



Rio de Janeiro, 22 a 24 de novembro de 2023

CONSTRUINDO UMA ONTOLOGIA GIS

BUILDING A GIS ONTOLOGY

MENEGOTTO, José Luis¹

Escola Politécnica da UFRJ, jlmenegotto@poli.ufrj.br

RESUMO

O presente artigo relata a metodologia de programação de um mecanismo construtor de ontologias. Para implementar o sistema foram utilizados dois elementos: 1) um conjunto de planilhas Excel que contêm a estrutura hierárquica das asserções de classes, propriedades de objetos, propriedades de dados e instâncias para a testagem que, em conjunto, definirão a axiomática ontológica para um domínio GIS bem delimitado; e, 2) um mecanismo para o processamento das planilhas, programado em Revit dentro do ambiente Dynamo utilizado para escrever o arquivo em formato OWL (*Ontology Web Language*). A função do mecanismo é realizar a leitura das planilhas e transportar os conteúdos escrevendo-os em arquivos OWL e sintaxe Manchester. São introduzidos alguns conceitos chaves presentes em pesquisas realizadas no campo disciplinar da ciência da computação durante as décadas de 80, 90 e mais recentes. A construção da ontologia tem como objetivo integrar projetos de planejamento urbano como recurso RDF na Web-Semântica, dentro de sistemas que operem no paradigma de Dados Abertos e Conectados.

Palavras-chave: Ontologia GIS, Dados Abertos e Conectados, Web Semântica, Cidades Inteligentes.

ABSTRACT

This article reports on the programming methodology of an ontology constructor application. This API writes the ontology in OWL (Ontology Web Language). To implement the system, two elements were used: 1) a set of Excel spreadsheets that contain the hierarchical and logical structure of classes, object properties, data properties, and instances for testing purposes. These elements will define the ontological axiomatics of a defined GIS domain; and 2) a mechanism for processing spreadsheets, programmed in Revit with DesignScript language in Dynamo environment. The function of the mechanism is to read the spreadsheet content and translate it by writing it in OWL format, using the Manchester syntax. The work is introduced remembering some key concepts present in research of computer science field during the 80s

¹ MENEGOTTO, José Luis. Construindo uma ontologia GIS. In: IV SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA: SINGEORB, 2023, Rio de Janeiro. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2023.

and 90s and more recently. The construction of the ontology aims the integration with the Semantic Web, within systems that operate into the Berners-Lee's Open Linked Data paradigm.

Keywords: GIS Ontology, Open Linked Data, Semantic Web, Smart-Cities.

1 INTRODUÇÃO

Ontologias extensíveis para complementar diversos modelos de dados, como o IFC no campo do BIM ou CityGML no domínio do GIS, têm sido estudadas com maior atenção em anos recentes (BEETZ *et al*, 2009). Além de permitirem enriquecer a semântica dos projetos (AL-HAKAM, *et al*, 2020) elas possibilitam incorporar raciocínio lógico às aplicações, tornando-as mais eficientes para gerenciar dados. A formulação de ontologias tem sido um recurso amplamente utilizado nos campos da medicina, da genética e da biologia. Pesquisas bibliográficas apontam um crescente interesse pelo tema no campo do geoprocessamento (LIN *et al*, 2017). Iniciativas como a do projeto GeoDataOnt (SUN *et al*, 2019) procuram modos de alinhar ontologias heterogêneas em ambientes computacionais unificados para descrever dados geoespaciais. Também existem trabalhos no campo do BIM, como o BOT (*Building Topology Ontology*), dedicado à semântica IFC; o BROT (*Bridge Topology Ontology*) baseado em BOT, mas dedicado ao projeto de viadutos; a ontologia *Brick* que ordena a semântica de sensores e dispositivos IoT incorporados às edificações; e, o SAREF (*Smart REFerence Ontology*) (BUS *et al*, 2018).

A construção de ontologias é uma atividade originária da ciência da computação, portanto há certa dificuldade para engajar projetistas na formulação de modelos de dados semânticos utilizados em projetos urbanos. Em geral, os projetistas recebem o modelo de informação pronto e devem adaptar-se a ele. Durante a pesquisa constatou-se a falta de mecanismos programados que facilitem a tarefa de construir ontologias por parte de profissionais da área de planejamento urbano, que possuem o conhecimento dos sistemas urbanos, mas carecem dos conhecimentos necessários para montar ontologias acerca desse domínio.

1.1 Fundamento teórico

A modelagem de ontologias é uma linha de pesquisa inserida no campo da Inteligência Artificial. A definição clássica de uma ontologia é devida a Gruber, que a define como “*uma especificação explícita de uma conceptualização*” (Gruber, 1993). Além de tornar explícitos os conceitos de um domínio de conhecimento, Gruber acrescenta que, formalmente, uma ontologia é a “*declaração de uma teoria lógica*”. Em termos práticos, ontologias compartilhadas entre agentes devem definir o vocabulário necessário para permiti-lhes realizar tarefas de inteligência geral a partir de interações em interfaces informáticas do tipo “*tell and ask*”, ou seja, interfaces de afirmações e consultas sobre os objetos (Gruber, 1993). Gruber cita o trabalho de Levesque, que na década de 80 abordou o problema da representação lógica do conhecimento desde um paradigma funcional. Levesque sugeria que operações primitivas para formar aplicações complexas baseadas em bases de conhecimento passam por dois momentos: o primeiro seria o da aquisição do conhecimento e, o segundo, o aumento do conhecimento. Levesque esquematiza os momentos do seguinte modo:

- 1º Acesso ao conhecimento: *Ask: Knowledge X Query --> Answer.*
- 2º Aumento do conhecimento: *Tell: Knowledge X Assertion --> Knowledge.*

Para este artigo é importante destacar dois aspectos: 1) o termo “agente” é usado para significar agentes humanos assim como algorítmicos e, 2) os conhecimentos ontologicamente formalizados não serão fundamentados pela sua completude, mas pela sua consistência. Coincidindo com Gruber entende-se que o conhecimento adquirido pelos agentes não precisaria ser simétrico nem completo, pois cada agente poderá saber aspectos diferentes acerca do mesmo objeto (Gruber, 1993). Uma ontologia tentará expressar em linguagem de máquina e humana o que um objeto é. Para isso, é fundamental que os envolvidos num projeto ontológico possam definir e avaliar os conceitos incorporados, através de afirmações

sobre classes de objetos, as suas propriedades, as propriedades dos dados utilizados e, finalmente, pelos indivíduos concretos planejados (instâncias das classes). Por sua natureza, este processo não pode ser determinado ou fechado, mas incremental e aberto para permitir ampliar os conhecimentos já sedimentados.

2 FUNDAMENTOS DO MECANISMO CONSTRUTOR

Para implementar o mecanismo construtor de ontologias foram levadas em conta as cinco recomendações formais de Gruber: *Clareza*, *Coerência*, *Extensibilidade*, *Viés mínimo de codificação* e *Comprometimento ontológico mínimo*.

A *Clareza* recomenda que as definições conceituais sejam, no possível, necessárias e suficientes. O mecanismo programado tentou facilitar o esforço conceitual dos ontologistas, permitindo-lhes a rápida reconfiguração de classes, propriedades e relacionamentos da axiomática proposta, além de documentar cada conceito em linguagem natural. Nesta versão, o mecanismo limitou-se a documentar os termos em idioma português com o axioma "Annotations".

O segundo aspecto, a *Coerência*, diz respeito ao vínculo entre a inferência formal e as descrições informais que podem ser realizadas em linguagem natural, as quais não podem ser contraditórias. A formatação das cores da planilha permite a visualização global do campo ontológico e a integração visual com o tradicional editor de ontologias *Protégé*. Objetiva-se favorecer a adição de conceitos ordenadamente.

A *Extensibilidade* implica que a definição de cada novo termo possa ser herdeiro "monotônico"² do vocabulário previamente definido. O ordenamento das células B C D da Tabela 5, atende esta recomendação, diminuindo esforços de adaptação ou redefinição das terminologias.

A quarta recomendação solicita utilizar um *Viés mínimo de codificação*. A escolha da sintaxe Manchester (HORRIDGE, et al. 2012), atende esta questão, pois a sua escrita é quase natural. Ela utiliza uma mínima quantidade de caracteres especiais se comparada com outras sintaxes utilizadas para o mesmo fim, como Turtle, XML ou JSON.

Finalmente, o *Comprometimento ontológico mínimo* recomenda que a conceitualização dos objetos e sistemas urbanos seja o mais simples possível. Esta questão está no cerne da conceitualização dos objetos e cabe ao ontologista realizar. Acredita-se que seja o grande desafio epistemológico envolvido na definição ontológica.

Destaca-se que as recomendações de Gruber são originárias da ciência da computação, onde estudam-se mecanismos de raciocínio para sistemas artificiais ao mesmo tempo em que se concebem linguagens formais para implementar as operações de lógica matemática ou de primeira ordem. A matéria-prima dessas linguagens é composta por um indeterminado número de premissas (asserções) e um conjunto limitado de operações lógicas. Por outro lado, este trabalho nasce no campo disciplinar do planejamento urbano, o que implica mudar de nível a representação simbólica, incorporando nas asserções ontológicas o raciocínio natural de seres humanos. Em outras palavras, na construção de uma ontologia interceptam-se dois processos de raciocínio, o natural e o formal.

3 OBJETIVOS

Partindo das recomendações de Gruber explicitam-se os objetivos do trabalho.

1º objetivo: como é assumido que o conhecimento ontológico de um objeto será incompleto e expansível, faz-se necessário facilitar a revisão conceitual já sedimentada. Portanto, o mecanismo deve permitir a formulação e a reformulação de conhecimentos estabelecidos,

² Gruber utiliza esta expressão matemática entendida do seguinte modo: os conceitos englobarão membros menores do mesmo gênero ou natureza e crescerão sem afetar a estruturação da árvore ontológica.

além de ser integrado e endereçável como recurso RDF nos ambientes de conhecimento da Web-Semântica.

2º objetivo: a axiomática ontológica deve ser aberta e permitir um crescimento contínuo e ordenado de conhecimentos, uma vez que a descrição axiomática de um projeto urbano singular será construída pela sucessiva adição de conhecimentos. A base de conhecimentos aumentará conforme o processo se desenvolva no tempo. Como ponto de partida, são utilizados conhecimentos já sedimentados em domínios específicos.

3º objetivo: postular que organismos normativos como a ABNT são estratégicos para fornecer uma base ontológica inicial. Uma vez que as Normas Técnicas guardam o conhecimento acumulado pela comunidade técnica ao longo dos anos, parece ser recomendável que esse conhecimento seja traduzido e publicado em ontologias técnicas de domínio específico. O processo heurístico de descoberta de novos conhecimentos, aportados por novos projetos de planos diretores, será orientado pelas ontologias existentes e ampliado pela nova ontologia do plano diretor em pauta. Para que a integração informacional se desenvolva, ontologias ABNT são necessárias.

4 DESCRIÇÃO DO MECANISMO.

A estrutura do mecanismo foi dividida em seis folhas de uma planilha Excel com a seguinte estrutura:

4.1 Folha de Anotações de propriedades gerais da ontologia

São utilizadas duas colunas para declarar aspectos gerais de identificação da ontologia (prefixo, tema, domínio etc.) num esquema de Propriedade e Valor, colunas B-C. (Tabela 1) Como cada arquivo Excel é criado para um domínio específico, na primeira linha declara-se o prefixo ou *NameSpace* da ontologia (Urba:). Essa chave permite a incorporação da ontologia em ambientes da Web-Semântica que utilizem tecnologia RDF para vincular recursos informacionais, no paradigma de *Open Linked Data* proposto por Berners-Lee (2018).

Tabela 1 – Anotações de propriedades gerais da ontologia

A	B	C
Nº	Chave	Valor
1	PrefixoOntologia	Urba:
2	TemaOntologia	SistemasUrbanos
3	Classe	Redes

Fonte: O autor (2023)

4.2 Folha Mapa semântico de equivalências entre modelos de dados

Na coluna B do mapa semântico (Tabela 2) são listadas todas as classes de um determinado modelo de dados (p.ex. CityGML). As colunas seguintes são reservadas para estabelecer equivalências com as classes de gênero equivalente, mas que pertençam a outros modelos de dados (p.ex. OST), com uma equivalência por coluna. Sugere-se que a primeira equivalência seja a mais próxima ou direta, mas como em geral os modelos de dados podem carregar ambiguidades ou indefinições semânticas, o ontologista poderá escolher como ordenar as equivalências.

Tabela 2 – Mapa semântico de equivalências entre modelos de dados

A	B	C	D	E	F	G...
Nº	Classe GML OST IFC	Equivalência 1	Equivalência 2	Equivalência 3	Equivalência 4	Equivalência 5...
1	SpatialUnit	OST_Space	OST_Room	OST_Area	IfcSpace	Vnulo
2	AbstractNetworkFeature	OST_PipeSegments	IfcPipeSegment	Vnulo	Vnulo	Vnulo
3	AbstractNetworkFeature	OST_PlumbingEquipment	IfcSanitaryTerminal	Vnulo	Vnulo	Vnulo

Fonte: O autor (2023)

4.3 Folha Definição de classes, asserções de equivalências e anotações

As cinco primeiras colunas são reservadas para definir as Classes da ontologia ordenadas hierarquicamente em cinco níveis: SuperClasse1→SuperClasse2→SuperClasse3→SuperClasse4→Classe. A Superclasse 1 é raiz da árvore genealógica da classe definida na coluna F. A partir da coluna G quatro colunas são reservadas para estabelecer asserções sobre as classes das colunas anteriores, ordenadas em pares correspondentes (C, C+4). A SuperClasse *Urbano*, na coluna C, terá suas asserções declaradas na coluna G (Tabela 3a).

Tabela 3a – Definição de classes e asserções de equivalências

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Nº	Super Class 1	Super Class 2	Super Class 3	Super Class 4	Class	EquivalentTo: SuperClass 2	EquivalentTo: SuperClass 3	EquivalentTo: SuperClass 4	EquivalentTo: Class 5
1	Sistema	Urbano	Rede	deÁgua	Tubo	urba:tem_Nome some urba:Sistema	urba:tem_Insumo some urba:Sistema	urba:tem_Genero some urba:Rede	urba:tem_Diâmetro some urba:Tubo
2	Sistema	Urbano	Rede	deÁgua	Conexão	Vnulo	Vnulo	Vnulo	urba:tem_Forma some urba:Conexão
3	Sistema	Urbano	Rede	deÁgua	Válvula	Vnulo	Vnulo	Vnulo	urba:tem_Função some urba:Válvula

Fonte: O autor (2023)

As anotações seguem a mesma lógica nas colunas L a P (Tabela 3b). É reservada a coluna K (Key) para um identificador individual.

Tabela 3b – Definição das anotações (continuação Tabela 3a)

K	L	M	N	O	P
Key	Anotações Classe 1	Anotações Classe 2	Anotações Classe 3	Anotações Classe 4	Anotações Classe 5
Key1	É uma infraestrutura básica da cidade	Trata-se de uma Rede urbana	Abastece Insumo essencial para a população	É de água potável	Conduz o insumo para abastecimento.
Key2	É uma infraestrutura básica da cidade	Trata-se de uma Rede urbana	Abastece Insumo essencial para a população	É de água potável	Define o traçado geométrico da rede
Key3	É uma infraestrutura básica da cidade	Trata-se de uma Rede urbana	Abastece Insumo essencial para a população	É de água potável	Regula os fluxos da rede

Fonte: O autor (2023)

4.4 Folha de Classes disjuntas

Nela define-se as disjunções de classes (Tabela 4). Por exemplo, uma classe PXYZ deve ser disjunta de uma Classe PGEO. Embora elas definam posicionamentos, a primeira refere-se a posicionamentos cartesianos XYZ, enquanto a segunda a posicionamentos geográficos com coordenadas de Latitude e Longitude, portanto, as suas condições particulares, como o ordenamento invertido das coordenadas Latitude correspondendo com Y e Longitude com X ou a precisão numérica, as diferenciam. Podem existir disjunções entre categorias de modelos de dados diferentes.

Tabela 4 – Classes disjuntas

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Nº	Disjunta 1	Disjunta 2	Disjunta 3	Disjunta 4	Disjunta 5	Disjunta 6	Disjunta 7	Disjunta 8	Disjunta 9	Disjunta 10
1	Categoria KML	Categoria CityGML	Categoria IFC	Categoria OST	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo
2	PXYZ	PGEO	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo

Fonte: O autor (2023)

4.5 Folha de Classes, propriedades, características, domínios, faixas e anotações

São definidas as Propriedades dos Dados (colunas B-C), dos Objetos (coluna D) com as suas características ontológicas de “Funcional”, “Simétrica/Antissimétrica”, “Transitiva” e “Inversa de” (colunas E-H), os domínios e faixas de aplicação em classes (colunas I-M), as unidades das propriedades (coluna N) e as anotações terminológicas (coluna O).

Tabela 5 – Classes, propriedades, características, domínios, faixas e anotações

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Nº	SuperData Prop	Data PropValue	Objeto Prop	Func.	Sime.	Trans.	Inver.	Domain 1	Domain 2	Domain 3	Range 1	Range 2	Data Range	Anotações
1	Tubo	Tem_sistema	Tem_sistema	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Vnulo	anotação
2	Tem_sistema	deAgua	deAgua	Sim	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Rede	Vnulo	Vnulo	Tubo	Vnulo	xsd:boolean	anotação
3	Tem_sistema	CEDAE	deEsgoto	Sim	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Rede	Vnulo	Vnulo	Tubo	Vnulo	xsd:boolean	anotação
4	Tem_sistema	DN200	Conecta_a	Sim	Vnulo	Vnulo	Vnulo	Rede	Vnulo	Vnulo	Tubo	Vnulo	xsd:boolean	anotação

Fonte: O autor (2023)

4.6 Folha de Indivíduos instanciados

Nesta folha declaram-se as instâncias reais das classes definidas (Tabela 6). Destaca-se que enquanto as Folhas 2, 3, 4 e 5 representam conteúdos ideais típicos e possíveis de um objeto urbano, as Folhas 1 e 6 correspondem aos objetos concretos reais de um projeto ou sistema urbano. A extração desses valores é feita a partir da leitura dos parâmetros ingressados em modelos CAD-BIM ou mapas GIS que estejam sendo elaborados.

Tabela 6 – Indivíduos instanciados

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Nº	Indivíduo	Classe	Facts 1ª	Facts 1b	Facts 1c	Facts 1d	Facts 1e	Facts 1f
1	TUB_5609	Tubo	Tem_Diâmetro	DN200	Verdadeiro	Vnulo	Vnulo	Vnulo
2	TUB_5609	Tubo	Tem_Sistema	Esgoto	Verdadeiro	Vnulo	Vnulo	Vnulo
4	TUB_5609	Tubo	Tem_Companhia	CEDAE	Verdadeiro	Vnulo	Vnulo	Vnulo
5	TUB_5609	Tubo	Tem_Material	FoFo	Verdadeiro	Vnulo	Vnulo	Vnulo

Fonte: O autor (2023)

5 CONCLUSÕES

O mecanismo construtor está sendo programado para integrar a intencionalidade humana com mecanismos algorítmicos e formais de raciocínio artificial. O objetivo do construtor de ontologias GIS é facilitar o trabalho de formulação da ontogênese dos projetos aos planejadores urbanos, permitindo-lhes acoplar em sistemas de informação as características essenciais de cada projeto de modo ordenado, além de integrar-se com bases de conhecimento existentes, pois ontologias têm uma natureza modular. Como resultado, a aplicação gera arquivos OWL, legíveis por algoritmos e de fácil leitura por parte de agentes humanos. O código fonte e arquivos OWL resultantes podem ser consultados no seguinte repositório: <https://github.com/JLMenegotto/OntologiaBIM>.

Os arquivos OWL gerados podem ser abertos em editores de ontologias, como o *Protégé*. Dentro dessas aplicações, serão executados processos de verificação da coerência ontológica e de verificação das inferências lógicas não declaradas. Após essa fase de testes, os arquivos OWL podem ser publicados *on-line* e ficarem disponíveis para serem utilizados como base de conhecimentos que servirá a diversos propósitos, alimentando novos algoritmos programados à medida e de acordo com usos específicos.

REFERÊNCIAS

- AL-HAKAM, H.; SCHERER, R. J. **Integration of BIM-related bridge information in an ontological knowledgebase**. Conference: LDAC 2020 - 8th Linked Data in Architecture and Construction Workshop, 2020.
- BEETZ, J.; LEEUWEN, J. V.; VRIES, B. IfcOWL: **A case of transforming EXPRESS schemas into ontologies**. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing. v. 23, n. 1, p. 89-101, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0890060409000122>

BERNERS-LEE, T. **Linked Data**. Disponível em: <https://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>. Acesso em: 30 nov, 2018.

BUS, N.; ROXIN, A.; PICINBONO, G.; FAHAD, M. **Towards French Smart Building Code: Compliance Checking Based on Semantic Rules Nicolas**. Proceedings of the 6th Linked Data in Architecture and Construction Workshop. London, United Kingdom, 2018.

GRUBER T. R. **Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing**. International Journal Human-Computer Studies 43, p.907-928. Substantial revision of paper presented at the International Workshop on Formal Ontology, Padova, Italy, 1993.

HORRIDGE, M.; PATEL-SCHNEIDER, P. F. OWL 2 **Web Ontology Language Manchester Syntax (Second Edition)**. W3C Working Group Note 11, 2012.

LEVESQUE, H. J. **Foundations of a functional approach to knowledge representation**. Artificial Intelligence, 23, 155-212, 1984.

LIN L., LIU, Y., ZHU, H., YING, S., LUO, Q., LUO, H., KUAI, X., XIA, H., SHEN, H. **A bibliometric and visual analysis of global geo-ontology research**. Computers & Geosciences. Vol. 99, Feb. 2017.

SUN, K.; ZHU, Y.; PAN, P.; HOU, Z.; WANG, D.; LI, W. & SONG, J. **Geospatial data ontology: the semantic foundation of geospatial data integration and sharing**. Big Earth Data 2019, Vol. 3, N°3, 269–296