

Sistemas de Informação Geográficos Baseados em Ontologias

Frederico T. Fonseca¹

*Prodabel - Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte
National Center for Geographic Information and Analysis
Department of Spatial Information Science and Engineering*

Max J. Egenhofer²

*National Center for Geographic Information and Analysis
Department of Spatial Information Science and Engineering
Department of Computer Science*

PALAVRAS-CHAVE

Ontologias – Interoperabilidade – Orientação a objetos – Sistemas e informação geográficos

RESUMO

Desenvolver um sistema de informações geográficas urbano é uma tarefa difícil para um governo municipal. Além da dificuldade de se representar o complexo ambiente urbano, existe ainda a necessidade de se reaproveitar dados e conhecimento. Este artigo apresenta uma proposta de uma arquitetura para um Sistema de Informações Geográficas (SIG) baseado em ontologias. Ontologias são o principal componente neste tipo de sistema. O sistema sugerido aqui usa um repositório de objetos geográficos interoperáveis. Os objetos são extraídos de múltiplos bancos de dados independentes. Um mapeamento baseado em orientação a objetos é usado para criar os objetos a partir das ontologias. Esta abordagem proporciona um alto grau de interoperabilidade e permite integração parcial de informações quando a integração completa não é possível. Este sistema permite ainda o reaproveitamento de classes já desenvolvidas, incorporando assim nos novos sistemas o conhecimento existente em outros SIG urbanos.

¹ E-mail – fred@spatial.maine.edu

² E-mail – max@spatial.maine.edu

1. INTRODUÇÃO

Ontologia é uma antiga disciplina que vem desde o estudo feito por Aristóteles sobre as categorias e a metafísica. O primeiro uso de ontologias em sistemas de computação foi através dos sistemas de inteligência artificial. Depois disto o uso de ontologias foi proposto como a base de um sistema de informação nos chamados sistemas de informação baseados em ontologias [Gua 98]. Este artigo apresenta uma proposta para uma arquitetura de sistemas de informação geográficos baseados em ontologias (SIG-O). O sistema é baseado no uso de componentes de software extraídos de ontologias. A tradução de ontologias em componentes de software é feita através do uso de orientação a objetos. Este tipo de tradução proporciona um alto grau de intercâmbio de informações e conhecimento.

A necessidade de intercâmbio de informações geográficas esta bem documentada [Ogi 96]; [Vck 98]; [GEFK 99]. No passado a troca de informações geográficas era feita simplesmente através do envio de mapas pelo correio ou através de fitas magnéticas. Hoje, no mundo dos satélites e da Internet dois fatores são fundamentais com relação à troca de informações: primeiro o volume de informações coletadas sobre a superfície da terra aumentou demais e segundo, as modernas redes de computadores deram um caráter muito mais dinâmico à troca de informações. Os sistemas de informação geográficos devido a sua alta complexidade estão atrasados com relação à interoperabilidade e embora eles tenham sido caracterizados como uma ferramenta de integração, a interconexão entre estes sistemas está longe de ter sido alcançada [VBS 99].

A base de um SIG-O está nas comunidades de geoinformação. Este conceito foi introduzido em [MB 96] onde essas comunidades foram definidas como sendo grupo de usuários que usam um mesmo modelo de objetos geográficos. [BPKR 99] reviu este conceito dizendo que essas comunidades são grupos de usuários e produtores de informações geográficas que usam a mesma ontologia para descrever os fenômenos do mundo geográfico. Podemos citar com exemplo dessas comunidades os departamentos de uma prefeitura ou diversos municípios dentro de um Estado. A idéia básica de um SIG-O é que esses grupos de usuários se reúnam e especifiquem as suas ontologias usando um editor de ontologias. Esse editor vai gerar uma representação formal dessas ontologias. Estas representações serão traduzidas em componentes de software, como por exemplo, classes em linguagem Java [GM 95]. Esses componentes serão usados para desenvolver aplicações e para representar dados extraídos de bancos de dados geográficos. O reuso desses componentes possibilita o reaproveitamento por um grupo de usuários do conhecimento adquirido por outro grupo. A adesão a este tipo de sistema é voluntária, e nós vemos como motivação para os usuários a possi-

bilidade de reuso de software e a necessidade de troca de informações geográficas.

A pesquisa sobre interoperabilidade semântica está bastante difundida hoje não só na comunidade de ciência da computação, mas também entre os pesquisadores de SIG [BGLR 90]; [KS 96]; [Bis 97]; [Gah 99]; [Har 99]. Também o tema linguagens para extração de objetos geográficos é bastante estudado [HLS 88]; [AS 91]; [CF 91]; [Ege 94]; [VJ 99]. Este artigo se concentra na proposta de uma arquitetura que permita a implementação de sistemas de informação geográficos baseados em ontologias.

O restante deste artigo é organizado da seguinte maneira: a seção 2 faz uma revisão sobre interoperabilidade, orientação a objetos e ontologias do ponto de vista de SIG. A seção 3 descreve a arquitetura para um SIG-O. A seção 4 dá um exemplo de como a arquitetura proposta pode ser usada. A seção 5 apresenta conclusões e possíveis extensões a este trabalho.

2. INTEROPERABILIDADE, OBJETOS E ONTOLOGIAS EM SIG

A pesquisa sobre interoperabilidade é motivada pela crescente heterogeneidade em sistemas de computação. A pesquisa sobre integração de bancos de dados vem desde o meio dos anos 80 [BLN 86] e agora interoperabilidade está se tornando uma ciência da integração [Wie 99]. Heterogeneidade em SIG não é uma exceção, mas a complexidade e riqueza dos dados geográficos e a dificuldade de sua representação em sistemas de computação criam problemas específicos para a interoperabilidade em SIG.

A literatura mostra diversas propostas de integração de dados, desde federações de bancos de dados com esquemas integrados [SL 90] e uso de orientação a objetos [Ken 94]; [PGW 95] até mediadores e ontologias [Wie 94]. Nesta seção revemos trabalhos sobre interoperabilidade, objetos e ontologias.

2.1 SIG e Objetos

A visão do mundo geográfico baseada em objetos é discutida e estabelecida em [GR 88] e [EF 92]. Uma descrição dos principais conceitos que suportam a abordagem orientada a objetos e sua aplicação a informações georeferenciadas é dada em [Wor 94].

A visão de objetos aplicada ao estudo da superfície da terra evita problemas como o particionamento horizontal e vertical dos dados geográficos. Além disto, uma representação baseada em objetos oferece diversas visões de uma mesma entidade através do uso de herança múltipla. Objetos também são úteis em operações de aproximação e afastamento, porque quando se aproxima, o que se vê são novos objetos que compõem um objeto mais com-

plexo, em vez de se ver apenas um objeto com mais detalhes. Isto é conseguido com agregação, como no caso de uma casa que é constituída de paredes, ou um lote constituído de muros [Kuh 91].

2.2 Interoperabilidade e Objetos

O conceito de orientação a objetos como suporte para soluções de interoperabilidade é usado tanto no aspecto de implementação como no aspecto de modelagem. [SK 95] destacam a habilidade dos objetos em representar estruturas de dados complexas e suportar especificações de comportamento como razões para o uso de orientação a objetos para interoperabilidade. [Ken 94] considera que a orientação a objetos tem algumas características que são úteis para aumentar a compatibilidade de informações. Entre essas características está o uso da identidade única de cada objeto, para ligar diferentes fontes de informação sobre a mesma entidade e reconciliar diferentes níveis de abstração através do uso de subtipos.

Geralmente os clientes preferem receber informações em um formato orientado a objetos quando da integração de múltiplas fontes de informação, porque os objetos proporcionam uma agregação de informação em unidades que fazem mais sentido do que informações dispersas. Essas unidades podem ter ligações hierárquicas com outras classes, proporcionando um modelo válido para um mundo complexo [PGW 95]; [Wie 98].

2.3 Interoperabilidade em SIG

As primeiras tentativas de se obter interoperabilidade em SIG foram através da tradução direta de formatos de dados de um fabricante de software para outro. Uma variação nesta prática foi o aparecimento de formatos padrões intermediários. Esses formatos intermediários podem levar à perda de qualidade na informação, como é o caso das traduções usando o formato DXF – um formato de exportação utilizado por programas do tipo CAD [DF 94]. Formatos alternativos que evitam a perda de informação geralmente são mais complexos como o *Spatial Data Transfer Standard* (SDTS) e *The Spatial Archive and Interchange Format* (SAIF). No Brasil, o formato IIG é usado para transferência de dados em alguns órgãos públicos [Dav 95]. Uma proposta de modernização do formato SDTS usando uma estrutura de objetos que integra uma estrutura dinâmica – uma interface para o padrão OpenGIS e para CORBA – foi apresentada em [AHTM 98]. Uma ampla discussão sobre formatos de transferência de informações geográficas pode ser encontrada em [Sal 99].

Outra iniciativa para o intercâmbio de dados geográficos é o consórcio OpenGIS, que é uma ampla aliança de órgãos governamentais, institutos de pesquisa, desenvolvedores de software e integradores de sistemas. O obje-

vo desse consórcio é definir conceitos relativos a Sistemas Abertos de Informação Geográfica e desenvolver um conjunto de requisitos, padrões e especificações que o suportem. A intenção é encorajar os desenvolvedores de software e integradores a aderirem a estes padrões e assim criar, através do tempo, ferramentas, bancos de dados e sistemas de comunicação que maximizem a utilidade de sistemas e recursos e usufruam dos avanços tecnológicos. Conforme o guia OpenGIS, o objetivo final é construir uma tecnologia que vai possibilitar ao desenvolvedor de aplicações usar qualquer dado, função ou processo geográfico disponível na rede, dentro de um único ambiente e um único fluxo de trabalho[Gar 96]; [MB 96].

O OpenGIS usa três conceitos básicos:

- A consideração de que todos os dados, processos e servidores são objetos baseados em uma tecnologia de objetos distribuídos;
- Um modelo de objetos geográficos para informações espaciais, baseado no SAIF e compatível com SDTS (*Spatial Data Transfer Standard*) e DIGEST (padrão para troca de dados espaciais entre instituições militares);
- Serviços a serem implementados fornecendo ligações entre o modelo de objetos e formatos de dados privados, definindo uma interface padrão para cada elemento do modelo (dados, funções e processos).

Apesar de iniciativas como SDTS, SAIF, e OpenGIS, o uso de padrões como o único esforço importante para se obter interoperabilidade não é completamente aceito. Já que a heterogeneidade aparece espontaneamente de um mercado livre, não é possível bani-la por decreto [EP 90]. O uso de tradutores semânticos em abordagens dinâmicas é uma ferramenta mais poderosa do que as abordagens atuais baseadas em padrões [Bis 97].

Outro ponto importante em interoperabilidade de SIG é a semântica. A complexa questão do significado dos dados e sua descrição é apresentada em [Bis 98], onde são mostrados três tipos de heterogeneidade:

1. heterogeneidade semântica, onde um fato pode ter mais de uma descrição;
2. heterogeneidade esquemática, onde um objeto do mundo real é representado por diferentes conceitos em um banco de dados; e
3. heterogeneidade sintática, onde os bancos de dados usam diferentes paradigmas.

2.4 Sistemas de Informação Baseados em Ontologias

A diferença entre ontologia no sentido filosófico e na maneira como o termo é usado pela comunidade de Inteligência Artificial é apresentada em [Gua 98]. Ontologia como uma ferramenta de engenharia descreve uma certa realidade com um vocabulário específico, usando um conjunto de premissas.

sas de acordo com o sentido intencional das palavras do vocabulário. No sentido filosófico, ontologia é um sistema específico de categorias que reflete uma visão específica do mundo. [Gru 92] define uma ontologia como uma especificação explícita de uma conceituação. [Gua98] estende a definição apresentada em [Gru 92]: uma ontologia é uma teoria lógica que corresponde ao significado intencional de um vocabulário formal, ou seja, um comprometimento ontológico com uma conceituação específica do mundo. Os modelos intencionais de uma linguagem lógica usando este vocabulário são controlados por seu comprometimento ontológico. Este comprometimento e a conceituação subentendida são refletidas na ontologia pela aproximação desses modelos intencionais.

Podemos falar de Sistemas de Informação baseados em ontologias quando uma ontologia explícita tem um papel central na construção e uso de um sistema. Nesses sistemas uma ontologia é chamada de ontologia de aplicação e ela é uma especialização de uma ontologia de domínio e uma ontologia de tarefas [Gua 98].

O uso de ontologias como suporte à interoperabilidade é discutida na próxima seção, onde é apresentada uma arquitetura para um SIG-O. Uma detalhada análise do uso de ontologias como suporte à interoperabilidade pode ser encontrada em [MKIS 98] e [WJ 99].

3. UMA ARQUITETURA PARA SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICOS BASEADOS EM ONTOLOGIAS

Considerando que uma visão do mundo baseada em objetos é adequada para representar entidades geográficas e que a tecnologia de objetos pode ser usada como uma ferramenta para interoperabilidade, estamos propondo um *container* de objetos interoperáveis para conter os objetos geográficos. Já que os objetos carregam tanto dados como operações, o *container* pode obter sua funcionalidade a partir dos próprios objetos e colocar essa funcionalidade disponível para os usuários. A arquitetura básica de um SIG-O é um *container* de objetos interoperáveis que se comunica com o usuário final e com repositórios de dados geográficos, comandando a extração de objetos geográficos e repassando os resultados para o usuário final.

Esta proposta apresenta diversas questões:

- Em relação aos objetos:
 - Que tipo de objetos são estes?
 - Quais são suas interfaces?
 - Como eles são gerados?
 - Como eles se comunicam com o *container*?

- Em relação ao *container*:
- Como o *container* pode suportar objetos de diferentes fontes?

Para responder às questões relacionadas aos objetos, estamos propondo a criação de classes através de um mapeamento orientado a objetos a partir de diversas ontologias. Usando este mapeamento, os objetos que ficam dentro do *container* são derivados de ontologias de aplicação. [Wie 98] considera em aberto a discussão de que a integração de dados de diversas fontes deva ser feita no servidor, no cliente ou na camada de software intermediário, às vezes chamado *middleware*. Na arquitetura proposta a geração de objetos pode ser feita nos repositórios de dados, no processador da linguagem de pesquisa ou no *container*, contanto que os objetos sejam derivados de uma ontologia de aplicação. O uso de diversas ontologias como fonte para geração de objetos é possível através do uso de herança múltipla. Esta técnica de geração de classes permite integração parcial de informações quando uma integração completa não é possível. O uso combinado de diversas ontologias e herança múltipla supera as fraquezas na hierarquia de tipos e conflitos na assinatura de operações apontada por [NM 99]. O uso de múltiplas ontologias é fundamental no desenvolvimento de um sistema com múltiplos geradores e consumidores de informação [She 99]. A herança múltipla leva também a múltiplas visões de um mesmo objeto.

Para responder à questão relativa ao *container*, nós propomos uma arquitetura distribuída baseada em objetos. Esse tipo de arquitetura permite que objetos gerados por diferentes linguagens e compilados por diferentes compiladores, possam se comunicar através de protocolos de mensagens padronizadas. Essas arquiteturas implementam altos níveis de interoperabilidade entre objetos distribuídos [Lew 98]. A implementação do *container* pode ser feita usando a arquitetura de objetos do *Object Management Group* (OMG). Uma solução completa em Java ou uma combinação Java/CORBA pode ser usada para implementar os objetos.

3.1 Esquema

Os principais componentes da arquitetura são as ontologias –*container*–, os repositórios de dados e a interface de usuário (Figura 1). A arquitetura inclui ainda um coordenador que integra todos os componentes. O coordenador tem como funções encontrar serviços na rede e redirecioná-los para os outros componentes. Estes serviços podem incluir uma ferramenta de procura de informações geográficas baseada em ontologias [FS 99] ou um servidor de linguagem de pesquisa.

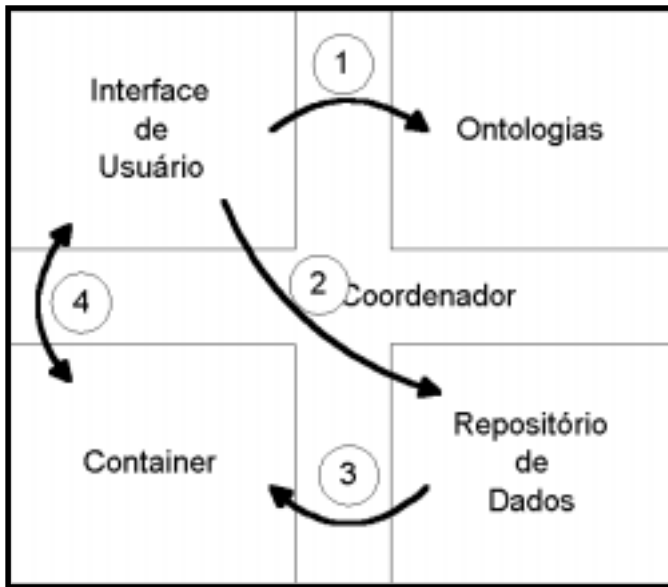


Figura 1 - Esquema da arquitetura de um SIG-O

3.1.1 Ontologias

Ontologias aqui são vistas como estruturas dinâmicas – orientadas a objeto – que o usuário pode folhear. Um servidor de ontologias que contém um catálogo padrão está disponível para o usuário pesquisar e navegar. [KS 96] apresentam uma solução similar para o folheamento de ontologias do ponto de vista de engenharia de software. A função básica deste componente é encontrar ontologias, permitir que o usuário possa folheá-las e selecionar os elementos necessários para executar uma determinada tarefa. Uma vez que o escopo geográfico da pesquisa esteja definido e as classes escolhidas, o servidor de ontologias faz a ligação com os repositórios de dados.

3.1.2 Container

Os objetos ficam dentro do *container*. A idéia de um mapa como um *container* é apresentada em [TF 97]. Enquanto em [TF 97] um *container* pode guardar outros tipos de estruturas, aqui um *container* suporta apenas objetos. Visões podem ser derivadas a partir desse *container* representando as diferentes interfaces dos objetos. Cada classe pai corresponde a um papel que o objeto pode representar. O modelo para implementar objetos que representam diversos papéis foi sugerido em [Per 90]. Por exemplo, uma instância da classe lote pode ser vista como um lote ou um polígono. Embora uma instância de uma classe possa ser vista através de múltiplas interfaces, ela nunca perde sua identidade. O *container* guarda o objeto único e coloca

à disposição do usuário suas diversas interfaces. Um objeto tem de se adaptar a várias visões e relacionamentos através de mudanças de classes. Por exemplo, um objeto poligonal que tem de se fundir com um outro objeto que pertence a uma de suas superclasses, tem que se adaptar fazendo o papel desta superclasse. Assim a operação pode ser concluída. Informações nunca são perdidas em conversões, porque elas ocorrem apenas nas representações dos objetos e não em sua forma original.

3.1.3 Objetos

Os objetos geográficos implementam ou herdam todos os métodos das classes das quais eles são derivados. Já que estamos propondo uma arquitetura de objetos distribuídos, a implementação dos objetos pode se basear no uso de serviços externos para a execução de seus métodos. Por exemplo, quando da implementação de um objeto setor censitário, um desenvolvedor de software tem de escrever um método para o cálculo de população de uma área que cobre diversos setores censitários. Em vez de desenvolver esse método, o desenvolvedor pode chamar um serviço que tenha uma implementação sofisticada deste cálculo. Do ponto de vista do usuário, o método é executado localmente, mas na realidade ele é processado usando métodos e serviços localizados em outro servidor.

Como em CORBA e Java, onde todas as classes são derivadas de uma classe básica, nós propomos aqui que todas as classes sejam derivadas de uma classe única chamada Objeto. Esta classe tem dois métodos básicos que são fundamentais para o sistema, os métodos para cima() e a partir de(). O método para cima, quando aplicado a um determinado papel representado pelo objeto, retorna um objeto da classe que deu origem a este papel. O método a partir de() gera uma instância da própria classe a partir de uma instância de uma classe superior. Esses dois métodos proporcionam a navegação por toda a árvore de ontologias.

Uma vez que os objetos tenham sido extraídos dos bancos de dados, o usuário necessita de ferramentas para manipulá-los. Os métodos básicos da classe Objeto estão sempre disponíveis. Os demais métodos vão depender dos objetos selecionados. Se o usuário selecionar apenas um, então todos os métodos públicos deste objeto estarão disponíveis. Mas o sistema proposto se mostra mais interessante, quando objetos de mais de uma classe são selecionados. Neste caso, os métodos das classes superiores que os objetos dividem estão disponíveis para a aplicação de operações combinadas. O ponto de interseção das classes superiores é escolhido para a disponibilização dos métodos.

3.2 Visões

Já que o sistema tem um projeto baseado em objetos, foi escolhido o método de herança múltipla para a implementação de classes. Isto leva a múltiplas visões dos dados. Um objeto pode desempenhar vários papéis. Esses papéis representam visões para o usuário. As visões são derivadas das múltiplas ontologias e mapeadas uma a uma a partir delas. Essas visões também podem ser combinadas gerando novas visões. Por exemplo, pode-se ter uma visão geométrica de uma cena, uma visão baseada no aspecto de rede ou apenas uma visão de dados alfanuméricos (Figura 2).

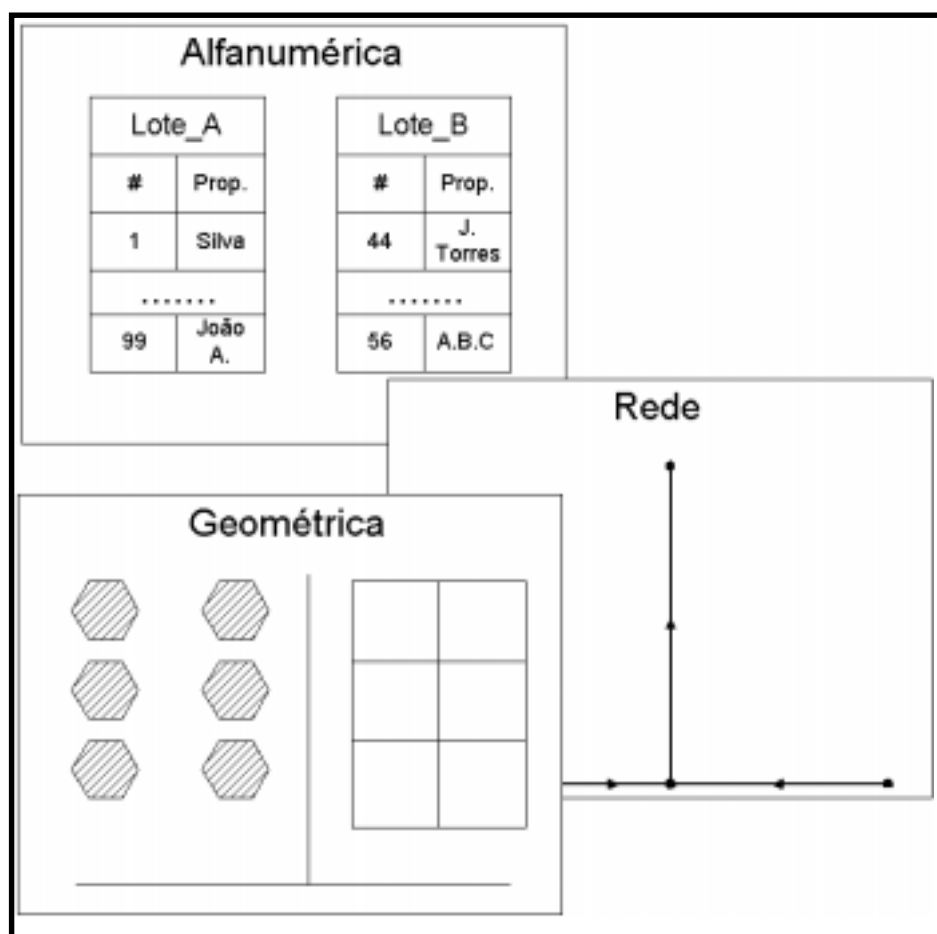


Figura 2 – Múltiplas visões

Todas as visões de um objeto são ligadas diretamente ao objeto original no repositório de dados. Existe apenas um objeto, mas ele pode ser visto com muitas faces. Usamos aqui o conceito de identidade do *Object Management Group* (OMG), em que cada objeto tem uma identidade única, distinta e inde-

pendente de suas características. A identidade do objeto é única, embora suas características possam mudar durante a sua vida.

4. USANDO UM SIG-O

Nesta seção introduzimos um problema hipotético e mostramos como ele poderia ser resolvido em uma futura implementação de um SIG-O.

Imagine o seguinte cenário. Existe a necessidade de se construir uma avenida mais larga sobre uma já existente. Essa avenida está localizada na divisa de duas cidades. Para que o Legislativo estadual possa alocar recursos para este projeto é necessário saber o valor dos imóveis a serem desapropriados (Figura 3).

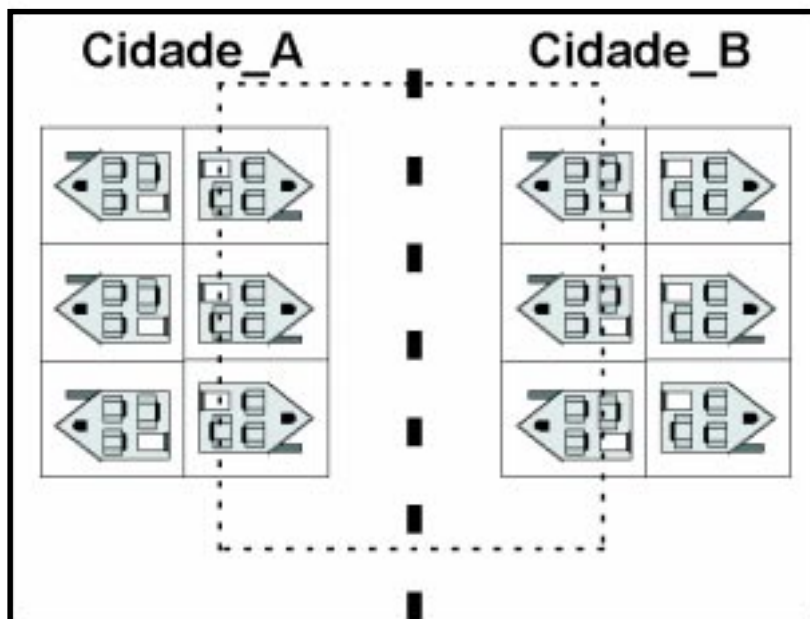


Figura 3 – Um problema de interoperabilidade

Para se resolver este problema é necessário:

1. Gerar um uma área envolvendo todos os imóveis a serem desapropriados;
2. Selecionar os imóveis que estão dentro dessa área;
3. Somar os valores e obter o total.

Para se fazer este processamento usando um SIG é necessário ter acesso aos bancos de dados geográficos das duas cidades através de uma rede, selecionar e recuperar as entidades desejadas e então aplicar as operações geo-

gráficas de definição de área e seleção de objetos. Os passos necessários para se fazer isto são:

- Localizar os bancos de dados geográficos das duas cidades;
- Procurar nesses bancos de dados lotes, imóveis e logradouros;
- Definir a área geográfica da pesquisa;
- Extrair os objetos geográficos que atendem aos critérios estabelecidos;
- Exibir os objetos extraídos;
- Identificar o logradouro da nova avenida;
- Aplicar a operação geográfica de *buffer*;
- Selecionar os lotes dentro da área;
- Somar os valores do lotes e imóveis.

Para começar a usar um SIG-O, o usuário ativa o coordenador, que por sua vez lhe fornece uma interface. Através dessa interface o usuário define o escopo geográfico de sua pesquisa. Uma vez definido o escopo, o usuário pode pesquisar as ontologias disponíveis para esta área geográfica definida. A ordem de pesquisa pode ser invertida, com o usuário primeiro definindo as classes de interesses dentro das ontologias, e depois definindo uma área geográfica de pesquisa. Esta pesquisa nas ontologias pode ser feita usando-se uma ferramenta de busca semântica, e o escopo geográfico pode ser definido usando-se um serviço oferecido na rede com este propósito, por exemplo, através de mapas-chave. O resultado dessa pesquisa deve ser um apontador para repositórios de dados na rede, onde estejam disponíveis os dados necessários para o usuário executar a sua tarefa. Uma vez feita essa pesquisa, os objetos geográficos podem ser extraídos e armazenados no *container*. O coordenador pergunta aos objetos sobre as suas classes. De posse destas, o coordenador pesquisa as ontologias para descobrir os métodos disponíveis para cada classe e os pontos de interseção. Os métodos disponíveis são colocados à disposição do usuário através da interface.

No exemplo citado no início desta seção, consideramos que as cidades A e B têm os dados geográficos necessários para se resolver o problema. Ambas têm lotes e linhas de centro de logradouros armazenados em diferentes SIG. No entanto, os modelos de representação de lotes das duas cidades são diferentes. A cidade A não teve recursos suficientes para digitalizar os limites dos lotes, então eles estão representados apenas como um ponto colocado sobre seu centro. Na cidade B os lotes estão digitalizados com seus limites formando um polígono. As duas cidades têm linhas de centro de logradouro (Figura 4).

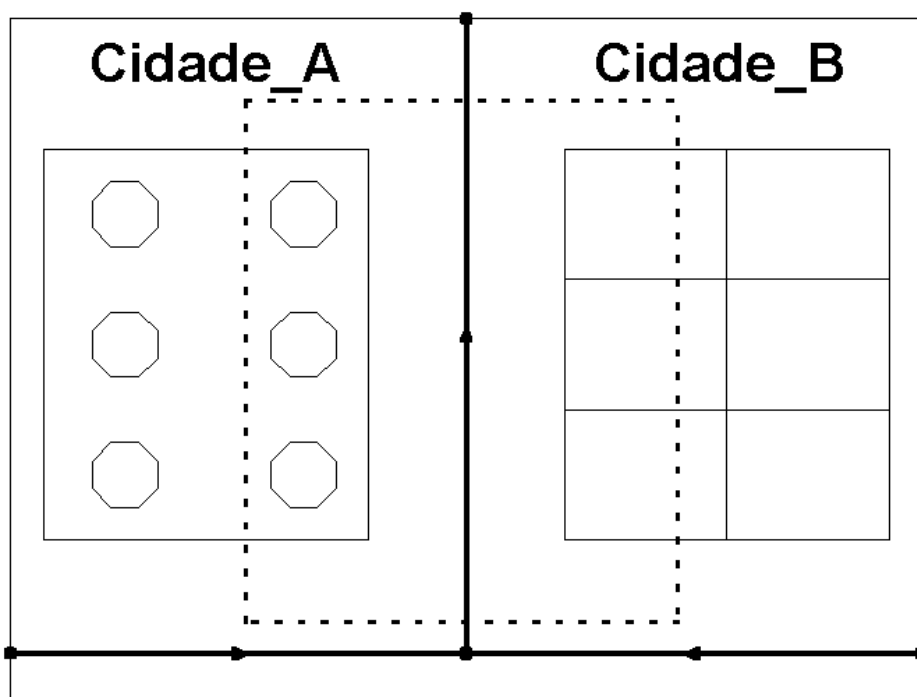


Figura 4 – Representações diferentes de lotes

Para se criar as classes loteA da cidade A e loteB da cidade B, duas ontologias foram usadas: uma ontologia urbana e uma ontologia geométrica (Figura 5). A classe loteA foi derivada de Lote e de Símbolo. A classe loteB foi derivada de Lote e Polígono. Neste exemplo, duas características dos objetos foram usadas; primeiro o papel geométrico é necessário para responder à questão “inserido na área”, que é a pergunta feita pela operação de *buffer*. O segundo papel, Lote, é usado para responder à pergunta “valor do imóvel”, que vai ser usado para se calcular o valor das propriedades.

Neste caso, a utilidade da navegação na árvore hierárquica fica clara. O problema só pode ser resolvido usando-se métodos que estão disponíveis nos pontos de interseção: valor em Lote e posição em Geometria. O método Valor é usado para a função de soma, e o método Posição é usado para responder se a geometria do objeto está dentro da área determinada ou não.

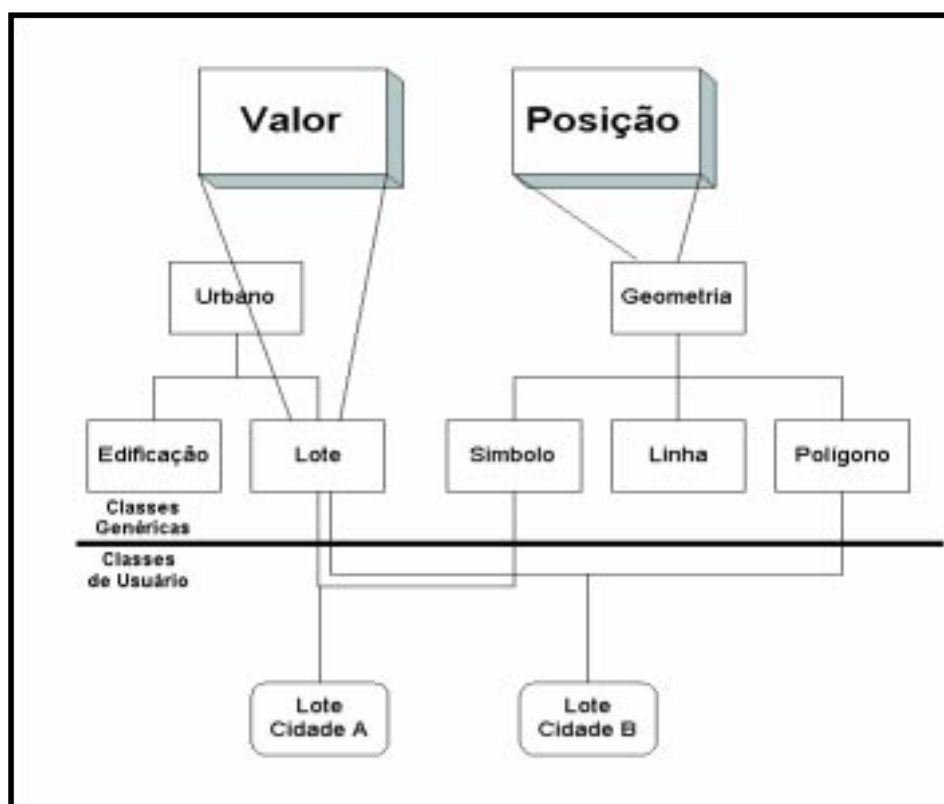


Figura 5 – Pontos de interseção

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo revimos questões relacionadas a SIG e orientação a objetos, interoperabilidade e ontologias. Através dessa revisão foi apresentada uma arquitetura para sistemas de informações geográficas baseada em ontologias (SIG-O). Esses sistemas são caracterizados por um extensivo uso de ontologias explícitas desde sua concepção até seu uso, inclusive. O mapeamento de múltiplas ontologias para classes foi feito usando-se técnicas de orientação a objeto e herança múltipla. Este tipo de mapeamento permite integração parcial de informações onde a completa integração não é possível. Este sistema permite ainda o reaproveitamento de classes já desenvolvidas, incorporando assim nos novos sistemas o conhecimento existente em outros SIG urbanos. Este artigo demonstrou que os SIG-O têm um papel importante no mundo dos sistemas distribuídos e interoperáveis.

Foi apresentado um SIG onde a funcionalidade é representada mais por seus objetos do que pela interface ou banco de dados, já que é das classes que toda funcionalidade é extraída.

Uma série de problemas ainda deve ser resolvida. Um deles é explicar em mais detalhes a arquitetura e como este tipo de sistema pode ser implementado usando-se a tecnologia de objetos distribuídos, como Java e CORBA. Também a tradução de ontologias para classes que possam ser usadas como componentes de software deve ser objeto de mais pesquisas, como as que estão sendo feitas atualmente com o editor de ontologias Ontolingua [FFR 96], que pode gerar componentes em linguagens como CORBA IDL ou KIF.

KEYWORDS

Ontology – GIS – Interoperability – Object orientation

ABSTRACT

This paper introduces a geographic information system architecture based on ontologies. Ontology plays a central role in the definition of all aspects and components of an information system in the so-called ontology-driven information systems. The system presented here uses a container of interoperable geographic objects. The objects are extracted from multiple independent data sources and are derived from a strongly typed mapping of classes from multiple ontologies. This approach provides a great level of interoperability and allows partial integration of information when completeness is impossible.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [AHTM 98] ARCTUR, D.; HAIR, D.; TIMSON, G.; MARTIN, E.P.; FEGERAS, R. (1998). Issues and Prospects for the Next Generation of the Spatial Data Transfer Standard (SDTS). *International Journal of Geographical Information Science* 12(4): 403-425.
- [AS 91] AREF, W.; SAMET, H. (1991) Optimization Strategies for Spatial Query Processing. in: G. Lohman, A. Sernadas, and R. Camps (Ed.), *17th International Conference on Very Large Data Bases*, Barcelona, Spain, p. 81-90.
- [BLN 86] BATINI, C.; LENZERINI, M; NAVATHEUS, S.B. (1986) A Comparative Analysis of Methodologies for Database Schema Integration. *ACM Computing Surveys* 18(4): 323-364.
- [Bis 97] BISHR, Y. (1997) *Semantic Aspect of Interoperable GIS*. Ph.D., Wageningen Agricultural University and ITC,
- [Bis 98] BISHR, Y (1998) Overcoming the Semantic and Other Barriers to GIS Interoperability. *International Journal of Geographical Information Science* 12(4): 299-314.

- [BPKR 99] BISHR, Y.; PUNDT, H.; KUHN, W.; RDWAN, M.; (1999) Probing the Concepts of Information Communities - A First Step Toward Semantic Interoperability. in: M. Goodchild, M. Egenhofer, R. Fegeas, and C. Kottman (Ed.), *Interoperating Geographic Information Systems*, p. 165-180, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.
- [BGLR 90] BREITBART, Y.; GARCIA-MOLINA, H.; LITWIN, W.; ROUSSOPOULOS, N. et al. (1990) *Final Report of the Workshop on Multidatabases and Semantic Interoperability*, Tulsa, Oklahoma, November 2-4, 1990. University of Kentucky, Department of Computer Science, Lexington, KY, Technical Report , p. 188-91.
- [CF 91] CLEMENTINI, E.; FELICE, P.D. (1991) Multiparadigm Query Strategies in Object-Oriented Geographic Databases. in: *International Phoenix Conference on Computers and Communications*, Scottsdale, AZ.
- [Dav 95] DAVIS JR., C. A. (1995) *Intercâmbio de informações geográficas: proposta preliminar*. Relatório Técnico, Prodabel, 1995.
- [DF 94] DAVIS JR., C.A.; FONSECA, E. F. T. (1994) Geração de Dados em CAD para GIS: Precauções. In *Anais do GIS Brasil'94*, Seção SIG e Conversão de Dados, 43-47.
- [Ege 94] EGENHOFER, M. (1994) Spatial SQL: A Query and Presentation Language. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 6(1): 86-95.
- [EF 92] EGENHOFER, M.; FRANK, A. (1992) Object-Oriented Modeling for GIS. *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association* 4(2): 3-19.
- [EP 90] ELMAGARMID, A. K.; PU, C. (1990) Guest editors' Introduction to the Special Issue on Heterogeneous Databases. *ACM Computing Surveys* 22(3): 175-178.
- [FFR 96] FARQUHAR, R.; FIKES, R.; RICE, J. (1996) *The Ontolingua Server: a Tool for Collaborative Ontology Construction*. Knowledge Systems Laboratory - Stanford University, Stanford, CA, Technical Report KSL 96-26.
- [FS 99] FINCH, I.; SMALL, E. (1999) Information Brokers for a WEB-based Geographic Information System. in: M. Goodchild, M. Egenhofer, R. Fegeas, and C. Kottman (Ed.), *Interoperating Geographic Information Systems*, p. 165-180, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.
- [Gah 99] GAHEGAN, M. N. (1999) Characterizing the Semantic Content of Geographic Data, Models, and Systems. In: M. Goodchild, M. Egenhofer, R. Fegeas, and C. Kottman (Ed.), *Interoperating Geographic Information Systems*, p. 71-84, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.
- [GR 88] GAHEGAN, M. N.; ROBERTS, S. A. (1988) An Intelligent, Object-oriented Geographical Information System. *International Journal Geographical Information Systems*. Vol. 2: 101-110.
- [Gar 96] GARDELS, K. (1996) The Open GIS Approach to Distributed Geodata and Geoprocessing. in: *Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and*

Environmental Modeling, Santa Fe, NM, p. 21-25.

- [GEFK 99] GOODCHILD, M.; EGENHOFER, M.; FEGEAS, R.; KOTTMAN, C. (1999) *Interoperating Geographic Information Systems*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.
- [GM 95] GOSLING, J; MCGILTON, H; (1995) *The Java Language Environment: a White Paper*. Sun Microsystems, Mountain View, CA, Technical Report.
- [Gru 92] GRUBER, T. (1992) *A Translation Approach to Portable Ontology Specifications*. Knowledge Systems Laboratory - Stanford University, Stanford, CA, Technical Report KSL 92-71.
- [Gua 98] GUARINO, N. (1998) Formal Ontology and Information Systems. in: N. Guarino (Ed.), *Formal Ontology in Information Systems*. IOS Press, Amsterdam, Netherlands.
- [Har 99] HARVEY, F. (1999) Designing for Interoperability: Overcoming Semantic Differences. In: M. Goodchild, M. Egenhofer, R. Fegeas, and C. Kottman (Ed.), *Interoperating Geographic Information Systems*, p. 85-98, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.
- [HLS 88] HERRING, J.; LARSEN, R.; SHIVAKUMAR, J. (1988) Extensions to the SQL Language to Support Spatial Analysis in a Topological Data Base. in: *GIS/LIS '88*, San Antonio, TX, p. 741-750.
- [KS 96] KASHYAP, V.; SHETH, A. (1996) Semantic Heterogeneity in Global Information System: The Role of Metadata, Context and Ontologies. in: M. P. Papazoglou and G. Schlageter (Ed.), *Cooperative Information Systems: Current Trends and Directions*. Academic Press, London.
- [Ken 94] KENT, W. (1994) Object Orientation and Interoperability. in: *Advances in Object-Oriented Database Systems*, Izmir, Kusadasi, Turkey.
- [Kuh 91] KUHN, W. (1991) Are Displays Maps or Views? in: D. Mark and D. White (Ed.), *Auto-Carto 10*, Baltimore, p. 261-274.
- [Lew 98] LEWANDOWSKY, S. M. (1998) Frameworks for Component-Based Client/Server Computing. *ACM Computing Surveys* 30(1): 4-27.
- [MB 96] MCKEE, L.; BUEHLER, K. (1996) *The Open GIS Guide*. Open GIS Consortium, Inc, Massachusetts.
- [MKIS 98] MENA, E.; KASHYAP, V.; ILLARRAMENDI, A.; SHETH, A. (1998) Domain Specific Ontologies for Semantic Information Brokering on the Global Information Infrastructure. In: N. Guarino (Ed.), *Formal Ontology in Information Systems*. IOS Press, Amsterdam
- [MN 99] NITTEL, S.; MUNTS, R. R. (1999) Supporting Interoperation of GIS Objects. in: M. Goodchild, M. Egenhofer, R. Fegeas, and C. Kottman (Ed.), *Interoperating Geographic Information Systems*, p. 165-180, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.

- [Ogi 96] (1996) *The OpenGIS® Guide* - Introduction to Interoperable Geoprocessing and the OpenGIS Specification. Open GIS Consortium, Inc, MA.
- [PGW 95] PARAKONSTANTINOV, Y.; GARCIA-MOLINA, H.; WIDOM, J. (1995) Object Exchange Across Heterogeneous Information Sources. in: *IEEE International Conference on Data Engineering*, Taipei, Taiwan, p. 251-260.
- [Per 90] PERNICI, B. (1990) Objects with Roles. in: *IEEE/ACM Conference on Office Information Systems*, , p. 205-215.
- [Sal 99] SALGÉ, F. (1999) National and International Data Standards. in: P. Longley, M. Goodchild, D. Maguire, and D. Rhind (Ed.), *Geographical Information Systems*. 1 Principles and Technical Issues, p. 693-706, John Wiley & Sons, New York.
- [She 99] SHETH, A. P. (1999) Changing Focus on Interoperability in Information Systems. in: M. Goodchild, M. Egenhofer, R. Fegeas, and C. Kottman (Ed.), *Interoperating Geographic Information Systems*, p. 165-180, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.
- [SL 90] SHETH, A. P.; LARSON, J. A. (1990) Federated Databases Systems for Managing Distributed, Heterogeneous, and Autonomous Databases. *ACM Computing Surveys* 22(3): 183-236.
- [SK 95] SOLEY, R. M.; KENT, W. (1995) The OMG Object Model. in: W. Kim (Ed.), *Modern Database Systems: the Object Model, Interoperability and Beyond*, p. 18-41, Addison-Wesley Publishing Company, New York, NY.
- [TF 97] TIMPF, S.; FRANH, A. (1997) Exploring the Life of Screen Objects. in: *Auto-Carto 13*, Seattle, USA, p. 195-203.
- [VBS 99] VCKOVSKI, A.; BRASEEL, K.; SCHEK, H.-J. (1999) Preface. In: A. Vckovski, K. Brassel, and H.-J. Schek (Ed.), *Interoperating Geographic Information Systems-Second International Conference*, INTEROP'99, Zurich, Switzerland, Zurich, Switzerland.
- [Vck 98] VCKOVSKI, A. (1998) *International Journal of Geographical Information Science* - Special Issue: Interoperability in GIS.
- [VJ 99] VOISARD, A.; JURGENS, M. (1999) Geospatial Information Extraction: Querying or Quarrying? in: M. Goodchild, M. Egenhofer, R. Fegeas, and C. Kottman (Ed.), *Interoperating Geographic Information Systems*. p. 165-180, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.
- [Wie 94] WIEDERHOLD, G. (1994) Interoperation, Mediation and Ontologies. In: *International Symposium on Fifth Generation Computer Systems (FGCS94)*, Tokyo, Japan, p. 33-48.
- [Wie 98] WIEDERHOLD, G. (1998) *Value-added Middleware: Mediators*. Stanford University, Technical Report.

- [Wie 99] WIEDERHOLD, G. (1999) Mediation to Deal with Heterogeneous Data Sources. In [VBS 80] VCKOVKI, A.; BRASSEL, K.; SCHEK, H.-J., *Interoperating Geographic Information Systems - Second International Conference, INTEROP'99*, Zurich, Switzerland. Lecture Notes in Computer Science 1980, p. 1-16, Springer-Verlag, Berlin.
- [WJ 99] WIEDERHOLD, G.; JANNINK, J. (1999) Composing Diverse Ontologies. In: *8th Working Conference on Database Semantics (DS-8)*, Rotorua, New Zealand.
- [Wor 94] WORBOYS, M. F. (1994) Object-oriented approaches to Geo-referenced Information. *International Journal of Geographical Information Systems* 8(4): 385-399.