos". In P. Loucopoulos, & R. Zicari (Eds.), *Conceptual Modelling, Databases and CASE: An Integrated View of Information Systems Development*. New York: Wiley.

Mylopoulos, J. (1998). "Information Modeling in the time of revolution". *Informations Systems*, vol. 23, n. 3, p. 127-155.

Niiniluoto, I. (1999). *Critical Scientific Realism*. New York: Oxford University Press.

Peckham, J., Maryanski, F. (1988). "Semantic Data Models". *ACM Computing Surveys*, vol. 20, n. 3, p. 153-189.

Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., Lorensen, W. (1991). *Object-Oriented Modeling and Design*, New York: Prentice Hall.

Schulz, S., Daumke, P., Stenzhorn, H., Poprat, M. (2009). "Incremental Semantic Enrichment of Narrative Content in Electronic Health Records". Proceedings of the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering.

Schulz, S. *et al.* (2012). "Guideline on Developing Good Ontologies in the Biomedical Domain with Description Logics". December 11th, 2012, p.85 <<https://www.iph.uni-rostock.de/en/forschung/homepage-goodod/guideline/>>.

Schulz, S. (2016). "Knowledge acquisition and management for clinical decision-making". Grand Rounds September 9th, 2016. Dr. Stefan Schulz, stefan.schulz@medunigraz.at, Medical University of Graz.

Smith, B., Welty, C. (2001). "Ontology: Towards a New Synthesis". In: B. Smith & C. Welty (Eds.), Proceedings of the International Conference on Formal Ontology in Information Systems (pp. 3-9). Ogunquit: ACM Press.

Smith, B. (1998). "The Basic Tools of Formal Ontology". In: N. Guarino (Ed.), Proceedings of Formal Ontology in Information Systems (pp. 3-15). Amsterdam: IOS Press.

Smith, B. (2003). Ontology and Information Systems. Retrieved March 20, 2005, from [http://www.ontology.buffalo.edu/ontology\(PIC\).pdf](http://www.ontology.buffalo.edu/ontology(PIC).pdf)

Smith et al. (2007). The OBO Foundry: coordinated evolution of ontologies to support biomedical data integration. Retrieved May 22, 2009, from <http://www.nature.com/nbt/journal/v25/n11/full/nbt1346.html>.

Smith, B. (1997). "On Substances, Accidents and Universals: In Defence of a Constituent Ontology". Philosophical Papers, vol. 26, p. 105-127.

Smith, B. (2003). Ontology and Information Systems. Retrieved March 20, 2005, from [http://www.ontology.buffalo.edu/ontology\(PIC\).pdf](http://www.ontology.buffalo.edu/ontology(PIC).pdf)

Smith, B. *et al.* (2015) "Basic Formal Ontology 2.0: Specification and User's Guide" June 26th, 2015, p.97 <<https://github.com/BFO-ontology/BFO/raw/master/docs/bfo2-reference/BFO2-Reference.pdf>>.

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

Smith, B., Ceusters, W. (2010) "Ontological realism: A methodology for coordinated evolution of scientific ontologies". Applied ontology, v. 5, n. 3-4, p. 139-188, November 15th, 2010.

Smith, B. *et al.* (2005). "Relations in biomedical ontologies". Genome Biology, vol. 6, n. 5.

Spear, A. D. (2006). Ontology for the Twenty First Century: An Introduction with Recommendations. Retrieved March 20, 2010, from [https://www.researchgate.net/publication/238687379\\_Ontology\\_for\\_the\\_Twenty\\_First\\_Century\\_An\\_Introduction\\_with\\_Recommendations](https://www.researchgate.net/publication/238687379_Ontology_for_the_Twenty_First_Century_An_Introduction_with_Recommendations)

Staab, S., Studer, R. (2004). Handbook on Ontologies. Berlin: Springer.

Studtmann, P. (2008). The foundations of Aristotle's categorial scheme. Milwaukee: Marquette University Press.

Sutcliffe, J. P. (1993). "Concept, class, and category in the tradition of Aristotle". In: I. van Mechelen, J. Hampton J, R.S. Michalski,&P. Theuns P (Eds). Categories and Concepts. pp. 35-65. London: Academic Press.

Thomason, A. (2009). Categories. Retrieved March 3, 2011, from <http://plato.stanford.edu/entries/categories/>

Uschold, M., King, M., Moralee, S., Zorgios, Y. (1998). "Enterprise ontology". The Knowledge Engineering Review, vol. 13, p. 1-69.

Vickery, B. C. (1997). "Ontologies". Journal of Information Science. 23 (4), 227-286.

Wand, Y., Weber, R. (1990). "Mario Bunge's ontology as a formal foundation for information systems concepts". In: P. Weingartner & J.W.G. Dorn (Eds.), Studies on Mario Bunge's treatise. Amsterdam: Rodopi.

Wand, Y., Storey, V. C., Weber, R. (1999). "An ontological analysis of the relationship construct in conceptual modeling". ACM Transactions on Database Systems, vol. 24, n. 4, p. 494-528.

Young, J. W., Kent, H. K. (1958). "Abstract formulation of data processing problems". The Journal of Industrial Engineering, vol. 9, n. 6, p. 471-479.