

Aplicando Ontologias de Objetos Geográficos para Facilitar Navegação em GIS

LAURO RAMOS VENANCIO¹

RENATO FILETO^{1,2}

CLÁUDIA BAUZER MEDEIROS¹

¹Instituto de Computação – Unicamp, Caixa Postal 6176, 13083-970, Campinas, SP, Brasil
{lauro.venancio,fileto,cmbm}@ic.unicamp.br

²Embrapa Informática Agropecuária – Av. Dr. André Torsello, 209, 13083-886, Campinas, SP, Brasil
fileto@cnptia.embrapa.br

Abstract. The Semantic Web has become an active research area with many promising applications. This paper gives a concrete contribution to the adoption of Semantic Web technology in GIS, by describing the use of a domain ontology to help navigation on maps, and support the integration of geographic objects on the Web. The *OntoCarta* system, which we are developing to demonstrate our methods, relies on current standards and public domain tools to build a map navigator including: (1) a viewer for maps in different scales; (2) a domain ontology to describe and correlate maps' objects. The combination of these components results in a knowledge directed cartographic navigation system. This system supports map zooming, while keeping contextual information for different levels of abstraction. The adoption of open formats to represent the domain ontology, allied to the consensual character of this ontology, enables the use of *OntoCarta* on a Web browser and fosters data reuse throughout the Internet.

1 Introdução

A *Web Semântica* [1,2] é uma extensão da Web atual, que acrescenta semântica a dados e serviços, de modo a viabilizar métodos mais eficazes para a busca, automação, integração e reutilização dos recursos disponíveis via rede. A ambição da Web Semântica é possibilitar a agentes selecionar e compor recursos em ambientes virtuais para a solução de problemas, visando descobrir novos fatos e realizar tarefas mais sofisticadas [3].

Diversas linguagens, técnicas e ferramentas têm sido propostas para o gerenciamento de conhecimento na Web. Alguns padrões começam a ser estabelecidos, tais como XML [4,5] e RDF [6]. Ontologias estão sendo desenvolvidas sobre este aparato tecnológico para estabelecer consenso sobre o significado de conceitos e termos específicos de diversos domínios do conhecimento. Finalmente, protótipos de ferramentas e aplicações utilizando tal conhecimento começam a aparecer, tornando a Web Semântica uma realidade.

Nesse contexto, é adequado aplicar as idéias e tecnologias da Web Semântica a sistemas de informação geográficos. Particularmente em cartografia, a associação de significado bem definido a objetos de mapas permite que usuários e programas interpretem adequadamente o

que cada objeto representa. O significado de cada objeto pode então ser relacionado com o de outros objetos, possibilitando uma navegação dirigida por conhecimento.

Este artigo descreve o *OntoCarta*, um sistema de navegação em mapas dirigida por ontologia. Na navegação tradicional, quando o usuário executa um *zoom in* em um mapa, freqüentemente ele perde a noção de contexto. A navegação dirigida por ontologia visa solucionar esse problema. Uma ontologia relacionando os conceitos e objetos relativos ao território permite localizar o objeto em foco numa base de conhecimento. Com isso, um usuário pode se referir a um objeto (e.g., Estado de São Paulo) de acordo com uma ontologia definida consensualmente. Um sistema utilizando a mesma ontologia localiza o elemento do mapa relacionado a esse conceito para focalizá-lo. O uso da ontologia evita ambigüidade (e.g., entre Estado de São Paulo e Cidade de São Paulo ou cidades chamadas São Simão em diferentes estados). Além disso, uma visão da ontologia, sempre disponível durante a navegação, ajuda o usuário a entender o significado dos objetos geográficos apresentados e o contexto em que se inserem.

O *OntoCarta* está sendo desenvolvido no Laboratório LIS do IC-UNICAMP e já foi parcialmente implementado.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 descreve a ontologia utilizada no primeiro protótipo do *OntoCarta*. A Seção 3 aborda brevemente as tecnologias usadas na construção do sistema. A Seção 4 descreve o *OntoCarta* em detalhes. A Seção 5 discute os trabalhos relacionados e a Seção 6 conclui o artigo.

2 A Ontologia

Uma ontologia é uma conceitualização explícita, formal e compartilhada, de uma área de conhecimento [7]. A ontologia usada neste trabalho refere-se especificamente ao domínio agrícola e inclui conceitos e instâncias de conceitos desse domínio [8]. Ela foi construída utilizando o editor de ontologias Protégé 2000 [9], ferramenta experimental de código aberto. Protégé permite que até mesmo usuários sem treinamento em técnicas de modelagem e representação de informação descrevam seu conhecimento em ontologias. A Figura 1 mostra a interface para edição da nossa ontologia usando o Protégé.

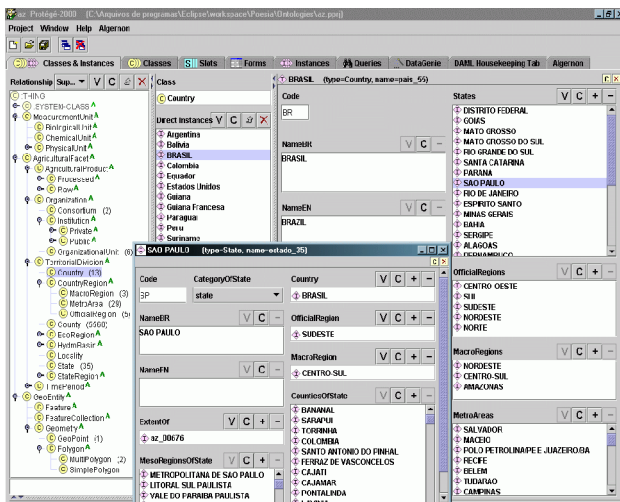


Figura 1- A ontologia agrícola no Protégé 2000

Há dezenas de *plugins* disponíveis para estender as funcionalidades do Protégé, permitindo, entre outras coisas, inferências e buscas na ontologia e sua gravação em diversos formatos, tais como RDF [6], OWL [10] e DAML+OIL [11]. Isso permite a integração e troca de ontologias com outras ferramentas.

A *Ontologia para o Domínio Agrícola* é dividida em quatro dimensões: *Produtos Agrícolas*, *Organizações* (consórcios e instituições), *Períodos de Tempo* e *Território*. Para o *OntoCarta*, apenas a dimensão *Território* dessa ontologia é relevante. Além disso, a ontologia para o domínio agrícola tem uma estrutura complexa, sendo muitas das relações semânticas e objetos

nela representados, mesmo dentro da dimensão *Território*, desnecessários para dirigir a navegação em mapas.

Desta forma, fizemos uma projeção dos conceitos e instâncias desta ontologia em uma visão adequada às necessidades do *OntoCarta*. Ela foi feita sobre o grafo acíclico direcionado ilustrado na Figura 2. Esse grafo representa os conceitos relativos à dimensão *Território* e as relações semânticas entre eles. Os nós representam conceitos. As arestas que representam relações do tipo PARTE_DE (agregação) entre conceitos têm um círculo junto ao conceito componente e as arestas representando relações do tipo É_UM (generalização) possuem um losango junto ao conceito mais específico. Assim, o grafo da Figura 2 denota, por exemplo, que um *País* é composto por um conjunto de *Estados*, ou alternativamente, por um conjunto de *Regiões de País*. Uma *Região de País* pode ser uma *Macro Região*, uma *Região Oficial* ou uma *Região Metropolitana* e assim por diante.

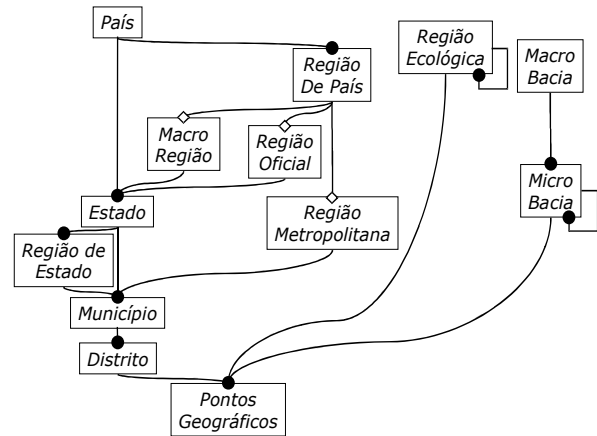


Figura 2 - A dimensão Território da ontologia agrícola

Cada conceito da ontologia pode ser instanciado. A Figura 3 ilustra uma visão da ontologia agrícola com conceitos e instâncias relativos ao território. Esta figura mostra, à esquerda, um sub-grafo do grafo de conceitos e à direita, alguns exemplos de instâncias. Cada relacionamento entre conceitos (e.g., um *Estado* é PARTE_DE um *País*) induz relacionamentos correspondentes entre instâncias dos respectivos conceitos (e.g., o *Estado de São Paulo* é PARTE_DO *Brasil*).

Essa visão particular da ontologia para agricultura é criada usando o *OntoCover*TM [8], uma biblioteca de programas Java que desenvolvemos para extrair visões de ontologias e manipulá-las em aplicações. Essa biblioteca permite carregar ontologias a partir de arquivos RDF e de sistemas de bancos de dados. Ela também possui recursos para visualização e navegação em visões, apresentadas

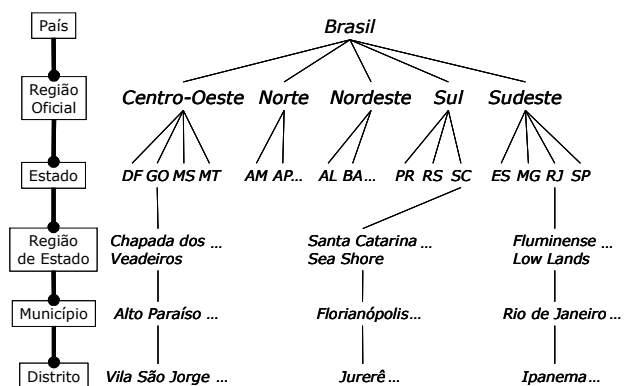


Figura 3 - Relação entre conceitos e instâncias.

sob a forma de árvore. O *OntoCover* utiliza o Jena [12], uma API Java para manipulação de RDF, e o sistema de gerenciamento de bancos de dados PostgreSQL, ambos de domínio público. Resultados de experimentos têm demonstrado que o *OntoCover* provê a escalabilidade e a eficiência necessárias para as nossas aplicações, conjugando a tecnologia da Web atual e Web Semântica com sistemas de gerenciamento de bancos de dados [8].

3 Tecnologias para Visualização e Navegação

Esta seção apresenta duas das principais tecnologias empregadas na navegação em mapas com o *OntoCarta*. A Subseção 3.1 descreve a Árvore Hiperbólica, estrutura utilizada para a visualização e navegação na visão extraída da ontologia. A Subseção 3.2 aborda o SVG, formato aberto utilizado para descrever, intercambiar e traçar mapas no *OntoCarta*.

3.1 Árvore Hiperbólica

A Árvore Hiperbólica [13] é uma estrutura de visualização de hierarquias baseada na técnica *focus+context* (foco+contexto). Ela destina maior espaço para o nó que está em foco e mostra o contexto (outros nós ao redor do nó focado) com tamanho progressivamente reduzido à medida que se distancia do foco. Para implementar essa idéia, utiliza-se a geometria hiperbólica. A hierarquia é traçada em um plano hiperbólico e este é mapeado em um círculo unitário no plano euclidiano. Isso produz o efeito visto na Figura 4: os nós centrais aparecem maiores e os periféricos, menores. O usuário pode alterar o foco clicando em qualquer nó. Quando isso ocorre, o nó clicado é transladado para o centro e todos os outros se rearranjam na periferia.

A Árvore Hiperbólica é indicada para a visualização de grandes hierarquias, pois, mesmo com milhares de nós, é possível observar as informações dos nós no

entorno do foco. Por isso escolhemos usá-la no *OntoCarta*, adaptando a implementação denominada *Treebolic* [14]. A hierarquia da divisão política do Brasil, que temos utilizado em alguns experimentos, tem aproximadamente 16000 nós até o nível de distrito. Esses dados foram obtidos do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Nossa implementação permite carregar os conceitos e as instâncias da ontologia em aproximadamente 8 segundos para, a seguir, realizar a navegação sobre a árvore resultante.

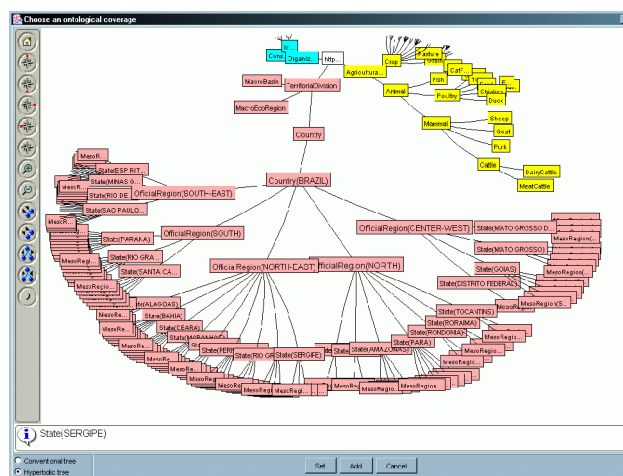


Figura 4 - A ontologia agrícola em uma árvore hiperbólica

3.2 Scalable Vector Graphics (SVG)

O SVG [15] é um formato baseado em XML para a descrição vetorial de gráficos 2D, recomendado pelo W3C. Atualmente, para visualizar gráficos descritos nesse formato em navegadores Web, é necessário instalar um *plugin*. O mais utilizado é o Adobe SVG Viewer [16]. Futuramente, o Mozilla terá suporte nativo a SVG [17], permitindo ao programador misturar código SVG ao código HTML. A Figura 5 mostra um exemplo de código SVG para desenhar o mapa da micro-região de Cacoal, em Rondônia, e o resultado no browser Mozilla.

De forma semelhante aos outros formatos baseados em XML, o SVG produz grandes arquivos texto, o que poderia inviabilizar sua utilização na Internet. Para contornar tal problema os visualizadores aceitam arquivos compactados segundo o formato GZIP. Quase sempre é possível conseguir uma compactação superior a 70%.

Um gráfico SVG pode ser alterado dinamicamente utilizando *JavaScript* e orientação a objetos. É possível alterar qualquer atributo de um gráfico e tratar eventos como, por exemplo, cliques do *mouse*. Qualquer objeto de um gráfico SVG pode ser acessado através do método `getElementById` cujo parâmetro é o *string* identificador do objeto. O *OntoCarta* utiliza tal identificador para fazer

```

<?xml version="1.0"?>
<svg viewBox="-62.0 -13.4 0.3 2.5">
<g id="municipio" stroke-width="0.01" fill="lightblue" stroke="green">
<path id="1" d="M-62.206,-11.831 L-62.201,-11.830 [...] z"/>
<path id="4" d="M-61.000,-10.991 L-61.000,-11.397 [...] z"/>
<path id="9" d="M-61.000,-10.991 L-60.459,-10.989 [...] z"/>
<path id="20" d="M-61.596,-11.585 L-61.598,-11.591 [...] z"/>
<path id="21" d="M-61.565,-11.860 L-61.531,-11.859 [...] z"/>
<path id="26" d="M-61.892,-11.965 L-61.889,-11.964 [...] z"/>
<path id="29" d="M-61.912,-11.584 L-61.911,-11.586 [...] z"/>
<path id="33" d="M-61.951,-11.290 L-61.947,-11.290 [...] z"/>
<path id="38" d="M-61.746,-10.986 L-61.549,-10.985 [...] z"/>
</g>
<g id="sedes" fill="red">
<circle cx="-61.9" cy="-11.94" r="0.02"/>
<circle cx="-61.44" cy="-11.43" r="0.02"/>
<circle cx="-61.01" cy="-11.52" r="0.02"/>
<circle cx="-61.78" cy="-11.67" r="0.02"/>
<circle cx="-61.78" cy="-11.87" r="0.02"/>
<circle cx="-61.85" cy="-12.12" r="0.02"/>
<circle cx="-61.99" cy="-11.69" r="0.02"/>
<circle cx="-61.95" cy="-11.41" r="0.02"/>
<circle cx="-61.51" cy="-11.07" r="0.02"/>
</g>
<g id="nomes" font-size="0.08" text-anchor="middle">
<text x="-61.9" y="-11.96">Alta Floresta D'Oeste</text>
<text x="-61.44" y="-11.43">Cacoal</text>
<text x="-61.01" y="-11.52">Espigao D'Oeste</text>
<text x="-61.78" y="-11.61">Rolim de Moura</text>
<text x="-61.78" y="-11.81">Santa Luzia D'Oeste</text>
<text x="-61.85" y="-12.12">Alto Alegre dos Parecis</text>
<text x="-61.99" y="-11.71">Novo Horizonte do Oeste</text>
<text x="-61.95" y="-11.41">Castanheiras</text>
<text x="-61.51" y="-11.07">Ministro Andreazza</text>
</g>
</svg>

```

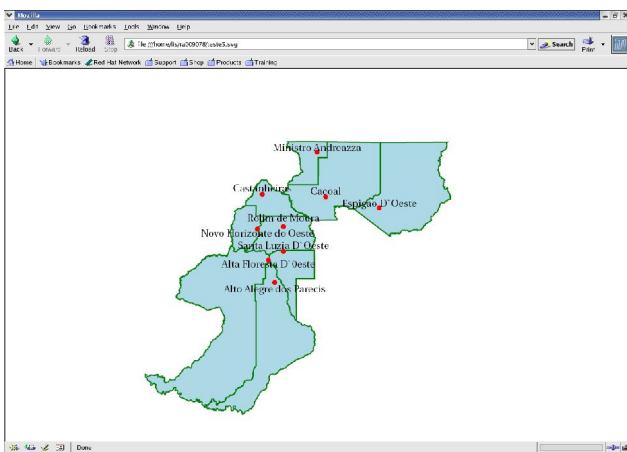


Figura 5 – A Micro-Região de Cacoal (RO) sobre o SVG

a conexão dos objetos gráficos SVG com a sua definição em termos de entidades geográficas na ontologia. Isso é detalhado na próxima seção.

4 O OntoCarta

O OntoCarta está sendo projetado para ser um navegador cartográfico, de código aberto, para a Web. Seu funcionamento combina o poder semântico de ontologias com as facilidades oferecidas pelo SVG. Parte

do sistema já está implementada. Esta seção descreve a arquitetura do sistema e dá um exemplo de sessão de navegação cartográfica, para mostrar ao leitor o resultado final da implementação (e suas vantagens).

O *OntoCarta* está sendo implementado em Java e JavaScript. A manipulação e visualização de ontologias usa o *OntoCover*, desenvolvido no LIS-IC (vide Seção 2). Os mapas de divisões territoriais são formados por polígonos especificados em SVG. A ontologia sendo usada para testes tem 5000 nós (descendo ao nível de referências a municípios).

A Figura 6 mostra a arquitetura geral do sistema. Ela indica que o *OntoCarta* é ativado via Web. Ele recebe como entradas dois tipos de arquivo: documentos em SVG contendo polígonos de divisões territoriais de diferentes tipos e escalas; e a ontologia territorial em RDF/RDFS. Os dados são a seguir pré-processados no *OntoCarta* para permitir a navegação do usuário. Uma vez pré-processados, o *OntoCarta* passa a controlar a sincronização da visualização de polígonos com conceitos da ontologia, permitindo assim navegação dirigida por ontologias.

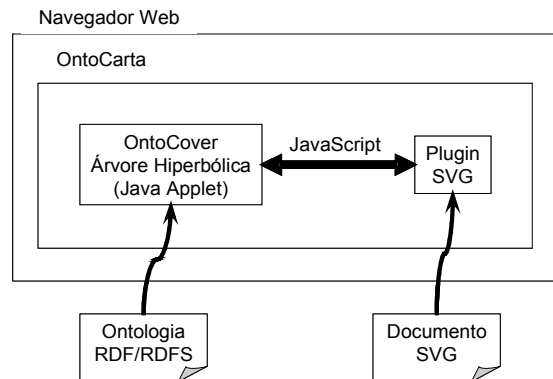


Figura 6 – Arquitetura Geral do *OntoCarta*

Pré-processamento. O pré-processamento envolve as seguintes etapas: (1) construção da visão da ontologia, para permitir sua visualização em árvore hiperbólica; e (2) ligação dos polígonos SVG aos nós da visão. A primeira etapa é realizada usando o *OntoCover*. Na prática, a segunda etapa não pode ser executada *online*. Ela exige modificar o SVG para indicar os relacionamentos de cada polígono com os nós da visão, usando para isto os identificadores destes nós na Internet.

Um identificador de um nó da visão é um *string* representando um caminho para aquele nó. Ontologias na forma de grafos podem ter vários caminhos para um mesmo nó, sendo cada caminho um identificador para este nó. Na implementação do *OntoCarta* o identificador baseado em caminho é único, pois as visões da ontologia

nele empregadas têm forma de árvore. Neste caso, se o caminho é prefixado com a URI (ou namespace) que descreve a localização da ontologia na Web, tem-se um identificador do nó identificador do objeto geográfico na Internet.

A sincronização dos objetos gráficos com os nós da ontologia é feita através do uso dos atributos identificadores dos objetos do SVG – vide Seção 3.2 sobre estes identificadores. Cada objeto SVG recebe no seu campo identificador um *string* cujo valor é o identificador Internet do nó correspondente na visão da ontologia.

A Figura 7 exemplifica a construção dos *strings* identificadores. Os rótulos dos nós são constituídos pelos nomes dos conceitos ou instâncias a que se referem. Nomes de instâncias aparecem entre parênteses - e.g., País(Brasil). Os *strings* identificadores são formados pela concatenação dos rótulos dos nós de um caminho separados por pontos.

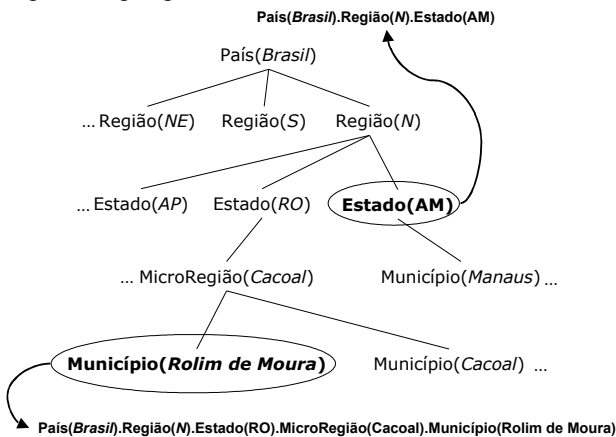


Figura 7 – Exemplo de identificadoras de termos na ontologia

O problema do pré-processamento dos polígonos SVG é semelhante àquele encontrado na integração de bases de dados que não possuem relacionamentos diretos explícitos. A solução adotada no *OntoCarta* é do mesmo tipo, ou seja, pré-processamento com introdução de ligações entre os registros das bases de dados. A idéia é desenvolver um programa que leia o código SVG e faça uma primeira aproximação de ligação com os nós da ontologia usando para isso os nomes das instâncias (estados, municípios, macro-regiões, etc.) O resultado precisará ser validado por usuários, que completarão as ligações omitidas ou incorretas.

Navegação dirigida por ontologias. Uma vez pré-processados os dados, o usuário pode realizar vários tipos de navegação, alternando entre interação com mapas e ontologias. As Figuras 8 e 9 exemplificam interações sucessivas do usuário com o sistema.

Note que, ao mesmo tempo que um determinado nível de detalhe é mostrado, parte da visão ontológica correspondente aparece na tela. Isto permite ao usuário ter uma melhor noção do contexto de sua navegação. A Figura 8 mostra o nível mais alto – o País –, enquanto a Figura 9 mostra a micro-região de Cacoal (RO).

A implementação desta sincronização é a seguinte. Quando o usuário clica em um determinado nó da árvore hiperbólica, ela envia uma mensagem, via JavaScript, para o documento SVG. Este se encarrega de localizar (via identificador) e realçar o polígono do mapa relacionado ao nó clicado. O campo de visão do mapa é alterado para o menor retângulo que contém esse polígono (Fig. 8 e 9).

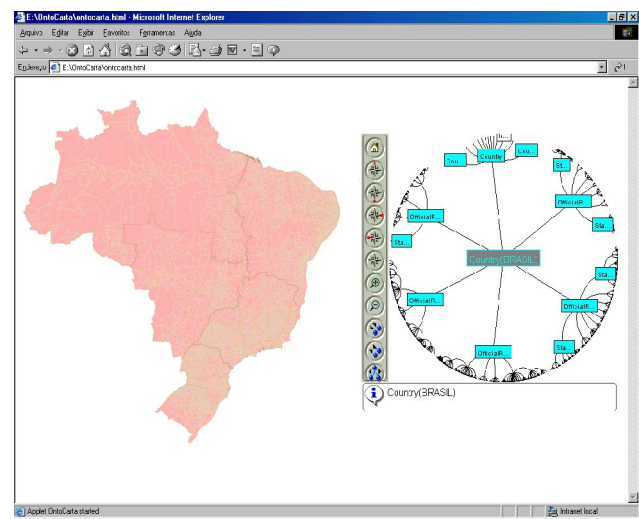


Figura 8 – Exemplo de tela de navegação - o País

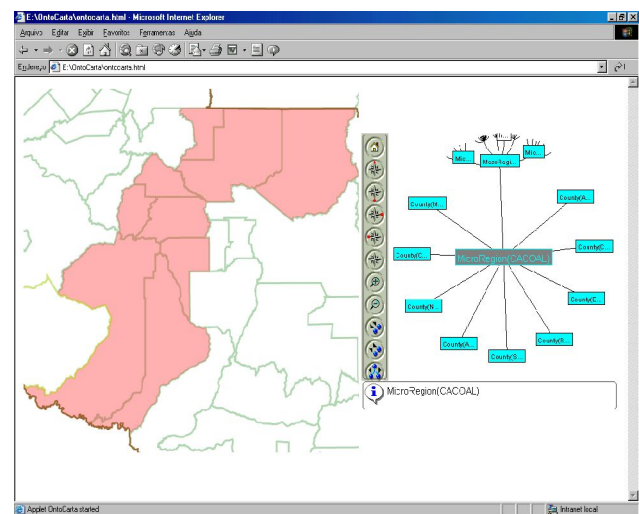


Figura 9 – Continuação da navegação – micro-região

5 Trabalhos Relacionados

Sistemas de informação geográficos (SIG) têm sido caracterizados pela preponderância de formatos de dados proprietários, dificultando a interoperabilidade e a própria usabilidade desses sistemas. Esses problemas resultam não apenas de diferenças sintáticas e estruturais na representação dos dados, mas também da utilização de conceitualizações distintas e raramente explicitadas do conhecimento, em diferentes sistemas [18]. Isso acarreta perda da definição de atributos e do georeferenciamento, dificuldades e distorções na interpretação de dados e comprometimento da qualidade da informação.

As propostas de padrões para intercâmbio de dados entre SIGs têm se focado principalmente em aspectos sintáticos e estruturais, além da geometria dos objetos geográficos [19,20]. A linguagem GML (*Geography Markup Language*) [21], por exemplo, não garante a correta interpretação dos dados pelos usuários, pois não leva em consideração a semântica e o comportamento associados aos objetos geográficos.

A importância de estabelecer uma base semântica para a representação e manipulação de dados geográficos é reconhecida em diversos trabalhos [22,23,24,25]. A adoção de tecnologia preconizada pela Web Semântica [1,19,22,6] é um caminho promissor para alcançar esse objetivo. Semântica bem definida em ontologias, por exemplo, permite estabelecer correspondências entre termos e entidades do mundo real e possibilita raciocínio automatizado. Contudo, tal tecnologia precisa ser adequada e estendida para aplicações de SIG.

Córcoles *et. al.* [23] descrevem uma abordagem para a integração de dados geográficos baseada na definição de mapeamentos entre ontologias e esquemas XML. Eles definem um catálogo (semelhante a uma ontologia) para facilitar a criação e a troca de descritores de recursos em comunidades na Web. Tanto os descritores de recursos quanto a ligação destes descritores com os recursos propriamente ditos (documentos XML contendo dados geográficos) são representados em RDF. Com esta abordagem é possível utilizar uma única linguagem de consulta para documentos GML, sem ter conhecimento exato da estrutura desses documentos.

Lima *et. al.* [24] propõem associar um dicionário de termos a um formato para representação de dados geográficos denominado GeoBR, o qual inclui metadados, modelo de dados, projeções, geometria e atributos. As entidades e relacionamentos presentes em um arquivo GeoBR são descritos em um arquivo separado, utilizando DAML+OIL [11]. Isso enriquece a descrição dos dados e promove a interoperabilidade no nível semântico.

Fonseca *et. al.* [25] utiliza ontologias para definir classes para o desenvolvimento de aplicações geográficas, visando promover a interoperabilidade delas. As aplicações construídas segundo esta abordagem utilizam um servidor de ontologias e mediadores para acessar suas fontes de dados. Isso permite, por exemplo, carregar instâncias de dados a partir de fontes heterogêneas, de acordo com um esquema definido pela ontologia.

O *OntoCarta* utiliza um referencial ontológico comum para explicitar relações de agregação e especialização entre entidades geográficas. Isso contribui para a integração de dados, pois permite descrever e identificar cada objeto geográfico de acordo com uma conceitualização consensual. O uso da ontologia para auxiliar a navegação em mapas permite ao usuário do *OntoCarta* contextualizar, a todo momento, sua visão das entidades geográficas, com base em conhecimento sobre relações semânticas entre as mesmas. Finalmente, o uso de formatos abertos aderentes à Web Semântica promove o intercâmbio das informações manipuladas pelo *OntoCarta* com outros sistemas. Não temos conhecimento de outros sistemas com essas características até o presente momento.

6 Conclusões

Este artigo descreveu o *OntoCarta*, uma ferramenta fundamentada em conhecimento formalizado em ontologias para auxiliar a navegação em mapas. O *OntoCarta* é uma aplicação concreta da tecnologia da Web Semântica em GIS. As principais contribuições deste trabalho são: (1) um navegador cartográfico dirigido por ontologias, cuja interface combina a flexibilidade de uma árvore hiperbólica com um visualizador SVG; (2) um mecanismo para a sincronização desses componentes da interface e recuperação de objetos de mapas na Web, baseado em URIs que descrevem a localização de ontologias e em caminhos dentro dessas ontologias; (3) implementação parcial do *OntoCarta*, baseada em formatos abertos e software de domínio público.

A visualização e navegação em ontologias usando árvores hiperbólicas já estão terminadas. O restante do *OntoCarta* está em fase final de projeto, tendo sido realizados vários experimentos para avaliar a viabilidade de sua implementação. Um dos empecilhos ao seu pleno uso na Web é o tamanho ocupado pelas estruturas de dados associadas a bibliotecas JAVA e SVG. Assim, um trabalho sendo considerado envolve a utilização de arquiteturas cliente-servidor e envio sob demanda de partes do arquivo cartográfico SVG.

Outros trabalhos futuros envolvem questões associadas ao uso de Web Semântica em aplicações

geográficas. Exemplos incluem: o enriquecimento da ontologia com novas relações semânticas; a adoção de linguagens mais elaboradas do que RDF para a representação de ontologias (e.g., OWL [10]); o uso de linguagens declarativas (tais como RQL [26]) para a manipulação de ontologias e extração de visões; investigação de mecanismos para a articulação de diferentes ontologias e de padrões para geoinformática (e.g., GML [21]); e a construção de repositórios e sistemas peer-to-peer para integração e intercâmbio de dados geográficos entre aplicações baseadas em conhecimento.

7 Agradecimentos

Os autores são parcialmente financiados pela Embrapa, CAPES, CNPq e pelos projetos MCT/Pronex-SAI e CNPq-Web Maps.

8 Referências

- [1] The World Wide Web Consortium (W3C). *Semantic Web*. <http://www.w3c.org/2001/sw>.
- [2] D. Fensel, J. Hendler, H. Lieberman, W. Wahlster (eds). *Spinning the Semantic Web*. MIT Press, Cambridge, MA, 2003.
- [3] T. Berners-Lee, J. Hendler, O. Lassila. *The Semantic Web*. Scientific American, May, 2001.
- [4] The World Wide Web Consortium (W3C). *Extensible Markup Language (XML)*. <http://www.w3.org/XML>.
- [5] S. Ceri, P. Fraternali, S. Paraboschi. *XML: Current Developments and Future Challenges for the Database Community*. Proc. EDBT Conf., LNCS 1777, Springer-Verlag, 2000.
- [6] The World Wide Web Consortium (W3C). *Resource Description Framework (RDF)*. <http://www.w3c.org/RDF/>.
- [7] M. Uschold and M. Grüninger. *Ontologies: Principles, Methods and Applications*. Knowledge Engineering Review, 11(2): 93-155, 1996.
- [8] R. Fileto. *POESIA: An Ontological Workflow Approach for Data and Services Integration on the Web*. Tese de Doutorado, Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2003.
- [9] N.F. Noy, M. Sintek, S. Decker, M. Crubezy, R. W. Fregerson, e M. A. Musen. *Creating semantic Web contents with protégé-2000*. IEEE Intelligent Systems, 16 (2):60-71, 2002.
- [10] The World Wide Web Consortium (W3C). *OWL Web Ontology Language Overview* (W3C Candidate Recommendation 18 August 2003). <http://www.w3.org/TR/2003/CR-owl-features-20030818/>.
- [11] D.L. McGuinness, R. Fikes, J. Hendler, e L. A. Stein. *DAML+OIL: An ontology language for the semantic web*. IEEE Intelligent Systems, 15(5), 2002.
- [12] *Jena semantic Web toolkit*. <http://jena.sourceforge.net>.
- [13] J. Lamping, R. Rao, e P. Pirolli. A Focus+Context Technique Based on Hyperbolic Geometry for Visualizing Large Hierarchies. *Proc. ACM SIGCHI Conf. on Human Factor in Computing System*, 1995.
- [14] B. Bou. *Treebolic a java applet for hyperbolic hendering of hierarchical data*. <http://treebolic.sortilege.net/en/index.html>.
- [15] The World Wide Web Cons. (W3C). *Scalable Vector Graphics (SVG)*. <http://www.w3c.org/Graphics/SVG/>.
- [16] *Adobe SVG Viewer*. <http://www.adobe.com/svg/>.
- [17] *The Mozilla SVG Project*. <http://www.mozilla.org/projects/svg/>.
- [18] R. Fileto. Issues on Interoperability and Integration of Geographical Data. *Proc. Brazilian Workshop on Geoinformatics (GeoInfo)*. 2001, pp. 133-140.
- [19] J. Albrecht. Geospatial information standards: A Comparative Study of Approaches in the Standardisation of Geospatial Information. *Computers & Geosciences* v.25, 1999. pp.9-24.
- [20] M. F. Goodchild, M. J. Egenhofer, R. Fegeas, C. Kottman. *Interoperating Geographical Information Systems*. Kluwer, 1999. [55] M.J. Egenhofer. Toward the Semantic Geospatial Web. *Proc. ACM GIS*. 2002.
- [21] The Open GIS Consortium. *Geography Markup Language (GML)*. <http://www.opengis.net/gml/02-069/GML2-12.html>.
- [22] M.J. Egenhofer. Toward the Semantic Geospatial Web. *Proc. ACM GIS*. 2002.
- [23] J.E. Córcoles, P. González, V. L Jaquero. Integration of Spatial XML Documents with RDF. *Proc. Ibero American Conf. on Web Engineering (ICWE)* 2003. LNCS 2722, pp. 407-410, Springer-Verlag, 2003.
- [24] P. Lima, G. Câmara, G. Queiroz. GeoBR: Intercâmbio Sintático e Semântico de Dados Espaciais. *Anais Simpósio Brasileiro de Geoinformática (GeoInfo)*. 2002, pp. 139-146.
- [25] F. Fonseca, M. Egenhofer, P. Agouris, G. Câmara. *Using Ontologies for Integrated Geographic Information Systems*. *ACM Transactions in GIS* 6(3), 2002, pp. 13-19.
- [26] G. Karvounarakis, S. Alexaki, V. Christophides, D. Plexousakis, M. Scholl. RQL: A Declarative Query Language for RDF. *Proc. Intl. World Wide Web Conf.*, ACM Press, 2002, pp. 592-503.