

ESTUDO EXPLORATÓRIO SOBRE ONTOLOGIAS APLICADAS A MODELOS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO: PERSPECTIVAS DE PESQUISA EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO

Maurício Barcellos Almeida
Professor adjunto da UFMG - Bolsita da CAPES - Processo no BEX 4071/09-3
mba@eci.ufmg.br

Viviane Nogueira Pinto Oliverra
Pós Graduação em Ciência da Informação, da Escola de Ciência de Informação, UFMG
vivianenpo@yahoo.com.br

Kátia Cardoso Coelho
Pós Graduação em Ciência da Informação, da Escola de Ciência de Informação, UFMG
katiaccoelho@gmail.com

Resumo

Ontologias têm se tornado um assunto de interesse cada vez maior em diversas áreas. Além de suas origens filosóficas, têm sido amplamente utilizadas em campos de pesquisa relacionados ao desenvolvimento de sistemas. No âmbito dos sistemas de informação automatizados, uma ontologia tem duas aplicações principais: pode ser usada como um componente do sistema ou como uma referência, um padrão de comparação para avaliar a representatividade do modelo subjacente ao sistema. O presente artigo explora o segundo tipo de aplicação, discutindo a utilidade das ontologias em processos de modelagem conceitual. Após contextualizar a pesquisa e alguns problemas da modelagem conceitual de sistemas de informação, apresentam-se ontologias utilizadas como referência, bem como iniciativas relacionadas. Discute-se a pertinência do assunto na Ciência da Informação, interfaces e possibilidades de pesquisa interdisciplinar. Conclui-se sobre a relevância da formação em Ciência da Informação para abordar questões de modelagem deficiente e de falta de integração entre sistemas. Espera-se contribuir para o diálogo entre diferentes áreas, bem como para sugerir novas perspectivas de atuação para profissionais de Ciência da Informação.

Palavras-chave: Ontologias. Ciência da Informação. Sistemas de informação. Modelos conceituais.



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
DOI 10.5007/1518-2924.2010v15n30p32

1 INTRODUÇÃO

Ontologia é um assunto originado na Filosofia, ainda nos textos de Aristóteles, no qual se discutem questões metafísicas, a natureza do que existe e como a realidade é estruturada. A pesquisa sobre ontologias não é restrita à Filosofia e Lógica e tem se caracterizado pela interdisciplinaridade, envolvendo áreas tão diversas como a Ciência da Computação, Linguística, Ciência da Informação, entre outras.

O termo *ontologia* passou a ser utilizado, em Ciência da Computação, na década de 1960, inicialmente na pesquisa de Representação do Conhecimento, subárea da Inteligência Artificial, com o trabalho pioneiro de *Mealy*¹. Nesse contexto, o termo diz respeito a um artefato de *software*, uma linguagem formal que tem utilizações específicas em arquiteturas de sistemas inteligentes. Nos anos 1980, surgiram as primeiras pesquisas na Engenharia de *Software* para aplicação de ontologias ao desenvolvimento de sistemas de informação (SI), como as pesquisas de *Wand e Weber*². Com esse tipo de abordagem, buscava-se melhor entendimento dos processos que ocorrem ao longo da modelagem conceitual. Nos anos 1990, as publicações sobre o assunto demonstravam um crescente interesse de pesquisadores da Ciência da Informação (VICKERY, 1997).

A modelagem conceitual é uma fase do desenvolvimento de SI, que tem por finalidade descrever parte da realidade e representar processos de interesse em um contexto social. Problemas verificados nos SI das instituições modernas, como, por exemplo, a dificuldade de integração, têm origem em atividades de modelagem deficientes, conduzidas de forma *ad-hoc* e sem correspondência com o mundo real (SMITH e WELTY, 2001; GUARINO, 1998). Uma alternativa para abordar essa situação é comparar a linguagem utilizada na modelagem a um padrão, a uma ontologia bem fundamentada. Consideramos aqui que ontologias bem fundamentadas são aquelas baseadas em ontologias filosóficas e ontologias de alto nível.

No contexto do presente artigo, entende-se por “ontologias filosóficas” as teorias, formais ou não, desenvolvidas por filósofos, em geral estudiosos da metafísica, em suas tentativas de

¹ MEALY, G. H. Another Look at Data. IN: AFIPS Conference, 31th, 1967. *Proceedings...* Washington, p. 525-534, 1967.

² WAND, Y. e WEBER, R. Mario Bunge's ontology as a formal foundation for information systems concepts. IN: WEINGARTNER e DORN (Ed.). *Studies on Mario Bunge's Treatise*. Amsterdam: Radopi. pp. 123-150. 1990.

explicar a realidade. Além disso, adota-se o termo “ontologia de alto nível”³ para designar ontologias compostas por entidades genéricas localizadas em um nível de abstração mais alto em relação às entidades de um domínio em estudo. Através de sua sólida fundamentação na Filosofia, essas ontologias podem auxiliar na solução de problemas de integração entre sistemas, facilitar o processo de comunicação e reduzir o custo da propagação de erros ao corrigi-los nas fases iniciais do desenvolvimento (WAND e WEBER, 1993).

O desenvolvimento de SI automatizados, ao contrário do que possa parecer, não privilegia exclusivamente questões da técnica computacional. Trata-se de uma atividade constituída por etapas distintas: em algumas prevalece o estudo de processos algorítmicos que vão ordenar as ações dos computadores, em outras a comunicação e a capacidade de abstração humana são essenciais para obter bons resultados, do ponto de vista sistêmico (ALMEIDA e BARBOSA, 2009). Advoga-se que, no âmbito dessas atividades, existem oportunidades para a pesquisa em Ciência da Informação (CI), pois a formação recebida pelos profissionais dessa área pode contribuir para a solução de problemas na modelagem de SI. Acredita-se que existem aí possibilidades pouco exploradas para atuação desses profissionais.

Torna-se relevante assim, tanto do ponto de vista da pesquisa quanto sob o ponto de vista prático nas instituições, conhecer as ontologias, suas variações já testadas e os princípios ontológicos subjacentes. Inserindo-se nesse contexto, o presente artigo explora a pesquisa sobre o uso de ontologias como referência para a criação de modelos, com a finalidade de obter melhorias em SI. Para isso, contextualiza-se o uso das ontologias em SI, descrevem-se as principais ontologias utilizadas em modelagem conceitual e apresentam-se as iniciativas de pesquisa relacionadas. Espera-se contribuir para o diálogo e o intercâmbio entre diferentes áreas de pesquisa.

O restante do presente artigo está organizado conforme segue. A Seção 2 apresenta um breve histórico dos modelos em SI, desde os primeiros modelos de dados até os modelos baseados em ontologias. A Seção 3 discorre sobre as principais ontologias utilizadas como referência na criação de modelos, descrevendo ontologias filosóficas e suas variações, bem como ontologias de alto nível; enquanto a Seção 4 apresenta iniciativas relacionadas. A Seção 5 discute perspectivas de pesquisa sobre o assunto no âmbito da CI e sugere contribuições. Finalmente, a Seção 6 conclui sobre os benefícios da participação de profissionais da CI no

³ A expressão “ontologias de alto nível” não é consensual, sendo encontrados na literatura variações como: ontologia de base, ontologia fundamental, ontologia de alto nível, dentre outras (ALMEIDA, FONSECA e NOGUEIRA, 2010).

desenvolvimento de SI, além de citar exemplos de pesquisa em andamento no âmbito de programa de pós-graduação em CI.

2 MODELOS PARA SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Modelos são representações simplificadas da realidade que se quer compreender. O mundo é complexo e modelos são produzidos para que a compreensão humana possa apreendê-lo em partes, visto que não consegue abrangê-lo em sua totalidade. Em função disso, os modelos são entidades importantes em pesquisa e integram as raízes do método científico (ALMEIDA e BARBOSA, 2009). Segundo Frigg e Hartmann (2006), uma das formas de classificar modelos é considerar o aspecto semântico, o qual diz respeito às funções de representação. Nesse sentido, os modelos podem ser modelos de fenômenos, modelos teóricos ou modelos de dados. Os modelos de dados proliferam nas organizações como forma de representar o que deve ser codificado por SI.

Os SI têm papel relevante na consolidação de novas práticas administrativas, uma vez que objetivam atender às necessidades dos funcionários e colaboradores de uma instituição. A atividade de desenvolver SI envolve a criação de modelos para representar atividades que têm lugar na organização. Um modelo de dados organizacional é “uma representação explícita da estrutura, atividades, processos, fluxos, recursos, pessoas, comportamento, metas e limitações de uma organização”⁴ (GANDON, 2002, p.42).

Na atividade de desenvolvimento de SI, a etapa em que são criados modelos, com vistas ao entendimento humano, é conhecida como *modelagem conceitual*. Os modelos conceituais são obtidos a partir de abstrações de aspectos da realidade, na perspectiva de uma pessoa ou grupo de pessoas (ALMEIDA e BARBOSA, 2009). As abstrações são formas de especificar as entidades e as relações entre as entidades em um domínio do conhecimento de interesse para o sistema em construção.

O restante da presente seção discorre sobre modelos para SI, descrevendo a evolução dos modelos de dados até os modelos conceituais e, finalmente, os modelos baseados em ontologias.

⁴ [...] an explicit representation of the structure, activities, processes, flows, resources, people, behavior, goals, and constraints of an organization.

2.1 Modelos de dados e modelos conceituais

A modelagem conceitual de SI, como hoje conhecida, é resultado de pesquisa produzida nos últimos 50 anos. As primeiras iniciativas para especificação de modelos de dados datam do final dos anos 1950 (YOUNG e KENT, 1958; BOSAK et al., 1962). Em tais iniciativas, a criação de modelos privilegiava as necessidades ditadas por estruturas de dados computacionais.

Nos anos de 1960, a pesquisa em bancos de dados deu origem a três tipos principais de modelos de dados: o modelo hierárquico, o modelo em rede e o modelo relacional. Esses modelos são conhecidos como *modelos lógicos*, porque não fazem referência a aspectos físicos (codificação). Entretanto, os modelos lógicos têm concepções que limitam sua utilização em modelagem conceitual. Por exemplo, no modelo relacional (CODD, 1970), o conceito *relação* é usado para representar tanto *entidades* quanto *relacionamentos entre entidades* (PECKHMAN e MARYANSKI, 1988). Esse fato gera dificuldades de entendimento e induz a erros de modelagem.

Nos anos de 1970, no âmbito das pesquisas do comitê ANSI/X3/SPARC⁵ para a padronização de sistemas de gerenciamento de bancos de dados, surgiram os primeiros *modelos semânticos* utilizados em modelagem conceitual. Destacam-se o modelo de dados semânticos (ABRIAL, 1974), a arquitetura de três esquemas (JARDINE, 1976), o modelo Entidade Relacionamento (ER) (CHEN, 1976), a extensão do modelo ER (CODD, 1979), entre outros. A principal característica dos modelos semânticos, em relação aos anteriores, é a facilidade de entendimento. O modelo ER, por exemplo, elimina a sobrecarga do constructo⁶, *relação* existente no modelo relacional, e fornece termos adicionais para uso como primitivas de modelagem. A modelagem conceitual, nesse contexto, teve origem nos modelos de dados semânticos para bancos de dados, os quais correspondem a apenas um componente de SI. O

⁵ ANSI/X3/SPARC: ANSI é a sigla para *American National Standards Institute* e ANSI/X3/SPARC é o nome pelo qual ficou conhecido o comitê para padronização de sistemas de gerenciamento de banco de dados nos anos 1970.

⁶ Um constructo de uma linguagem de modelagem descreve um conjunto de objetos que tem propriedades comuns. Diz respeito aos símbolos usados em uma linguagem para efeitos de representação. Por exemplo, na linguagem natural, o “ç” é construto da linguagem português, mas não da linguagem inglês. Para definição formal sugere-se WAND e WEBER (1993).

comitê ISO/TC97/SC5⁷ criou um grupo com o objetivo de definir padrões para linguagens de modelagem conceitual para SI.

Nos anos de 1990, as propostas de modelagem *orientadas a objeto* se tornaram populares. Muitas vezes, elas são consideradas uma categoria distinta dos modelos de dados, pois apresentam características adicionais em relação aos modelos de dados, mas também similaridades nos constructos, como, por exemplo: objetos *versus* entidades, atributos *versus* propriedades, relacionamentos *versus* associações, classes *versus* hierarquias (MILTON, 2000). A *Unified Modeling Language* (UML) foi uma tentativa de uniformizar as notações da orientação a objeto, a qual reuniu outras iniciativas: o método de *Booch* (BOOCH, 1993), a *Object Modeling Technique* (RUMBAUGH et al., 1991), a *Object Oriented Software Engineering* (JACOBSON et al., 1992), entre outros.

Ao longo dos anos, a criação de modelos conceituais tem sido motivada pela busca de formas cada vez mais apuradas de representar a realidade em SI. Segundo Mylopoulos (1992, p. 3), a modelagem conceitual é “a atividade de descrever formalmente alguns aspectos do mundo físico e social ao nosso redor para propósitos de compreensão e de comunicação”⁸. Entretanto, os modelos semânticos dispõem de um conjunto limitado de constructos para a tarefa de modelagem conceitual. O modelo ER, por exemplo, pressupõe que a parte da realidade de interesse para o sistema pode ser articulada por dois constructos apenas (*entidade e relacionamento*).

Smith e Welty (2001) apontam a forma inconsistente de modelagem dos primórdios da modelagem conceitual como responsável pelos problemas de interoperabilidade em SI. Uma alternativa para esse tipo de problema são os modelos baseados em ontologias. Segundo os mesmos autores, “[...] só o uso de uma ontologia de referência robusta, comum - uma taxonomia compartilhada de entidades - pode proporcionar vantagens significativas sobre os métodos *ad-hoc* e baseados na análise individual até então utilizados”⁹ (SMITH e WELTY, 2001, p. 4).

Guarino (1998) descreve a necessidade de uma conceitualização¹⁰ comum. A integração é possível apenas se as linguagens subjacentes (L) aos modelos (A e B) possuem

⁷ ISO/TC97/SC5: ISO é a sigla para *International Organization for Standardization* e TC97/SC5 é o nome pelo qual ficou comitê para padronização de sistemas de informação nos anos 1970.

⁸ [...] the activity of formally describing some aspects of the physical and social world around us for purposes of understanding and communication.

⁹ [...] the provision, once and for all, of a common, robust reference ontology – a shared taxonomy of entities – might provide significant advantages over the ad hoc, case-by-case methods previously used.

¹⁰ Uma conceitualização é uma visão abstrata e simplificada do mundo que se deseja representar (ALMEIDA, 2006 apud GENESERETH e NILSSON, 1987).

conceitualizações que se sobrepõem em algum nível (FIG.1-a). Muitas vezes, a integração não existe (FIG. 1-b), como pode parecer avaliando-se apenas as linguagens. Em última instância, apenas a conceitualização compartilhada vai proporcionar interoperabilidade entre SI. Segundo Almeida e Barbosa (2009), tal conceitualização é produto da comunicação humana, do consenso e da discussão.

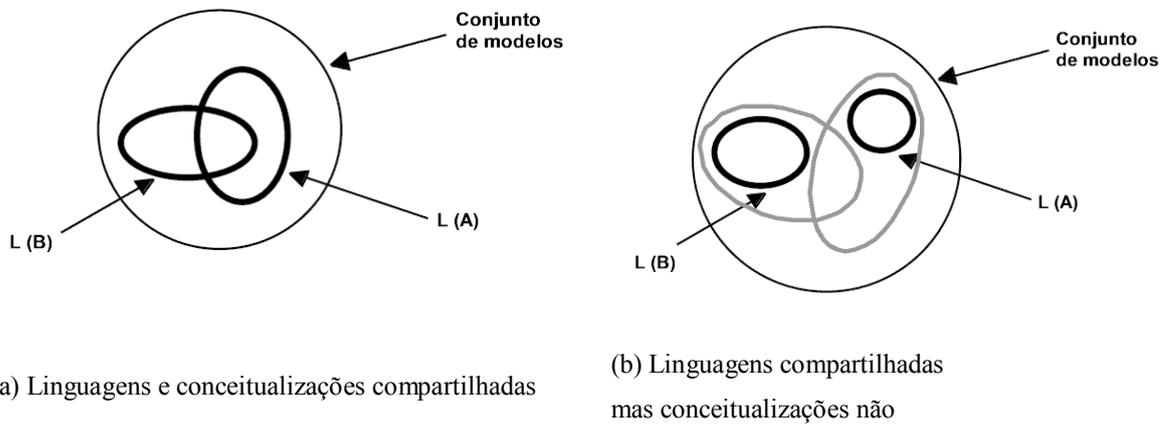


Figura 1: Problema do falso entendimento
Fonte: adaptado de Guarino (1998, p. 6)

Cabe citar, entretanto, que determinar qual conceitualização e como ela deve ser criada para um SI não é tarefa trivial. A primeira dificuldade reside justamente em definir do que trata o termo conceitualização, uma vez que existem diversas definições conflitantes (SMITH, 2003). No caso da CI, a Teoria dos Conceitos (DAHLBERG, 1974) tem sido adotada por pesquisadores da área há muitos anos como base para a criação de instrumentos de organização da informação. Entretanto, Souza e Almeida (2009) lembram que o uso de computadores e SI automatizados, necessários frente ao volume crescente de informação registrada, tem exigido reflexões sobre as práticas comuns e sua atualização às novas realidades.

2.2 Modelos baseados em ontologias

Ontologias têm sido estudadas na Inteligência Artificial desde os anos 1970. Segundo Smith (2003), o termo apareceu pela primeira vez em 1967, em um trabalho sobre modelagem de

dados de Mealy¹¹. Nos anos 90, a pesquisa sobre a Web Semântica aumentou a demanda por ontologias para vários tipos de aplicações, tanto aquelas relacionadas à interoperabilidade quanto para prover entendimento comum sobre um domínio. De fato, Vickery (1997) relata pesquisa conduzida em uma base de dados multidisciplinar¹², a qual retornou mais de 500 ocorrências do termo.

Diversos autores têm estudado o tema de modelos baseados em ontologias, tanto na Ciência da Computação (GENESERETH e NILSSON, 1987; GRUBER, 1993; GUARINO e GIARETTA, 1995; GUARINO, 1998; SOWA, 2000; SMITH, 2003; WAND e WEBER, 1990) quanto na Ciência da Informação (VICKERY, 1997; GILCHRIST, 2003; SØERGUEL, 1997). A abordagem detalhada de questões teóricas que fundamentam as ontologias está além dos objetivos do presente artigo, mas, ainda assim, considerações relevantes para tais objetivos são apresentadas no restante dessa seção.

O estudo das ontologias se caracteriza pela coexistência de abordagens interdisciplinares. Guarino e Giaretta (1995) citam sete interpretações disponíveis para o termo ontologia: i) uma disciplina filosófica; ii) um sistema conceitual informal; iii) um estudo relacionado à semântica formal; iv) uma especificação de uma conceitualização; v) uma representação de um sistema conceitual via teoria lógica; vi) um vocabulário usado por uma teórica lógica; vii) uma especificação (metanível) de uma teoria lógica.

Segundo Smith (1998), do ponto de vista filosófico só pode existir uma ontologia. Para lidar com a pluralidade de usos do termo, o autor distingue dois tipos de ontologias: a *ontologia real (R-ontology)*, a qual diz respeito a como o universo é organizado e corresponde a abordagem filosófica; a *ontologia epistemológica (E-ontology)*, relacionada à tarefa de conceitualizar um domínio. A *E-ontology* atende a necessidade de expressar a ontologia como um artefato, conforme o significado do termo em Engenharia de *Software* e em Representação do Conhecimento.

Segundo Guarino (1998), uma ontologia descreve o significado dos símbolos utilizados em SI de acordo com uma visão particular de mundo. O autor classifica as ontologias em duas dimensões principais, de acordo com o impacto que produzem nos SI. A *dimensão temporal* corresponde ao uso da ontologia em SI, em tempo de desenvolvimento ou em tempo de execução. A *dimensão estrutural* diz respeito ao uso da ontologia como um componente do banco de dados, da interface do usuário ou de um aplicativo.

¹¹ Mealy, G. H. (1967). Another Look at Data. Proceedings AFIPS Conference. 31, 525–534. Washington: Thompson.

¹² Dialog. Disponível em: <<http://www.dialog.com/>>. Acesso: 20 jan. 2003.

Fonseca (2007) distingue ontologias *de* SI e ontologias *para* SI. O autor explica que no primeiro caso a ontologia é utilizada como referência para a modelagem conceitual. Exemplos de ontologias *de* SI são as pesquisas de Green e Roseman (2005), de Fettke e Loss (2005), de Holten, Dreiling e Becker (2004), entre outras. No segundo caso, a ontologia é um componente dos SI, o qual descreve o vocabulário de um domínio com o propósito de suportar a criação de esquemas conceituais. Essa segunda abordagem corresponde à visão de Guarino (1998). Exemplos de ontologias *para* SI são as pesquisas de Crubézy e Munsen (2004), de Sycara e Paolucci (2004), de Oberle et al., (2004), entre outras.

O esquema da FIG. 2 apresenta como exemplo o modelo e o metamodelo da linguagem de modelagem UML, além de um nível adicional que corresponde à ontologia. Os constructos do segundo nível (metamodelo) definem os objetos que podem ser representados pelo primeiro nível (modelo). A ontologia, bem fundamentada filosoficamente, é a referência para avaliar em que extensão o metamodelo e o modelo são adequados para representar a realidade.

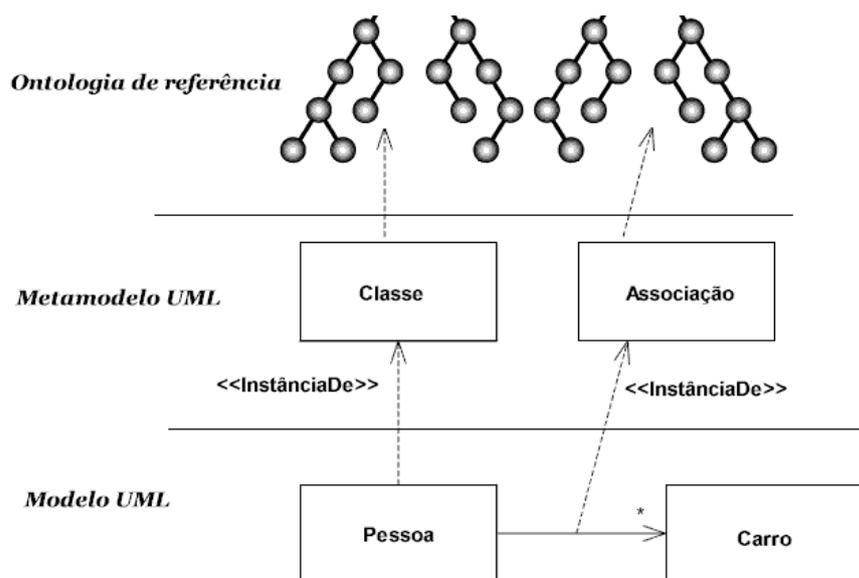


Figura 2: representação gráfica de modelo, metamodelo e ontologia de referência
Fonte: adaptado de OMG (2003, p. 29).

A FIG. 2 apresenta uma visão presente na maioria das iniciativas relacionadas a uso de ontologias em modelagem conceitual. Em um nível superior ao do “metamodelo”, conforme definido pela OMG (2003), localiza-se a ontologia de referência, uma ontologia usada como um padrão de comparação para avaliar a adequação dos constructos dos níveis inferiores.

No presente trabalho, denominam-se *ontologias de referência* aquelas utilizadas especificamente para fins de modelagem conceitual, sejam elas: i) ontologias filosóficas, bem como suas variações; ii) ontologias de alto nível. Exemplos de ontologias filosóficas são a

ontologia de *Bunge* e a ontologia de *Chisholm*. A ontologia de *Bunge-Wand-Weber* (BWW) é um exemplo de variação de ontologia filosófica. Ontologias de alto nível contêm conceitos genéricos, passíveis de utilização em domínios diversos. Exemplos de ontologias de alto nível são: i) *Basic Formal Ontology* (BFO) (GRENON, SMITH e GOLDBERG, 2004); ii) CYC (REED e LENAT, 2002); iii) *Descriptive Ontology for Linguistics and Cognitive Engineering* (DOLCE) (MASOLO et al., 2003); iv) *General Formal Ontology* (GFO) (HERRE et al., 2006), v) *KR Ontology* (SOWA, 2000); vi) *Standard Upper Merged Ontology* (SUMO) (IEEE Standard¹³); a *Unified Foundational Ontology* (UFO) (GUIZZARDI e WAGNER, 2004).

O restante da presente seção descreve as principais ontologias de referência disponíveis, além de considerações sobre as respectivas ontologias de origem filosóficas e de alto nível.

3 ONTOLOGIAS DE REFERÊNCIA PARA MODELAGEM CONCEITUAL

As ontologias de referência descritas nessa seção são a ontologia de *Chisholm*, a ontologia de *Bunge*, a BWW, a DOLCE, GFO e a UFO. Outras ontologias de alto nível citadas, apesar de importantes e amplamente utilizadas, não são descritas, pois não têm sido associadas à modelagem conceitual de SI.

*Chisholm*¹⁴ desenvolveu uma ontologia filosófica de senso comum (ou seja, de crenças tradicionais) baseada em uma forma extrema de realismo. O *realismo* corresponde à presunção de que a realidade do mundo existe independentemente da cognição humana (SMITH, 1995). A ontologia de *Chisholm* (1996) é organizada em categorias, onde são agrupadas as coisas do mundo. A taxonomia das categorias é apresentada na FIG. 3:



Figura 3: taxonomia de categorias da ontologia de Chisholm (1996)

Fonte: adaptado de Chisholm (1996, p. 3).

¹³ *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. Disponível na internet em <<http://www.ieee.org/>>. Acesso em 10/06/2005.

¹⁴ *Roderick Chisholm*, filósofo norte-americano (1916 - 1999).

Milton e Kazmierczak (2004) descrevem a semântica das categorias da ontologia de *Chisholm*, enfatizando aquelas relevantes para a pesquisa em modelagem. As categorias são organizadas em *conceitos estáticos* e *conceitos dinâmicos* (FIG. 4).

Conceitos estáticos	Indivíduo	Indivíduos são objetos discerníveis e transientes, pois são criados e são destruídos.
	Atributo	Atributos se tornam aparentes através de indivíduos e são persistentes, ou seja, não são destruídos.
	Classes e conjuntos	As classes e os conjuntos são representados através de atributos, os quais determinam as condições de associação.
	Relação	Relações são pares ordenados de atributos, os quais conectam indivíduos de forma unidirecional.
Conceitos dinâmicos	Relações temporais	O tempo não é expresso como uma sequência de eventos identificados, mas através de relações temporais que ordenam os estados.
	Estados	Indivíduos exemplificam atributos, e tais exemplos são estados.

Figura 4: Principais categorias da ontologia de *Chisholm*

Fonte: adaptado de Milton e Kazmierczak (2004).

O trabalho de *Bunge*¹⁵ resultou em uma ontologia filosófica na qual o mundo material existe independentemente do conhecimento que as pessoas possam ter sobre ele. Considera a possibilidade do conhecimento humano objetivo, desde que baseado no método científico através do qual se pode obter a verdade. A ontologia é descrita em abstrações formalizadas por lógica. As principais premissas da ontologia de Bunge (1977) são apresentadas na FIG. 5:

Coisas e propriedades são dois constructos atômicos necessários para descrever o mundo	
Coisas	O mundo é feito de <i>coisas</i> que possuem <i>propriedades</i> .
	Cada <i>coisa</i> no mundo possui uma ou mais <i>propriedades</i> .
Propriedades	<i>Propriedades</i> não podem ter <i>propriedades</i> .
	<i>Propriedades</i> não podem existir por si mesmas e devem estar ligadas a alguma <i>coisa</i> .
	As <i>propriedades</i> podem ser <i>intrínsecas</i> , as quais dependem apenas de uma <i>coisa</i> ; <i>mútuas</i> , que dependem de duas ou mais <i>coisas</i> .
Interações entre coisas e propriedades	Duas coisas interagem quando a história de uma delas, manifestada como uma sequência de estados, poderia ter sido diferente se a outra não existisse.
	A existência de <i>propriedades mútuas</i> entre duas coisas pode indicar que elas interagem.

¹⁵ *Mario Bunge*, filósofo e físico argentino (1919-?).

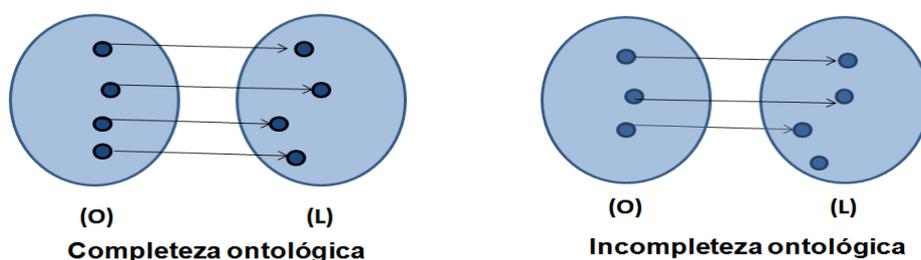
	Propriedades mútuas que manifestam interações entre duas coisas são chamadas <i>propriedades mútuas compulsórias (binding mutual properties)</i> .
	Coisas podem se associar para formar outra coisa: uma <i>coisa composta</i> é formada pela combinação de pelos menos duas outras coisas; caso contrário ela é uma <i>coisa simples</i> .
	Cada <i>coisa composta</i> possui propriedades emergentes, ou seja, propriedades ausentes nos componentes da coisa composta.

Figura. 5: Premissas da ontologia de *Bunge*

Fonte: Adaptado de Bunge (1977)

A pesquisa seminal sobre ontologias de SI corresponde a uma extensão da teoria de *Bunge*, a qual resultou na BWW (WAND e WEBER, 1990, 1993; WAND, STOREY e WEBER, 1999). Segundo Wand e Weber (1990), a BWW é uma proposta que estrutura facetas genéricas do mundo real e tem objetivo de fornecer bases teóricas para avaliar práticas de modelagem conceitual e investigar o poder de representação das linguagens.

Wand e Weber (1993) descrevem critérios para verificar o nível de *homomorfismo*¹⁶ entre os constructos da linguagem de modelagem (L) e os constructos ontológicos (O) definidos pela BWW. Os critérios são denominados como *completeza ontológica* e *transparência ontológica*. No primeiro caso, uma linguagem de modelagem é considerada *ontologicamente completa* quando fornece pelo menos um constructo para cada constructo ontológico (FIG. 6 a-b). O segundo caso, diz respeito à interpretação do significado de cada constructo da linguagem. Uma linguagem é *ontologicamente transparente* se não apresenta: i) *sobrecarga*, ou seja, um constructo (L) corresponde a dois (O); ii) *redundância*, em que dois constructos (L) correspondem a um (O); iii) *excesso*, em que nem todos os constructos (L) tem (O) correspondentes.



(a) todos os constructos da ontologia têm correspondentes na linguagem

(b) nem todos os constructos da ontologia têm correspondentes na linguagem

Figura 6: Esquema gráfico de avaliação da BWW

Fonte: Adaptado de Wand e Weber (1993)

¹⁶ A despeito da definição matemática, o homomorfismo garante que a interpretação de um modelo, por pessoas, corresponde a abstração que os diagramas desse modelo pretendem representar.

O projeto *WonderWeb Foundational Ontologies Library*, desenvolvido no LADSEB-CNR¹⁷, tem por objetivo desenvolver linguagens para representação de ontologias. A primeira etapa do projeto consiste em especificar uma ontologia baseada em Lógica de 1ª Ordem e Lógica Modal. A ontologia é denominada de DOLCE (MASOLO et al., 2003) e tem por objetivo descrever categorias ontológicas subjacentes à linguagem natural e ao senso comum humano. Outra contribuição da equipe de pesquisa da instituição é a metodologia *Ontoclean*.

A *OntoClean* (GUARINO e WELTY, 2002) fornece princípios ontológicos formais baseados em ontologias da metafísica. É utilizada para detectar modelagem inconsistente, propondo correções através de metapropriedades que impõem restrições a relações taxonômicas. Gangemi et al. (2001) descrevem as quatro noções formais genéricas que fundamentam tais metapropriedades: *rigidez*, *identidade*, *dependência* e *unidade*. Essas noções permitem entender a natureza das relações e encontrar problemas estruturais. Os passos para a correção de erros na taxonomia são: i) selecionar propriedades; ii) avaliar a taxonomia a partir das metapropriedades; iii) complementar a taxonomia com conceitos e relações de acordo com resultados da avaliação.

A GFO (HERRE et al., 2006) é uma ontologia de alto nível utilizada em aplicações de Biomedicina no âmbito do *Onto-Med Research Group*¹⁸. Além dessa aplicação principal, a GFO é utilizada como fundamento ontológico para modelagem conceitual. Consiste em três níveis denominados como *abstrato*, *núcleo* e *básico*, os quais incluem objetos, processos, além de módulos especializados em medicina, economia e sociologia.

A UFO (GUIZZARDI e WAGNER, 2004) é resultado da combinação da GFO, da DOLCE e de princípios da metodologia *OntoClean*. Como síntese de outras ontologias, a UFO oferece maior número de constructos para avaliação de linguagens de modelagem conceitual. Consiste em três camadas: UFO-A, que define o núcleo ontológico; UFO-B, que inclui termos relacionados a processos; e UFO-C, que define termos relacionados às esferas sociais e aspectos linguísticos.

Apesar das diversas abordagens, não parece existir uma ontologia genericamente aceita para modelagem. Conceitos e relações em ontologias distintas podem levar a resultados diferentes na avaliação de um mesmo modelo conceitual. Além disso, cabe citar que existem críticas à forma com a qual tais abordagens são conduzidas. Wyssusek e Klaus (2005), por exemplo, descrevem problemas na adaptação da ontologia de *Bunge* para a BWW. Segundo os autores, a ontologia filosófica foi tratada como teoria formal e não como teoria ontológica, de forma

¹⁷ *Institute of Systems Science and Biomedical Engineering, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Itália.*

¹⁸ Disponível na Internet em: <<http://www.onto-med.de/>>. Acesso: 20 de fevereiro de 2009.

que a BWW não considera o conceito de compromisso ontológico, fundamental em *Bunge*. Além disso, o formalismo e a terminologia da ontologia filosófica foram simplesmente transportados para o domínio da modelagem. Assim, não se obteve uma interpretação do modelo em termos de uma ontologia científica, mas exatamente o contrário.

4 EXEMPLOS DE INICIATIVAS

Existem diversas iniciativas que utilizam ontologias de referência para analisar linguagens de modelagem de SI. O restante da presente seção descreve propostas que adotam essa abordagem, citando com exemplos os trabalhos de Evermann (2003), de Fettke e Loss (2005), de Shanks, Tansley e Weber (2003), de Opdahl e Henderson-Sellers (2004), de Holten, Dreiling e Becker (2004), de Milton (2000), e de Guizzardi e Wagner (2004). A revisão de literatura não é exaustiva e seu objetivo é exemplificar a pesquisa sobre o assunto.

Evermann (2003) propõe o mapeamento dos constructos da linguagem UML para constructos ontológicos da ontologia de *Bunge*. Na proposta de Evermann (2003), a primeira tarefa é selecionar quais os elementos da ontologia de Bunge são adequados para avaliação dos constructos UML de um modelo específico. Essa etapa se justifica porque os modelos, em geral, não usam todos os constructos disponíveis na UML. Não faz sentido, por exemplo, utilizar constructos ontológicos relativos a propriedades se o modelo em questão não apresenta o constructo propriedade. Desse processo de seleção, derivam-se regras que restringem o uso dos constructos da linguagem para aquele modelo. Em síntese, a análise ontológica consiste das seguintes fases: i) identificação de conceitos ontológicos e de constructos específicos da UML; ii) mapeamento entre os conceitos ontológicos e os constructos da linguagem utilizados naquele modelo; iii) identificação de suposições ontológicas, relacionamentos e restrições; iv) mapeamento e propostas de melhorias no modelo.

Fettke e Loss (2005) utilizam a BWW como ontologia de referência para avaliação de modelos de SI relacionados a controle e planejamento da produção em empresas industriais. O modelo utilizado no estudo de caso empírico é o *Architecture of Integrated Information Systems* (SCHEER, 2000). O processo de avaliação, a qual os autores denominam *normalização ontológica*, gera uma visão unificada dos fatos representados pelo modelo e,

por consequência, reduz problemas de representação. A normalização ontológica consiste das seguintes etapas: i) mapeamento entre o modelo e a ontologia; ii) identificação das deficiências do modelo, de acordo com a BWW (incompleteza, redundância, excesso e sobrecarga); iii) avaliação dos resultados e correção do modelo.

Shanks, Tansley e Weber (2003) conduzem estudos empíricos sobre duas características da realidade representadas em modelos de SI: i) a distinção entre *coisas* do mundo e coisas que são partes de outras; ii) a distinção entre coisas e *propriedades*. Segundo os autores, essas situações são representadas de forma distinta em diferentes metodologias para construção de SI. As representações variam pelas características de uma relação (por exemplo, transitividade, simetria, dentre outras) e pelo tipo de representação (explícita ou implícita). Utilizando o BWW como referência, os autores buscam entender como diferentes tipos de representação facilitam ou inibem a compreensão humana de um fenômeno. O objetivo é reduzir o custo de aprender, através da experiência, as limitações das diferentes linguagens de modelagem.

Opdahl e Henderson-Sellers (2004) propõem um *template* baseado no BWW e formalizado em *Object Constraint Language (OCL)*¹⁹ para comparar constructos da UML. Os constructos são divididos em suas partes atômicas, detalhando-se cada classe, propriedade, estado e evento em uma taxonomia comum. Em seguida, o *template* é utilizado para definir um par de constructos, tornando possível comparar um em relação a outro e avaliar como eles se sobrepõem. Definir um par de constructos consiste em representá-los através de um conjunto fixo de *entradas de alto nível*. Essas entradas são de quatro tipos: i) *entrada de instanciação*, usada para definir se um constructo representa os processos organizacionais da modelagem no nível de classes das coisas ou no nível de coisas; ii) *entrada de classe*, usada para definir quais classes de coisas podem ser representadas por um constructo; iii) *entrada de propriedade*, usada para definir quais propriedades podem ser representadas por um constructo; iv) *entrada duração*, usada para definir se um constructo representa um evento, um estado, um processo ou o total de tempo de coisas.

Holten, Dreiling e Becker (2004) apresentam um método que define uma ontologia como sendo o metamodelo de uma linguagem de modelagem específica para gestão de SI. A ontologia é construída através de operações sobre a linguagem denominadas *ações linguísticas*. As ações linguísticas são de três tipos: i) *instanciação*, na qual as categorias que definem um conjunto de objetos são criadas como uma relação *instância-de*; ii) *subordinação*,

¹⁹ A OCL é uma linguagem utilizada para criar restrições que limitam o significado de constructos da UML.
Enc. Bibli: R. Eletr. Bibliotecon. Ci. Inf., ISSN 1518-2924, Florianópolis, v. 15, n. 30, p.32-56, 2010.

a qual define relações *é-um* entre categorias de objetos; iii) *composição*, a qual é usada para criar categorias. Os componentes do metamodelo são originados da aplicação de ações linguísticas aos constructos da linguagem de modelagem original. Segundo os autores, tais constructos podem ser utilizados em outros contextos relacionados à gestão de SI.

Milton (2000) utiliza a ontologia de *Chisholm* como ontologia de referência para avaliar a adequação de um modelo conceitual à realidade, bem como as diferenças e as similaridades entre linguagens que especificam esse modelo. Trata-se de um método qualitativo que compara a ontologia de referência aos metamodelos ontológicos subjacentes às linguagens de modelagem conceitual. Segundo o autor, o objetivo é avaliar o nível de concordância entre a linguagem e a ontologia de referência. O método consiste nos seguintes passos: i) determinar o conjunto de conceitos da ontologia de referência selecionada; ii) determinar o conjunto de conceitos subjacentes à linguagem; iii) executar a comparação e avaliar os resultados. O autor enfatiza que o método independe da ontologia de referência selecionada e pode ser aplicado a um conjunto de linguagens de modelagem, repetindo-se o método de análise conceitual individual.

Guizzardi (2005) descreve uma proposta para avaliar linguagens de modelagem, utilizando como exemplo a UML. O objetivo é avaliar, corrigir inconsistências e propor extensões ao metamodelo da UML através da comparação com uma ontologia de referência a qual o autor denomina *ontologia de base*. Os seguintes constructos do metamodelo UML são confrontados com a ontologia de referência: i) o elemento *classe* e a *taxonomias de classes*; ii) os *classificadores*, por exemplo, classes, associações, tipos de dados e interfaces; iii) o elemento *propriedade*, por exemplo, atributos; iv) as representações de *relações metonímicas*, por exemplo, composição e agregação. O autor apresenta ainda exemplos de fragmentos do metamodelo UML, analisando-os e comparando-os a ontologia de referência e, finalmente, propõe revisões nos constructos do metamodelo.

5 DISCUSSÃO

A maioria das publicações sobre ontologias aplicadas ao desenvolvimento de SI é proveniente da computação (ALMEIDA, 2006). Na pesquisa sobre ontologias a situação não é diferente, mesmo que já existam, desde a década de 1990, estudos sobre o assunto na CI, como por

exemplo, os trabalhos de Vickery (1997), de Søerguel (1997), de Gilchrist (2003), de Campos (2004), entre outros. Advoga-se que o assunto merece destaque e consiste em uma boa oportunidade de pesquisa em CI. Ao longo do restante dessa seção discutem-se interfaces, enfatizando-se a importância dos SI nas instituições, a natureza das etapas típicas do desenvolvimento de SI e as habilidades para conduzir tais etapas, entre outras.

Conforme já mencionado, desde os anos de 1970, as pesquisas sobre ontologias em SI têm sido conduzidas na área da Ciência da Computação (Engenharia de *Software* e Representação do Conhecimento), áreas que objetivam o desenvolvimento de SI. Apesar das diferenças entre as duas abordagens, o papel das ontologias nesse contexto é o mesmo: representar o conhecimento de um domínio para uso em um SI. Apesar da proximidade com áreas predominantemente tecnológicas, o desenvolvimento de SI não consiste apenas de atividades técnicas.

A etapa de modelagem conceitual de SI tem por objetivo a criação de modelos da realidade, os quais promovam entendimento comum, ou seja, comunicação entre pessoas e não entre máquinas (MYLOPOULOS, 1992). Na modelagem conceitual, habilidades relacionadas à comunicação e à capacidade de abstração são essenciais para a obtenção de bons resultados. Entretanto, tal atividade conduzida sem métodos bem fundamentados, baseada puramente em decisões específicas para um contexto, em opiniões e em experiência prévia, resulta em interpretações inadequadas da realidade.

Como consequência da modelagem inconsistente, obtém-se SI com várias deficiências, as quais muitas vezes se tornam aparentes apenas a longo prazo, quando já se perdeu o contexto no qual o sistema era necessário. Tal prática se coloca no sentido oposto a todo o esforço despendido para melhor organizar e manipular a informação e o conhecimento, tornando-os ativos reais nas empresas. Os SI são importantes mecanismos para retenção e para disseminação do conhecimento nas instituições modernas. Procedimentos nesse sentido são o objetivo do conjunto de práticas que se convencionou chamar de *gestão do conhecimento*, amplamente adotado nas empresas (ALMEIDA e BARBOSA, 2009).

Em última instância, obtém-se cumulativamente SI incapazes de interoperar. O termo *interoperar* não é utilizado apenas no sentido da padronização de tecnologia da informação, mas no sentido explorado por Almeida (2002). A dificuldade em interoperar torna as instituições limitadas em sua capacidade de compartilhar e de reutilizar, em outros contextos, o conhecimento apreendido nos modelos. Do ponto de vista das práticas usualmente aceitas, o

problema parece maior quando se observa que métodos bem fundamentados são a exceção e não a regra.

As questões relacionadas aos SI nas instituições possuem interfaces com pesquisas sobre gestão da informação e do conhecimento, como por exemplo: i) estudos de usos e necessidades de informação de usuários, por exemplo, a pesquisa de Wilson (1981), de aplicação prática direta em SI; ii) abordagens situacionais²⁰, como as *comunidades de prática* estudadas por Wenger (1998), relevantes na obtenção de conhecimento consensual; iii) a criação de vocabulários organizacionais, conforme descrito por Von Krogh e Roos (1995), importantes para a comunicação nas empresas. Além dessas interfaces, cabe ainda ressaltar questões sobre a natureza das habilidades requeridas no desenvolvimento de SI.

A Ciência da Informação é um campo dedicado a “[...] abordar os problemas da efetiva *comunicação de conhecimento* e de registros do conhecimento *entre seres humanos* no contexto de uso social, institucional e individual, e de necessidades de informação”²¹ (SARACEVIC, 1995, p. 2). Na Ciência da Computação, considera-se que a principal preocupação reside em melhorias nos processos algorítmicos. O objetivo distinto dessas áreas de pesquisa reflete em seus profissionais, em suas habilidades e em suas possibilidades de atuação no âmbito de projetos de SI.

A formação em Computação enfatiza a codificação e os procedimentos técnicos da atividade de desenvolvimento. Os profissionais da CI, em geral, não são treinados em programação, mas recebem fundamentação relevante sobre informação e conhecimento. Além disso, estudam teorias sobre a informação e sobre sua organização, princípios e teorias de classificação, aprendem os fundamentos dos instrumentos de organização (como por exemplo, vocabulários controlados), estudam necessidades de usuários, entre outros assuntos. As habilidades do profissional de CI são essenciais na criação de modelos, no estudo das ontologias, enfim, no entendimento da realidade na busca por SI integrados e eficientes quanto aos seus objetivos no contexto social em que atuam.

Acredita-se que, a partir da habilidade de entender a realidade, é possível pensar em melhorias de longo prazo nos SI. Só assim, é possível reduzir as diferenças entre conceitualizações distintas de SI, criadas por profissionais variados. Exemplos de problemas no entendimento da realidade e na criação de modelos são obtidos através do tipo de avaliação discutida ao longo do artigo e baseada em ontologias. Enfatiza-se que tais problemas não são de natureza

²⁰ Nessa linha de pensamento, o comportamento resulta da interação entre o indivíduo e o ambiente.

²¹ [...] devoted to [...] addressing the problems of effective communication of knowledge and knowledge records among humans in the context of social, institutional and/or individual uses of and needs for information.

técnica. Na seção 2.1, por exemplo, foram apresentadas exemplos de ambiguidades em modelo relacionais.

A questão central, que permeia todas aquelas citadas até aqui, diz respeito à necessidade de conhecimento pelos participantes das atividades de modelagem, de técnicas sistemáticas de representação e organização da informação. Esse tipo de deficiência não é uma situação nova, mas a importância que as ontologias têm recebido nos últimos anos é uma oportunidade para retornar à raiz dos problemas. Nesse contexto, afirma-se que contribuições da pesquisa da Ciência da Informação são relevantes e que o profissional dessa área tem possibilidades pouco exploradas de atuação profissional. Sem tais considerações, em nada se dá o número cada vez maior de SI nas organizações e o grande número de ontologias disponíveis e em construção.

6 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Ao longo desse estudo, explorou-se a pesquisa sobre ontologias aplicadas à modelagem conceitual. Apresentou-se um breve histórico dos modelos de dados utilizados no desenvolvimento de SI, destacando-se a importância da modelagem. Descreveu-se a relação das ontologias com a atividade de criação modelos, utilizando-se ontologias de alto nível e ontologias filosóficas para definir ontologias de referência. Apresentou-se ainda iniciativas diversas que comprovam a viabilidade do uso de ontologias na modelagem conceitual. Discutiu-se a importância de técnicas sistemáticas de representação, bem como habilidades dos profissionais de CI que facilitam sua adoção.

Apesar da discussão e da importância cada vez maior dedicada à pesquisa de ontologias em CI, o assunto ainda encontra resistências na área, principalmente com a justificativa, muitas vezes, de que os principais autores não são da área. Acredita-se, entretanto, que tal situação não é impedimento para que se busque incentivar abordagens conjuntas ao assunto, dadas a sua importância. Enfatiza-se que a pesquisa em ontologias é altamente interdisciplinar, abrangente e multifacetada, portanto, plausível de se integrar à comunidade de pesquisa em CI, interdisciplinar por natureza, que avança sobre suas fronteiras no sentido de promover a evolução que se espera em contextos científicos.

Discutir contribuições da CI a outras áreas, interdisciplinaridade e interfaces exige discussão e aprofundamento. Portanto, de forma a fundamentar discussões e estabelecer marcos teóricos,

evitando abordagens meramente multidisciplinares, é necessário a busca por resultados empíricos e, nesse sentido, o presente artigo é parte de esforços de pesquisa em andamento conduzida por alunos do programa de pós-graduação em Ciência da Informação. Tais pesquisas versam sobre a avaliação dos modelos de SI reais da Administração do Estado de Minas Gerais produzidos pelo Laboratório de Engenharia de *Software*²²; e sobre a avaliação de metamodelos para SI na área de saúde da administração pública estadual. Espera-se que esses esforços sejam incentivos para se buscar novas perspectivas em CI e que demonstrem a relevância da área para a comunidade científica.

*AN EXPLORATORY STUDY OF ONTOLOGIES APPLIED TO INFORMATION SYSTEM
MODELS:
RESEARCH PERSPECTIVES IN INFORMATION SCIENCE*

Abstract

Ontologies have become the subject of ever increasing interest in several areas. Beyond its philosophical roots, it has been used broadly in research fields related to systems development. Within the scope of automated information systems, the use of ontology has two main goals: it can be used as a component of a system or as a reference. This reference is a kind of comparison standard employed to evaluate the capacity of the model underpinning the system to represent the world. The present article explores the latter application, discussing the usefulness of ontologies in conceptual modeling processes. After the contextualization of the research and of some problems related to conceptual modeling of information systems, we present ontologies used as references, in addition to related initiatives. We discuss the relevance of this subject with regards to Information Science, interfaces and the potential for interdisciplinary research. We conclude by highlighting the importance of the Information Science disciplines in addressing issues related to deficient modeling and to lack of systems integration. We hope to contribute to the interchange between different areas, as well as suggest new perspectives for the work of Information Science professionals.

Keywords: *Ontologies. Information Science. Informations Systems. Conceptual models.*

REFERÊNCIAS

ABRIAL, J.R. (1974). Data semantics. IN: IFIP WORKING CONFERENCE OF INFORMATION SYSTEMS, 1974, **Proceedings...** Amsterdam, p. 1-60, 1974.

²² Material gentilmente cedido pelo Synergia, Depto de Ciência da Computação da UFMG.
Enc. Bibli: R. Eletr. Bibliotecon. Ci. Inf., ISSN 1518-2924, Florianópolis, v. 15, n. 30, p.32-56, 2010.

ALMEIDA, M.B.; BARBOSA, R. R. Ontologies in knowledge management support - a case study. **Journal of American Society of Information Science and Technology**. vol. 60, n.10, p. 2032-2047. 2009.

ALMEIDA, M. B. **Um modelo baseado em ontologias para representação da memória organizacional**. 2006. 316f. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) - Escola de Ciência da Informação, Universidade Federal do Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

_____. **Inter-operabilidade entre fontes de dados heterogêneas: um meta-modelo baseado em ontologias**. 2002. 146f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação) - Escola de Ciência da Informação, Universidade Federal do Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

ALMEIDA, M. B.; FONSECA, F. F.; NOGUEIRA, V. O. **Evaluation of conceptual modeling based on ontologies: case study of models for public sector information systems**. Applied Ontology, Trento, n. 6, 2010. No prelo.

BOOCH, G. **Object-oriented Analysis and Design with Applications**, 2 ed. Redwood: Cummings, 1993. 608p.

BOSAK, R., et al. An information algebra: phase 1 report - language structure group of the CODASYL development committee. **Communications of the ACM**, New York, v. 5, n. 4, p. 190-204, Apr. 1962.

BRANK, J., GROBELNIK, M.; MLADENIĆ, D. **Gold Standard Based Ontology Evaluation Using Instance Assignment**. (2006). Disponível em: <<http://km.aifb.uni-karlsruhe.de/ws/eon2006/eon2006branketal.pdf>>. Acesso: 3 jul. 2007.

BUNGE, M. **Ontology I: The furniture of the world**. Treatise on Basic Philosophy, Vol. 3-4. Boston: Reidel, 1977. 376p.

Campos, M. L. A. Modelização de domínios de conhecimento: uma investigação de princípios fundamentais. **Ciência da Informação, Brasília**. v. 33, n. 1, p. 22-32, abr. 2004.

CHEN, P. P. S. The Entity-Relationship Model-Toward a Unified View of Data. **ACM Transactions on Database Systems, Framingham**. v. 1, n. 1, p.9-36, Mar. 1976.

CHISHOLM, R. **A Realistic Theory of Categories; An Essay on Ontology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 146p.

CODD, E.F. A relational model of data for large shared data banks. **Communications of the ACM**, New York. v. 13, n. 6, p. 377-387. Jun. 1970.

CRUBÉZY, M.; MUNSEN, M. A. Ontologies in Support of Problem Solving. In: STAAB, S.; STUDER, R. (Ed.). **Handbook on Ontologies**. Berlin: Springer-Verlag, 2004. p. 321-342.

DAHLBERG, I. Towards a theory of concept. **International Classification**, v.1, n.1, p. 12-18. 1974.

EVERMANN, J. M. **Using design languages for conceptual modelling; the uml case**. 2003. 394f. Tese (Scientific Philosopher Doctorate Thesis) - The Faculty of Graduate Studies, Management Information Systems, Westfälische Wilhelms Universität at Münster, Münster, 2003.

FETTKE, P.; LOOS, P. Ontological Analysis of Reference Models. In: GREEN, P.; ROSEMANN, M. (Ed.). **Business Systems Analysis with Ontologies**. Hershey: Idea Group, 2005. p. 56- 81.

FONSECA, F. The Double Role of Ontologies in Information Science Research. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 58, n. 6, p. 786-793, Feb. 2007.

FRIGG, R.; HARTMANN, S. **Models in Science.** (2006). Disponível em: <<http://plato.stanford.edu/entries/models-science/>>. Acesso: 18 jul. 2008.

OPDAHL, A. L.; HENDERSON-SELLERS, B. A template for defining enterprise modeling constructs. **Journal of database management, Lincoln.** v. 15, n. 2, p. 39-73, Apr. / Jun. 2004.

GANDON, F. **Distributed artificial intelligence and knowledge management; ontologies and multi-agent systems for a corporate semantic web.** 2002. 483f. Tese (Scientific Philosopher Doctorate Thesis in Informatics) - Doctoral School of Sciences and Technologies of Information and Communication, INRIA and University of Nice, Nice, 2002.

GANGEMI, A. et al. **Understanding top-level ontological distinctions.** (2001). Disponível em: <<http://www.loa-cnr.it/Papers/IJCAI2001ws.pdf>>. Access: 20 Jan. 2003.

GENESERETH, M. R.; NILSSON, L. **Logical foundation of AI.** San Francisco: Morgan Kaufman, 1987. 405p.

GILCHRIST, A. **Thesauri, taxonomies and ontologies; an etymological note.** (2003). Disponível em: <<http://dois.mimas.ac.uk/DoIS/data/Articles/julkokltny:2003:v:59:i:1:p:7-18.html>>. Acesso: 2 Mar. 2006.

GREEN, P.; ROSEMAN, M. (2005). Ontological Analysis of Business Systems Analysis Techniques: Experiences and Proposals for an Enhanced Methodology. In: GREEN, P.; ROSEMAN, M. (Ed.). **Business Systems Analysis with Ontologies.** Hershey: Idea Group. p.1-27.

GRENON, P.; SMITH, B.; GOLDBERG, L. **Biodynamic Ontology; Applying BFO in the Biomedical Domain.** (2004). Disponível em: <<http://ontology.buffalo.edu/medo/biodynamic.pdf>>. Acesso: 15 jan. 2008.

Gruber, T. **What is an ontology?** (1993). Disponível em: <<http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>>. Acesso: 14 set. 2002 .

GUARINO, N. **Formal ontology in information systems** (1998). Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/guarino98formal.html>>. Acesso: 03 jan. 2002.

GUARINO, N.; GIARETTA, P. Ontologies and KBs, towards a terminological clarification. In: MARS, N. (Ed.). **Towards a Very Large Knowledge Bases; Knowledge Building and Knowledge Sharing.** [S.l.]: IOS Press, 1995. p. 25-32.

GUARINO, N.; WELTY, C. **Evaluating ontological decisions with OntoClean.** (2002). Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/guarino02evaluating.html>>. Acesso: 24 mar. 2005.

GUIZZARDI, G. **Ontological Foundations for Structural Conceptual Models.** 2005. 416f. Tese (Scientific Philosopher Doctorate Thesis) - Centre for Telematics and Information Technology, University of Twente, Twente, 2005.

GUIZZARDI, G; WAGNER, G. **A Unified Foundational Ontology and Some Applications of it in Business Modeling.** (2004). Disponível em: <<http://ftp.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-125/paper2.pdf>>. Acesso: 22 Jul. 2008.

HERRE, H. et al. **General Formal Ontology; A Foundational Ontology Integrating Objects and Processes.** (2006). Disponível em: <<http://www.onto-med.de/ontologies/gfo/>>. Access: 11 Jan. 2009.

HOLTEN, R.; DREILING, A.; BECKER, J. (2004). **Ontology-driven Method Engineering for Information Systems**. Disponível em: <[http://www.wi.uni-muenster.de/is/projekte/mw-kid/pdfs/Ontology-Driven Method Engineering for Information Systems Development.pdf](http://www.wi.uni-muenster.de/is/projekte/mw-kid/pdfs/Ontology-Driven%20Method%20Engineering%20for%20Information%20Systems%20Development.pdf)>. Acesso: 10 mar. 2008.

JACOBSON, I. et al. **Object-Oriented Software Engineering; A Use Case Driven Approach**. New York : Addison-Wesley, 1992. 552p.

JARDINE, D. A. The ANSI/SPARC DBMS model. In: PROCEEDINGS OF THE 2ND SHARE WORKING CONFERENCE ON DATABASE MANAGEMENT SYSTEMS, 1976. Montreal, **Proceedings...** Amsterdam: North Holland. p.1-225.

MASOLO, C. et al. **WonderWeb Library of Foundational Ontologies; Preliminary Report**. (2003). Disponível em: <<http://wonderweb.semanticweb.org/deliverables/documents/D17.pdf>>. Acesso: 11 Jul. 2008.

MAYNARD, D.; PETERS, Y.; LI, Y. **Metrics for Evaluation of Ontology-based Information Extraction**. (2006). Disponível em: <<http://km.aifb.uni-karlsruhe.de/ws/eon2006/eon2006maynardetal.pdf>>. Acesso: 11 Feb. 2008.

MAEDCHE, A.; STAAB, S. Measuring Similarity between Ontologies. In PROCEEDINGS OF THE 13th EUROPEAN CONFERENCE ON KNOWLEDGE ACQUISITION AND MANAGEMENT, 2002. Madrid, **Proceedings...** London: Springer-Verlag, p. 251-263.

MILTON, S. **An Ontological Comparison and Evaluation of Data Modelling Frameworks**. 2000. 153f. Tese (Doctorate in Philosophy) - School of Information Systems, The University of Tasmania, Hobart, 2000.

MILTON, S.; KAZMIERCZAK, E. **An Ontology of Data Modelling Languages; A Study Using a Common-Sense Realistic Ontology**. (2004). Disponível em: <<http://www.dis.unimelb.edu.au/staff/smilton/pdf/JDM2003.pdf>>. Acesso: 17 mai. 2006.

MYLOPOULOS, J. **Conceptual Modelling and Telos**. (1992). Disponível em: <<http://www.cs.toronto.edu/~jm/2507S/Readings/CM+Telos.pdf>>. Acesso 15 dez. 2007.

OBERLE, D. et al. (2004). An Extensible Ontology Software Environment. In: STAAB, S.; STUDER, R. (Ed.). **Handbook on Ontologies**. Berlin: Springer-Verlag. p. 299-320.

OMG (Object Management Group). **UML 2.0 Infrastructure Specification**. (2003). Disponível em: <<http://www.omg.org/docs/ptc/03-09-15.pdf>>. Acesso: 3 dez. 2008.

PECKHMAN, J.; MARYANSKI, F. Semantic Data Models. **ACM Computing Surveys**, New York. v. 20, n. 3, p. 153-189, set. 1988.

REED, S. L.; LENAT, D. B. **Mapping Ontologies into Cyc**. (2002). Disponível em: <http://www.cyc.com/doc/white_papers/mapping-ontologies-into-cyc_v31.pdf>. Acesso: 20 nov. 2002.

RUMBAUGH, J. et al. **Object-Oriented Modeling and Design**. New York: Prentice Hall, 1991. 512p.

SARACEVIC, T. Interdisciplinary nature of Information Science. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 36-41, jan./abr. 1995.

SCHEER, A.W. **ARIS - Business Process Frameworks**. 3rd. New York: Springer-Verlag. 2000. 156 p.

SHANKS, G.; TANSLEY, E.; WEBER, R. Using Ontology to Validate Conceptual Model. **Communications of the ACM**, New York, v. 46, n. 10, p. 85-89, Oct. 2003.

SMITH, B. Formal Ontology, Common Sense and Cognitive Science. **International Journal of Human-Computer Studies**, Duluth. v. 43, n. 5/6. p. 641-667. Nov. / Dec. 1995.

SMITH, B. **Ontology and Informations Systems** (2003). Disponível em: <<http://www.ontology.buffalo.edu/ontology/>>. Acesso: 22 jan. 2006.

_____. **The Basic Tools of Formal Ontology**. (1998). Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=505168.505201>>. Acesso: 1 fev. 2004.

SMITH, B.; WELTY, C. **Ontology; Towards a New Synthesis**. (2001). Disponível em: <<http://www.cs.vassar.edu/~welytc/papers/fois-intro.pdf>>. Acesso: 21 mai. 2005.

SØERGUEL, D. (1997). **Functions of a thesaurus, classification and ontological knowledge bases**. Disponível em from: <<http://www.clis.umd.edu/faculty/soergel/soergelfctclass.pdf>>. Acesso: 12 dez. 2003.

SOUZA, R. R.; ALMEIDA, M. B. Representação do conhecimento: identidade ou esvaziamento da Ciência da informação? IN: ANAIS DO IV ENCONTRO IBÉRICO EDIBCIC I. **Proceedings...** Coimbra: Universidade de Coimbra. p.157-167.

SOWA, J. F. Knowledge representation; **logical, philosophical, and computational foundations**. Pacific Grove: Brooks-Cole, 2000. 594p.

SYCARA, K.; PAOLUCCI, M. Ontologies in Agent Architectures. IN: STAAB, S.; STUDER, R. (Ed.). **Handbook on Ontologies**. Berlin: Springer-Verlag, 2004. p. 343-364.

VICKERY, B.C. Ontologies. **Journal of Information Science**. v. 23, n.4. p.227-286, Jan. 1997.

VON KROGH, G.; ROOS, J. **Organizational Epistemology**. London: MacMillan, 1995, 214p.

YOUNG, J. W.; KENT, H. K. Abstract formulation of data processing problems. **The Journal of Industrial Engineering**, New York, v. 9, n. 6, p. 471-479. Nov./ Dec.1958.

WAND, Y.; WEBER, R. Mario. Bunge's ontology as a formal foundation for information systems concepts. In: WEINGARTNER, P.; DORN, J.W. G. **Studies on Mario Bunge's Treatise**. Amsterdam: Rodopi, 1990. p. 123-150.

_____. Mario Bunge's ontology as a formal foundation for information systems concepts. IN: WEINGARTNER e DORN (Ed.). **Studies on Mario Bunge's Treatise**. Amsterdam: Radopi. pp. 123-150. 1990.

_____. On the ontological expressiveness of information systems analysis and design grammars. **Journal of Information Systems**. v. 3, n. 4, p. 217-237, 1993.

WAND, Y.; STOREY, V. C.; WEBER, R. An ontological analysis of the relationship construct in conceptual modeling. **ACM Transactions on Database Systems**, New York . v. 24, n. 4, p. 494-528, 1999.

WENGER, E. **Communities of practice; learning, meaning and identity**. Cambridge: Cambrigde, 1998. 336p.

WILSON, T.D. On User studies and Information Needs. **Journal of Documentation**, v. 37, n. 1, p. 3-15, 1981.

WYSSUSEK, B.; KLAUS, H. (2005). **On the Foundation of the Ontological Foundation of Conceptual Modeling Grammars**; The Construction of the Bunge-Wand-Weber Ontology. Disponível em: <<http://kybele.escet.urjc.es/PHISE05/papers/sesionIV/WyssusekKlaus.pdf>>. Acesso: 19 jul. 2007.

Originals recebidos em: 08/12/2009

Aceito para publicação em: 21/06/2010