

Ontologias Aplicadas ao Desenvolvimento de SIGs: Estudo de Caso sobre Zoneamento Municipal

Alfredo Luiz Pessanha Manhães
Neide Santos
Oscar Luiz Monteiro de Farias

UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação - PPGE
Concentração em Geomática (Mestrado)
Rua São Francisco Xavier, 524
Pavilhão João Lyra Filho - 5º Andar, Bloco D, sala 5028
20.550-000 - Maracanã - Rio de Janeiro RJ
alfredomanhaes@yahoo.com, neide@ime.uerj.br, fariasol@eng.uerj.br

Resumo : A crescente produção de informação geográfica, com níveis de detalhamento cada vez mais ricos e de difícil representação tem dificultado a integração de informações. Ontologias têm sido citadas em diversos trabalhos como uma forma de favorecer a troca de informações entre diferentes sistemas de informação, inclusive aqueles que lidam com informação geográfica, os SIGs. Estas ontologias podem servir de base para o desenvolvimento de SIGs, apoiando-se nos recursos oferecidos pela Orientação a Objetos, com o objetivo de promover a interoperabilidade e a reutilização de classes modeladas a partir de elementos existentes no espaço geográfico. Este trabalho apresenta uma proposta de ontologia para aplicação no zoneamento da cidade de Macaé, favorecendo a interoperabilidade semântica e auxiliando no Cadastro Técnico Municipal.

Palavras-chave: Ontologia, Sistemas de Informação Geográfica, Cadastro Técnico Municipal.

Abstract : To growing output of geographical information, with richer levels of detail, not so easy to represent, has created problems to integrate information. Ontologies have been cited in diverse works as a way to favor the exchange of information between information systems, including those that deal with geographical information, called GIS. These ontologies can serve as a basis for the development of GIS, supporting itself in the resources offered by Object Orientation, with the objective of promote interoperability and reuse of classes modeled from existing elements in the geographical space. This work presents a proposal of ontology for application in the law of zoning for the city of Macaé, favoring semantic interoperability and supporting the Municipal Cadastre.

Keywords: Ontology, Geographic Information System, Municipal Cadastre.

1. Introdução

A produção crescente de dados e informações pelos sistemas de informação existentes, tem estimulado o aparecimento de diferentes formatos de arquivos. Comportamento semelhante também ocorre com sistemas que lidam com dados georeferenciados, que, a cada momento, se tornam mais complexos, em função dos avanços nas diversas tecnologias que dão suporte à sua obtenção, armazenamento, processamento e distribuição. Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) não fogem a essa regra, ganhando melhores recursos e riqueza de funções para manipulação de dados geográficos. No entanto, a interoperabilidade entre diferentes SIGs e formatos de dados, sejam eles alfanuméricos ou geográficos, está longe ainda de ser atingida em toda sua plenitude (Vckovski, 1999 apud Fonseca 1999).

Interoperabilidade pode ser definida (Yan, 1998 apud Lima, 2002) como *“a capacidade de compartilhar e trocar informações e processos entre ambientes heterogêneos, autônomos e distribuídos”*. É a capacidade de um sistema de se comunicar com outro sistema, que pode ser semelhante ou não. A interoperabilidade pode ser analisada sob dois aspectos:

- Sintático: refere-se ao esquema próprio que cada sistema apresenta para armazenar e documentar seus dados.
- Semântico: está relacionado ao significado do dado para cada sistema.

As ontologias podem ser utilizadas para tentar resolver problemas de interoperabilidade semântica entre sistemas de informação geográfica. Este trabalho discute o uso de uma ontologia aplicada à Lei de Zoneamento do Município de Macaé, que permita a modelagem de classes para implementação de um SIG baseado em ontologias.

2. Ontologias

Historicamente o termo ontologia tem origem no grego *“ontos”*, ser, e *“logos”*, palavra. O filósofo grego Aristóteles, em seus estudos sobre Metafísica, referiu-se à ontologia como *“o estudo do ser enquanto ser”* (Branquinho, 2004). O verbete **ontologia** aparece no dicionário Aurélio como *“parte da filosofia que trata do ser humano enquanto ser, isto é, do ser concebido como tendo uma natureza comum que é inerente a todos e a cada um dos seres”*.

A palavra ontologia foi adotada na ciência da computação e associada aos estudos de Inteligência Artificial, sendo definida por vários pesquisadores de forma diferenciada. Gruber (1993) a definiu como *“uma especificação explícita de uma conceitualização”*, definição que foi questionada por Guarino (1998) que propôs ontologia como *“uma teoria lógica para relacionar o significado pretendido de um vocabulário formal, isto é, seu comprometimento com uma conceitualização particular do mundo”*. Segundo Fonseca et al (2000) *“ontologias são teorias que especificam um vocabulário relativo a um domínio. Este vocabulário define entidades, classes, propriedades, predicados e funções e as relações entre esses componentes”*.

Uma ontologia pode ser entendida (Parreiras, 2004) como uma descrição explícita de um domínio, ou ainda, um vocabulário comum relacionado a um entendimento compartilhado onde são descritos: (1) Conceitos, (2) Propriedades e atributos do conceito, (3) Restrições às propriedades e atributos e (4) Instâncias.

2.1. Classificação das ontologias

As ontologias são classificadas por Guarino (1997) sob duas dimensões: (1) o seu nível de detalhamento e (2) o nível de dependência de uma tarefa em particular ou ponto de vista. A primeira dimensão trata de ontologias extremamente ricas e detalhadas, que estão mais próximas da semântica esperada em um vocabulário, em oposição a outras mais simples, que tem uma dependência maior da compreensão do usuário sobre o contexto ao qual se refere à ontologia.

A segunda dimensão distingue ontologias de alto nível, de domínio, de tarefas e de aplicação, que estão representadas na figura 1 e são descritas a seguir:

- Ontologias de Alto Nível (de topo): descrevem conceitos gerais, como espaço, tempo, matéria, objeto, evento, ação etc, que são independentes de um problema particular ou domínio.
- Ontologias de Domínio: descrevem um vocabulário relacionado a um domínio genérico, como medicina, direito, cadastro técnico etc.
- Ontologias de Tarefas: descrevem uma tarefa ou uma atividade genérica, como diagnóstico, vendas, etc, pela especialização de termos introduzidos na ontologia de alto nível.
- Ontologias de Aplicação: descrevem conceitos que dependem tanto de um domínio específico como de uma tarefa específica, e que geralmente são uma especialização de ambos.

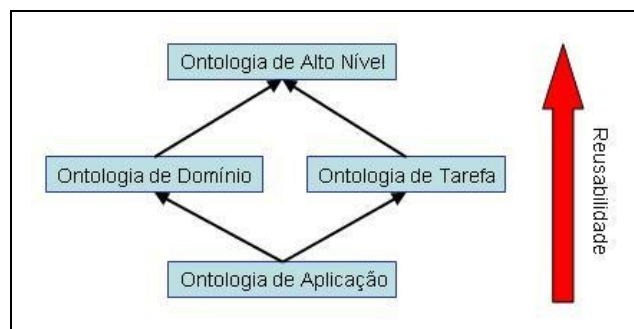


Figura 1 - Tipos de ontologias. As setas representam relações de especialização.
Adaptado de Guarino (1997)

Além dessas diferentes visões, Guarino (1998) faz distinção entre ontologias não-refinadas e refinadas. Uma ontologia não-refinada é caracterizada por um número mínimo de axiomas e tem por objetivo ser compartilhada por um grupo de usuários que estejam em consenso relativamente a uma determinada visão do mundo, sendo também chamada de *online*. Por outro lado, uma ontologia refinada tem um grande número de axiomas e necessita de uma linguagem muito expressiva, sendo chamada de *offline*.

De acordo com Pinho e Goltz (2001, apud Smith e Mark, 1998) objetos geográficos podem dividir-se em dois tipos: *Bona Fide* e *Fiat*. O primeiro tipo reúne objetos que possuem uma delimitação física de seus limites aceita de forma razoavelmente consensual entre pessoas de culturas diferentes, como uma estrada, uma montanha, ou um lago. Já os *Fiats* referem-se a objetos que têm seus limites abstratos, projetados dentro do espaço geográfico, independente das descontinuidades do mundo real. Os *Fiats* podem ser divididos em:

- *Fiats and vagueness*: São objetos geográficos onde os limites estão dispersos no espaço.
- *Consensus fiats*: São objetos fiats que têm sua existência aceita de forma consensual pelos habitantes de uma determinada área.
- *Legal fiats*: São objetos que têm seus limites definidos por algum artifício legal, como um lote, a divisão de bairros de um município, etc.
- *GIS fiats*: São objetos *fiats* que são criados utilizando-se da lógica dos GIS.

De acordo com Novello (2002) há relacionamentos que são mais utilizados na representação de ontologias: a taxonomia (“é um tipo de”), a partonomia (“é parte de”), a mereologia (teoria “parte-todo”), a cronologia (precedência entre conceitos) e a topologia (teoria de limite e fronteira).

Os princípios básicos que devem ser seguidos para desenvolver uma ontologia (Gómez-Pérez e Benjamins, 1999) são:

- Clareza e objetividade, ou seja, os termos apresentados na ontologia devem ser acompanhados de definições objetivas e também de documentação em linguagem natural;
- Completeza, onde uma definição deve expressar todas as condições necessárias e suficientes para expressar um termo, sendo preferida a uma definição parcial;
- Coerência, para que as inferências sejam consistentes e de acordo com as definições;
- Extensibilidade monotônica máxima, para permitir a inclusão de novos termos sem que haja necessidade de revisão das definições existentes;
- Mínimo compromisso ontológico, para permitir que sejam definidas tão poucas suposições quanto possíveis sobre o mundo a ser modelado, permitindo que as especializações e instanciações da ontologia sejam definidas com liberdade;
- Princípio da distinção ontológica, isto é, as classes definidas na ontologia devem ser disjuntas, sem superposição de conceitos;
- Diversificação das hierarquias para aproveitamento máximo dos mecanismos de herança múltipla;
- Modularidade para minimizar o acoplamento entre os módulos;
- Minimização da distância semântica entre conceitos similares, de forma a agrupá-los e representá-los sob as mesmas primitivas;
- Padronização dos nomes sempre que possível.

As ontologias estão sendo aplicadas em áreas onde surgiu a necessidade de comunicação contextualizada. Agentes baseados em ontologias vêm sendo testados em diversos campos, como comércio eletrônico, gestão de conhecimento, *workflow* e tratamento inteligente de informação.

2.2. Vantagens na utilização de ontologias

As ontologias tornam possível definir uma infra-estrutura para integrar sistemas inteligentes ao nível conceitual (do conhecimento) (Novello, 2002), nível este que é independente do nível de implementação. Sua utilização traz as seguintes vantagens:

- Colaboração: possibilitar o compartilhamento do conhecimento entre os membros interdisciplinares de uma equipe.
- Interoperação: facilitar a integração da informação, especialmente em aplicações distribuídas;
- Informação: ser usada como fonte consulta e de referência do domínio;
- Modelagem: ser representadas por blocos estruturados que podem ser reusáveis na modelagem de sistemas no nível de conhecimento.
- Reuso: permitir que domínios de conhecimento sejam reutilizados.

3. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser definido segundo Santos (2003 apud Santos, 1987) como “conjunto de tecnologias de coleta e tratamento das informações espaciais e de desenvolvimento e uso de sistemas que as utilizam”. Destacam-se como principais características de um SIG (Câmara et al, 1996):

- Integrar, numa base de dados única, informações espaciais obtidas a partir de diversas fontes de dados, como base cartográfica, censo, cadastro urbano e rural, imagens fornecidas por sensoriamento remoto e aerofotogrametria, redes e modelos digitais de terreno (MDT);
- Oferecer ferramentas computacionais que permitam a combinação dos diversos tipos de informação por intermédio de algoritmos de manipulação e análise, assim como consulta, recuperação, visualização e impressão dos dados georeferenciados.

Dados georeferenciados podem ser representados na forma gráfica por pontos, linhas e polígonos, e também na forma numérica ou alfanumérica (letras e números), que detalham e apresentam fenômenos geográficos. Em síntese, o dado georeferenciado descreve a localização do fenômeno geográfico associando-o a uma posição na superfície do planeta.

3.1. Estrutura de um SIG

Um SIG pode ser dividido em componentes ou subsistemas (Câmara et al, 1996), conforme o esquema mostrado na figura 2:

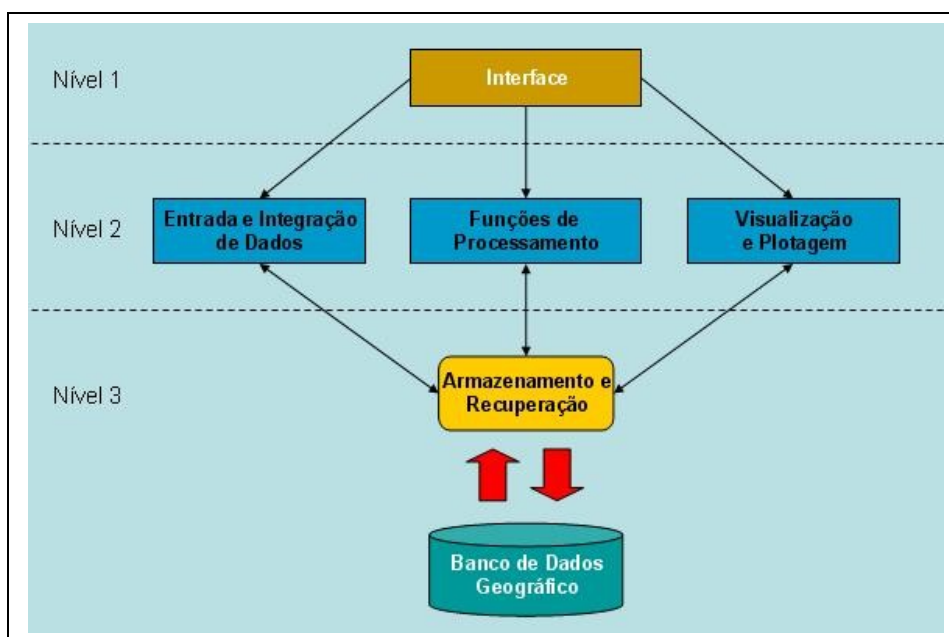


Figura 2 – Componentes de um SIG.
Fonte: adaptado de Câmara et al (1996).

- Nível 1: a interface com o usuário contempla as diretrizes de controle e operacionalização do sistema, sendo este o nível que está mais próximo do usuário final;
- Nível 2: correspondente à entrada e integração de dados, funções de processamento, visualização e plotagem, é o nível responsável pelo processamento dos dados de entrada e saída, possibilitando a edição, análise e visualização de dados;
- Nível 3: permite o gerenciamento da base de dados geográficos, o armazenamento e a recuperação de dados espaciais, sendo o nível mais interno do sistema.

Para que um SIG possa armazenar dados geográficos é necessário levar em consideração que o banco de dados tenha condições de tratar os diversos componentes da informação geográfica (Crhisman, 1997): atributo, espaço e tempo. Esses componentes permitem, respectivamente, responder questões como “o quê?”, “onde?” e “quando?”, embora o aspecto temporal não seja ainda bem explorado nos SIGs.

Um sistema de gerência de banco de dados geográficos (SGBDG) é um componente fundamental de um SIG, responsável por armazenar, manipular e recuperar os tipos de dados geográficos. Os SGBDG devem garantir que as propriedades fundamentais de SGBD convencionais sejam aplicáveis a dados geográficos. Estas propriedades incluem três requisitos importantes (Câmara 1994):

- Eficiência: acesso e modificação de grandes volumes de dados.
- Integridade: controle de acesso por múltiplos usuários.
- Persistência: manutenção de dados por longo tempo, independentemente dos aplicativos que acessam o dado.

Os dados armazenados no banco de dados geográficos do SIG podem ser de natureza descritiva ou convencional (dado alfanumérico) e espacial, conforme mostra a figura 3:

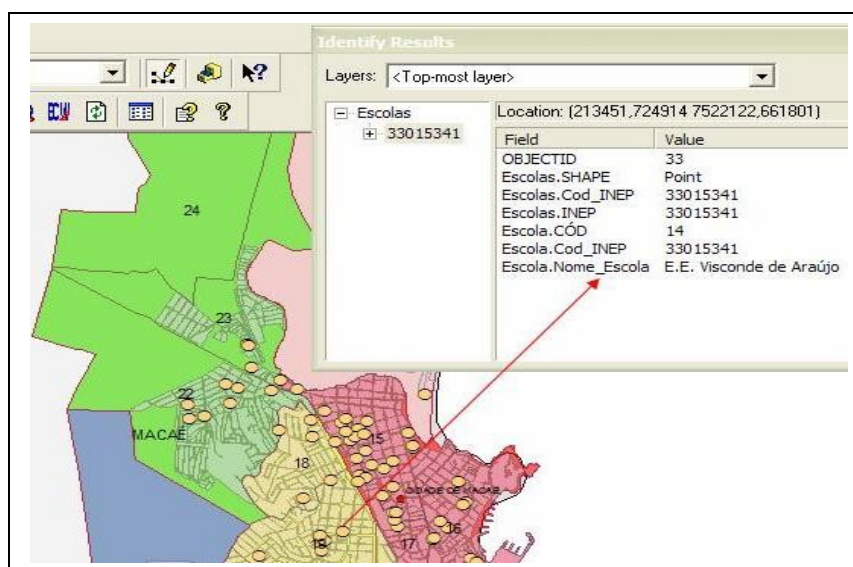


Figura 3 – Dados alfanuméricos e espaciais em um SIG.
Fonte: adaptado de Manhães (2005).

Os dados convencionais procuram descrever algumas características que existem nos objetos espaciais. No Cadastro Técnico pertencente a uma cidade atributos como nome da rua, número do lote, nome do proprietário, são exemplos. Por outro lado, os dados espaciais são caracterizados pela localização geográfica sobre a superfície terrestre em certo instante, e estão associados a variáveis como latitude, longitude etc, e são armazenados com base em um sistema de coordenadas. Dados deste tipo são modelados no SIG para representar polígonos, linhas, pontos ou objetos complexos, como por exemplo, uma rede de esgoto ou malha rodoviária.

Tanto a documentação quanto a administração dos dados passam pelo uso de metadados, que podem ser definidos como uma abstração dos dados, ou ainda, dados de um nível mais alto que descrevem dados de um nível inferior. Os metadados ficam armazenados no catálogo do SGBD (Elmasri, 2004), e apresentam uma descrição concisa da estrutura do banco de dados e suas restrições, e é a partir daí que as informações serão processadas, atualizadas e consultadas. Caso não seja estabelecida uma estratégia

para administração da documentação do banco de dados, isso poderá trazer com o decorrer do tempo, problemas de inconsistência à base.

As operações de consulta e manipulação dos dados georeferenciados são, em essência, as duas grandes funções de um SIG. São operações que permitem extrair informações e realizar simulações do mundo real, buscando entender seu comportamento e até mesmo prever situações futuras.

3.2. SIGs baseados em Ontologias

As ontologias podem servir de ponto de partida para a construção de SIGs, caracterizando o que é conhecido como SIG baseado em ontologias (Guarino, 1998). As informações estruturadas na forma de classes na Ontologia são mapeadas utilizando-se as técnicas de orientação a objetos, permitindo a integração de informação e a reutilização das classes desenvolvidas entre diferentes sistemas. Um SIG baseado em ontologias é formado (Fonseca, 2000) por um editor de ontologias, um servidor de ontologias, algumas ontologias especificadas formalmente e por classes derivadas de ontologias, onde o editor tem a função de especificar a ontologia (figura 4), além das demais funções encontradas em SIG's tradicionais.

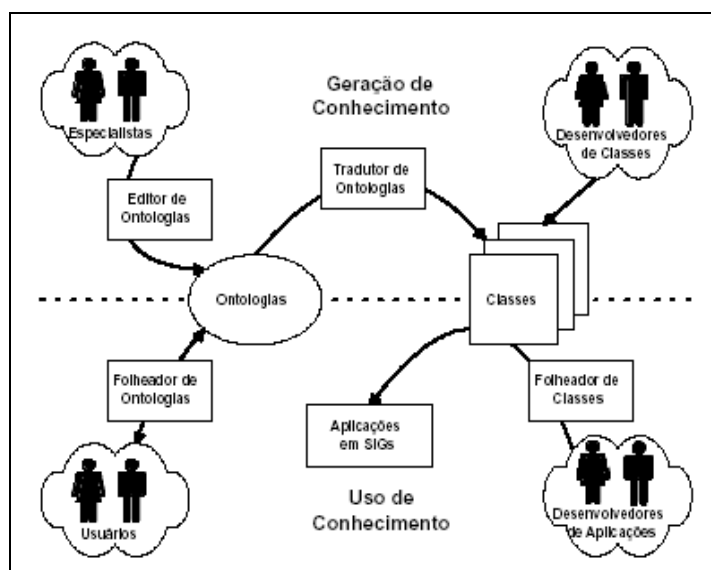


Figura 4 – Representação de SIG baseado em Ontologias.

Fonte: Fonseca (2002).

O editor produz como resultado a ontologia propriamente dita, ou seja, a informação estruturada, além de fornecer também um conjunto de classes, que representam o conhecimento sobre o contexto. O servidor de ontologias tem a função de colocar à disposição dos interessados os metadados referentes ao conhecimento produzido, e nesse nível, fazer a comunicação com o SIG utilizando um mediador. Os mediadores têm a responsabilidade de extrair informações do SIG e instanciar essas classes.

Há duas classes importantes para o desenvolvimento de sistemas baseados em ontologias: Classes de Usuário e Classes de Ontologia. As Classes de Usuário pertencem ao nível das Ontologias de Aplicação e são bem mais específicas que as Classes de Ontologia, que pertencem ao nível Ontologias de Alto Nível, de Domínio e de Tarefas, sendo mais genéricas (Guarino, 1998).

4. Ontologia aplicada ao Zoneamento de Macaé-RJ

O município de Macaé situa-se no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro. A Lei 1959/99 trata do Zoneamento da Cidade de Macaé, e de acordo com o artigo 1º, seus objetivos são:

- Adequar o uso do solo às suas características naturais, buscando a preservação e integração ao meio ambiente;
- Estimular o uso mais adequado dos terrenos, tendo em vista a saúde, segurança e bem-estar da população;
- Regular o uso dos terrenos e das construções, para os diversos fins;
- Disciplinar a área das construções, sua localização e ocupação nos lotes;
- Evitar a concentração e dispersão excessiva da população, buscando o necessário equilíbrio e melhor

uso da infra-estrutura urbana.

O Art. 7º dessa Lei define Zona como “Área definida por esta Lei, compreendendo um ou mais lotes, e onde os usos devem sujeitar-se às normas previstas”. Ficou estabelecida a subdivisão do território do município em zonas que foram classificadas de acordo sua finalidade, a saber: Residencial, Expansão Urbana, Comercial, Industrial, Especial e Rural.

A lei também estabelece os seguintes parâmetros necessários à identificação de cada zona: Uso do Lote (residencial uni familiar ou multi familiar, comercial ou misto), Lote mínimo, Frente mínima do lote, Coeficiente de aproveitamento do lote, Taxa de ocupação máxima do lote e Afastamentos (frontal, lateral e fundos).

4.1. Construção da ontologia

Após a análise das informações sobre o Zoneamento fornecidas pela Lei nº 1959/99, foi selecionado o *software Protégé*, um editor de ontologias e *frameworks* baseado em Java para construção de bases do conhecimento, de código aberto e gratuito. Ele está disponível gratuitamente em <http://protege.stanford.edu>.

O processo de construção foi realizado em duas etapas, sendo a primeira para edição da ontologia de topo e a segunda, para a de aplicação. A ontologia de nível de topo apresenta um grupo de classes e subclasses estruturadas em relações taxonômicas desde o nível de Elemento Genérico até País. Deste ponto em diante são utilizadas relações de partonomia até se chegar ao nível de Zona, que poderia ainda gerar outras subclasses. As ontologias de topo e de aplicação estão representadas, respectivamente, pelas figuras 5(a) e 5(b).

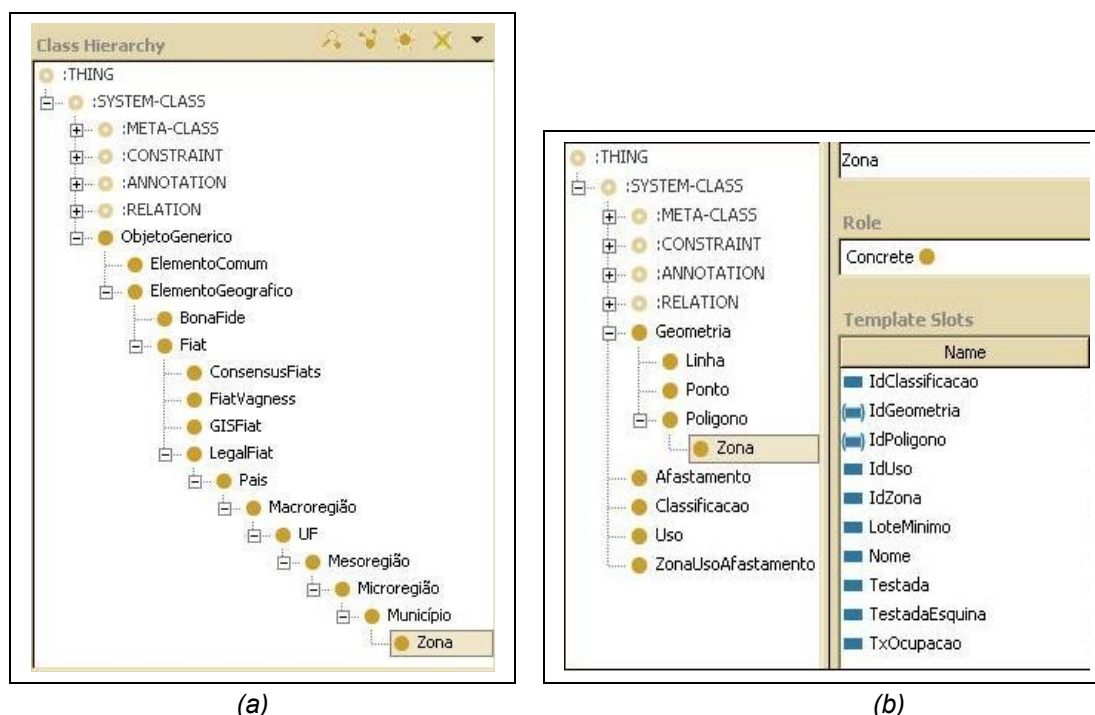


Figura 5 – Ontologias de nível de topo (a) e de aplicação (b) para o zoneamento do município de Macaé.

Uma das características do *Protégé* é permitir que a ontologia desenvolvida possa ser exportada em diversos formatos de arquivo, como *Ontology Language Overview (OWL)*, *Resource Description Framework (RDF)*, *Extensible Markup Language (XML)* e *Hypertext Markup Language (HTML)*. Esses formatos têm favorecido o intercâmbio de informações e gerenciamento de metadados, dando suporte ao desenvolvimento de pesquisas sobre *Web Semântica*, como pode ser observado na página do *World Wide Web Consortium – W3C*, em <http://www.w3.org/2001/sw>, organização responsável pelo desenvolvimento de normas em ambiente *Web*.

O uso de *XML* cresce a cada dia, e vem se firmando como padrão para armazenamento e troca de dados. Diversos mecanismos para promover a interoperabilidade foram criados e propostos a partir do padrão

XML, como é o caso da *Geographic Markup Language (GML)* que é específica para dados geográficos (OGC, 2006).

Após a construção da ontologia de aplicação, foi utilizada a ferramenta de exportação do *software* para geração de código XML, conforme mostrado na figura 6.

```

- <class>
  <name>Zona</name>
  <type>:STANDARD-CLASS</type>
- <own_slot_value>
  <slot_reference>:ROLE</slot_reference>
  <value value_type="string">Concrete</value>
</own_slot_value>
<superclass>Poligono</superclass>
<template_slot>IdZona</template_slot>
<template_slot>Nome</template_slot>
<template_slot>LoteMinimo</template_slot>
<template_slot>Testada</template_slot>
<template_slot>TestadaEsquina</template_slot>
<template_slot>TxOcupacao</template_slot>
<template_slot>IdClassificacao</template_slot>
<template_slot>IdUso</template_slot>
</class>

```

Figura 6 – Trecho do código XML da ontologia de aplicação

As classes resultantes do desenvolvimento da ontologia de aplicação são representadas na figura 7.

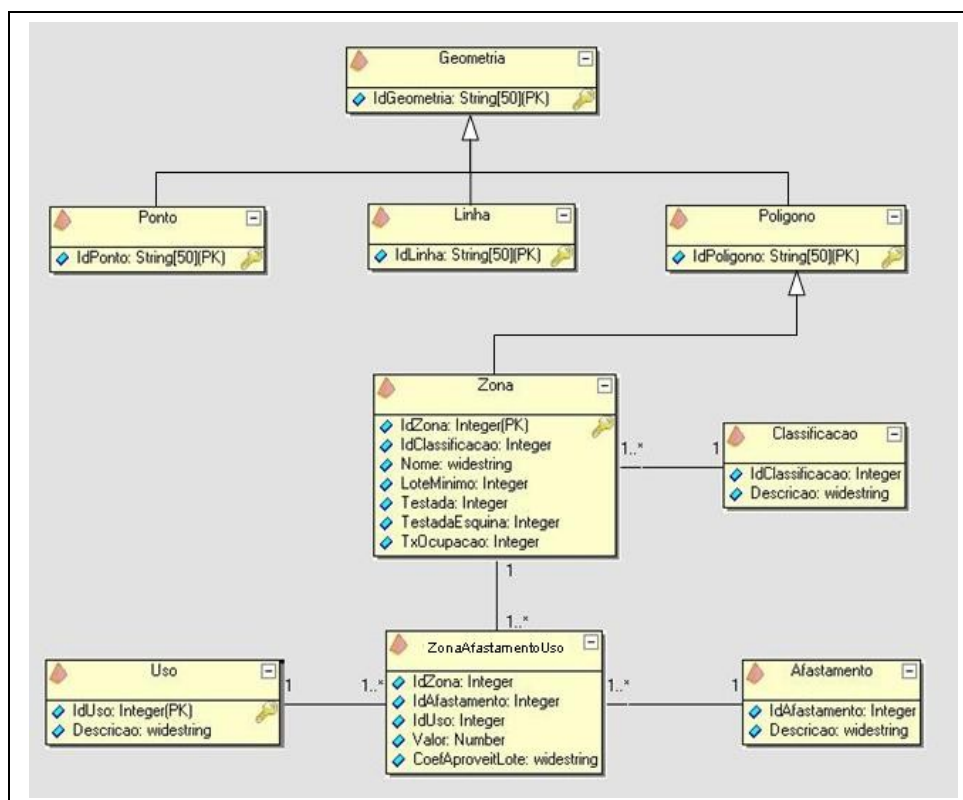


Figura 7 – Diagrama de Classes do Zoneamento.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou uma proposta de ontologia para aplicação no zoneamento da cidade de Macaé. As ontologias podem servir para tentar resolver problemas de interoperabilidade semântica em sistemas de informação geográfica.

5.1. Considerações finais

O desenvolvimento de uma ontologia para o zoneamento não é uma atividade trivial. Apesar de existirem alguns trabalhos com propostas para a construção de ontologias, ainda não há consenso sobre uma metodologia consagrada para essa tarefa. Os diversos elementos do mundo real mantêm entre si relações muito complexas, e que dificilmente podem ser representadas integralmente por ontologias. Antes de se proceder à construção de uma ontologia é de suma importância que suas fronteiras fiquem bem estabelecidas, já que não é possível uma única ontologia abordar por completo, todas as nuances de um determinado objeto geográfico.

Os SIGs são ferramentas importantes na coleta, armazenamento e análise de informação geográfica. A construção de ontologias que sirvam de base para o desenvolvimento de sistemas desse tipo mostra ser uma alternativa interessante, já que é possível delimitar o contexto para que o SIG reflita, de forma mais específica, apenas os objetos necessários a uma dada análise espacial.

A utilização dos conceitos de Orientação a Objetos para o mapeamento de classes oriundas da ontologia desenvolvida é uma estratégia importante para a construção de SIGs, pois permite a reutilização dessas classes em diferentes sistemas.

5.2. Trabalhos futuros

Para trabalho futuros que dêem sequência aos assuntos abordado neste artigo, podem ser citados:

- O uso de código XML para apoiar o gerenciamento de metadados em SIGs.
- A construção de um SIG em plataforma Java utilizando as classes geradas na ontologia.
- A construção de uma ontologia de aplicação para o mapeamento de objetos geográficos presentes no Cadastro Técnico Municipal, com base na Lei de Ocupação e Uso de Solo do município.

6. Bibliografia

Branquinho, João. *Objecto e método da metafísica: metafísica logicamente disciplinada*. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2004.
Disponível em http://www.criticanarede.com/fil_objectodametafisica.html.

Câmara, G. *Análise de Arquiteturas para Banco de Dados Geográficos Orientados a Objetos*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Tese de Doutorado. 1994.

Câmara, G. et al. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. Campinas: Instituto de Computação - UNICAMP, 1996.

Elmasri, R; Navathe, S.B. *Sistemas de Banco de Dados*; São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005.

Fonseca, Frederico et al. *Ontologias e Interoperabilidade Semântica entre SIGs*. São Paulo: Anais do II Workshop Brasileiro de Geoinformática, 2000.
Disponível em <http://www.spatial.maine.edu/~max/GeoInfo2000.pdf>.

Freitas, Frederico L. G. *Ontologias e a Web Semântica*. Santos: Universidade Católica de Santos, 2003.
Disponível em <http://www.inf.unisinos.br/~renata/cursos/topicosv/ontologias-ws.pdf>.

Gómez-Pérez, A; V.R. Benjamins. *Overview of knowledge sharing and reuse components: Ontologies and problem-solving methods*, in International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-99), Workshop on Ontologies and Problem-Solving Methods (KRR5), V.R. Benjamins, et al., Editors. 1999: Stockholm, Sweden.
Disponível em <http://www.cs.toronto.edu/~mkolp/lis2103/1-gomez.pdf>.

Gruber, T. R. *A Translation Approach to Portable Ontology Specifications*. Knowledge Acquisition, 5(2), 199-220, 1993.

Disponível em ftp://ftp.ksl.stanford.edu/pub/KSL_Reports/KSL-92-71.ps.gz.

Guarino, N. *Understanding, Building, and Using Ontologies*. Padova: LADSEB-CNR, National Research Council, 1996.

Disponível em <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW96/guarino/guarino.html>.

Guarino, N. *Semantic Matching: Formal Ontological Distinctions for Information Organization, Extraction, and Integration*. Frascati: Summer School on Information Extraction, July 14-19, Italy, 1997.

Disponível em <http://www.ldv.uni-trier.de:8080/ldvpage/naumann/Ontologie/GUARINO/SCIE97.pdf>.

Guarino, N. *Formal Ontology and Information Systems*. Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, 6-8 June (1998). Amsterdam.

<http://www.loa-cnr.it/Papers/FOIS98.pdf>.

Lima, P. *Intercâmbio de Dados Espaciais: Modelos, Formatos e Conversores*. MsC., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) São José dos Campos, (2002).

Disponível em http://www.dpi.inpe.br/teses/lima/dissertacao_lima.pdf.

Manhães, Alfredo L. P. *Geomática Aplicada à Administração Municipal com o Uso de Sistemas de Informação Geográfica*. Macaé: Anais do Congresso Brasileiro de Cartografia, 2005.

Milstead, J. and S. Feldman. "Metadata: Cataloging by any other name." Online Magazine, 1999.:

Disponível em <http://www.onlineinc.com/onlinemag/metadata/>.

NISO - National Information Standards Organization. *Understanding Metadata*. 2004

Disponível em <http://www.niso.org/standards/resources/UnderstandingMetadata.pdf>.

Novello, Taisa Carla. *Ontologias, Sistemas Baseados Em Conhecimento e Modelos de Banco de Dados*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2002.

Disponível em http://www.inf.ufrgs.br/~clesio/cmp151/cmp15120021/artigo_taisa.pdf.

Parreiras, Fernando Silva. *Introdução à construção de ontologias*. In: Simpósio Mineiro de Sistemas de Informação, 1, 2004, Belo Horizonte.

Disponível em <http://www.fernando.parreiras.nom.br/palestras/engeonto.pdf>.

Pinho, C. M. D; Goltz, E. *Construção de ontologias espaciais: o lote urbano*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2003.

Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser303/lote.pdf>.

Prefeitura Municipal de Macaé. *Lei de Zoneamento do Município de Macaé – Lei nº 1959 de 01 de novembro de 1999*.

Santos, L.K.S. *Estruturando e Implantando um GIS*. São Paulo: XX GISBrasil – Congresso de Geotecnologias, Curso C4. 2003.

University of Wyoming. *What is metadata?* Metadata Education Project Online.

Disponível em <http://www.sdvc.uwyo.edu/metadata/what.html>.

Open Geospatial Consortium Inc (OGC). *GML in JPEG 2000 for Geographic Imagery (GMLJP2) Encoding Specification*. 2006.

Disponível em <http://www.opengeospatial.org/specs/>