

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/1, p. 153-165
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

MODELAGEM DE DADOS CADASTRAIS 3D PARA O ARMAZENAMENTO NO POSTGIS

Cadastral Data 3D Modeling for Storage on PostGIS

**Marcelo Leandro Holzschuh¹, Amilton Amorim¹, Milton Hirokazu
Shimabukuro^{1,2}**

¹Universidade Estadual Paulista – UNESP

Faculdade de Ciência e Tecnologias – FCT / Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas
Rua Roberto Simonsen, 305 – 19060-900 – Presidente Prudente – SP - Brasil
mlholz@gmail.com, amorim@fct.unesp.br

²Universidade Estadual Paulista – UNESP

Faculdade de Ciência e Tecnologias – FCT / Departamento de Matemática e Computação
Rua Roberto Simonsen, 305 – 19060-900 – Presidente Prudente – SP - Brasil
miltonhs@fct.unesp.br

Recebido em 02 de Julho, 2013/ Aceito em 15 de Agosto, 2013
Received on July 02, 2013/ Accepted on August 15, 2013

RESUMO

Existe uma preocupação global com relação às necessidades do cadastro, entre elas, o cadastro 3D. Neste artigo são apresentadas algumas definições envolvendo o Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM), com ênfase no armazenamento de parcelas 3D volumétrico, e um de seus pilares fundamentais que é o banco de dados geográficos. O armazenamento e a recuperação de dados são etapas fundamentais para o CTM, e com a necessidade do cadastro manipular estruturas complexas como a sobreposição de imóveis (públicos ou privados), cabos e dutos subterrâneos, comparece a preocupação com a forma de armazenamento, tanto geométrico como suas relações topológicas. Neste contexto, são usados métodos de representação de dados para auxiliar o desenvolvimento do banco de dados geográfico e, entre eles, estão a Estrutura Formal de Dados 3D, a Rede de Tetraedros, o Modelo Espacial Simplificado e a Representação por Bordas (B-Rep), a qual foi usada neste artigo. O método B-Rep é usado para representar a superfície de objetos sólidos. A partir deste método, desenvolveu-se uma modelagem para o Banco de Dados Geográficos PostgreSQL e sua extensão espacial PostGIS, objetivando armazenar e recuperar objetos cadastrais volumétricos. Observou-se o potencial do modelo B-Rep na representação dos objetos envolvidos no cadastro 3D, o qual já é usado em áreas afins para dados 3D.

Palavras chaves: Cadastro 3D, Banco de Dados Geográfico, B-Rep

ABSTRACT

There is a global concern about the needs of land record, including the 3D Cadastre. This paper presents some definitions of the Multipurpose Cadastre focusing on 3D volumetric storage parcels, and one of its fundamental pillars that is the geographic database. The storage and retrieval of data are fundamental steps to the Multipurpose Cadastre, and which the necessity of Cadastre manipulate complex structures such as overlapping property (public or private), underground cables and pipelines, appears to concern the storage form, both as geometric their topological relations. In this context,

models are used to represent data to assist the development of geographic database and, between them, are the Formal Structure of 3D data, the Tetrahedrons Network, a Simplified Model Space and Representation by Borders, which was used this article. The B-Rep method is used to represent the solid object surface. From this method, a modeling for the Geographic Data Base PostgreSQL was developed and its spatial extension PostGIS, with goal of to store and to retrieve volumetric cadastral objects. The potential of the B-Rep model was observed in the representation of 3D cadastral objects, which already was used in similar areas for 3D data representations.

Keywords: 3D Cadastre, Geographic Data Base, B-Rep.

1. INTRODUÇÃO

Com o surgimento de novas demandas para o Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano, estão sendo desenvolvidas várias técnicas e procedimentos objetivando a coleta, representação e visualização dos dados cadastrais. Estas demandas fazem com que as comunidades técnica e científica busquem soluções para atender a essas necessidades. Como estas se referem a um conjunto de dados a serem manipulados para servirem como fonte de informações para o cadastro, faz-se necessário desenvolver um modelo para o seu armazenamento em banco de dados geográfico.

Portanto, neste trabalho, procura-se enfatizar especificamente o cadastro tridimensional, que tem sido mencionado na literatura como Cadastro 3D, o qual visa manipular dados referentes a diferentes objetos cadastrais 3D, sendo estes objetos topográficos (construções, estradas, redes públicas) e objetos funcionais (ex., limites administrativos), que poderão ser usados para integrar as informações alfanuméricas, no caso, objetos abstratos (taxas, ações, rendimentos).

Objetivando uma discussão metodológica fundamentada tanto no estado da arte, quanto em métodos convencionais usados em áreas correlatas para a manipulação de dados 3D, é feita uma análise de diferentes modelos a serem utilizados para o armazenamento de dados tridimensionais em um banco de dados geográfico, com ênfase no modelo volumétrico dos objetos cadastrais. Na sequência é apresentada uma revisão sobre o CTM, abordando sua multifinalidade e o cadastro 3D; sobre sistemas de bancos de dados, destacando o PostgreSQL/PostGIS; e, sobre os modelos para representar estruturas topológicas 3D. Na quinta seção são apresentados os materiais e métodos utilizados. O desenvolvimento e análise dos resultados, bem como os comentários finais e as conclusões são

apresentados nas duas últimas seções.

2. CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO

O conceito de Cadastro Territorial Multifinalitário, segundo a Federação Internacional dos Geômetras baseia-se no conceito de parcela, a qual é relacionada ao registro referente ao domínio do território, ou seja, o direito de propriedade. Um sistema cadastral pode ser estabelecido para propósitos fiscais (por exemplo, avaliação e taxaçaõ equitativa), legais (transferência) e para auxiliar na administração e gestão do uso da terra (por exemplo, no planejamento e outros propósitos administrativos). Dessa forma, o mesmo permite, também, o desenvolvimento sustentável e a proteção ambiental (FIG, 1995).

Buscando atingir os objetivos pressupostos do Cadastro, reuniram-se esforços na FIG para estabelecer metas, visando um cadastro completo, ressaltando as principais mudanças projetadas para os próximos 15 anos (contados a partir de 1997). Esses esforços, apresentados por Kaufmann e Steudler (1998), resultaram na proposta de como seria o cadastro no “futuro”, denominado na época de Cadastro 2014, onde os autores destacaram algumas das principais recomendações:

“o cadastro deve apresentar a situação territorial legal, de forma completa e atualizada, incluindo as restrições e conveniências tanto públicas quanto privadas; deve haver uma integração entre o cadastro e o registro territorial; a carta cadastral pura e simples deve ser substituída por sistemas de informações territoriais; o cadastro deve ser automatizado; o cadastro deve envolver os setores público e privado; o cadastro deve ser auto-sustentável economicamente”.

Objetivando atender a essas recomendações, muitos países desenvolveram modelos baseados no Cadastro 2014. Entre eles destaca-se a

Alemanha que, apesar de ter tradição em cadastro, priorizou o desenvolvimento de sistemas informatizados para fins cadastrais (SEIFERT, 2002). Porém, com o ritmo dos esforços e resultados obtidos, passou-se a pensar no Cadastro 2020 (HAWERK, 2006), onde tanto as leis como os sistemas computacionais deveriam estar prontos para a realização das metas do cadastro. Entretanto, Lemmens (2010) destaca que, além das necessidades advindas do Cadastro 3D, existe, também, uma preocupação com alguns dos objetivos do Cadastro, que ainda não estariam completamente atendidos até 2035.

Essas dificuldades na implementação do Cadastro proposto pela FIG remetem à evolução ocorrida na última década. Neste sentido, Lemmen e Van Oosterom (2001; 2002; 2004; 2006) destacam o esforço da comunidade internacional para o uso de sistemas automatizados (*hardware*, *software* e *peopleware*) e para a padronização de formatos de dados para fins cadastrais, objetivando o compartilhamento destes dados entre os usuários em geral.

Neste contexto, o Brasil vive um momento especial, no qual se buscam formas de padronização, em todos os aspectos (conceituais, legais, técnicos e administrativos).

Entre as principais necessidades da adoção de padrões está a possibilidade de compartilhamento de informações entre as várias organizações que têm atividades relacionadas ao gerenciamento territorial (BRANDÃO e SANTOS FILHO, 2008).

No Brasil, o conceito de Cadastro definido pela FIG é comumente conhecido como Cadastro Técnico ou Cadastro Imobiliário. O motivo disso pode ser devido à difusão do termo “Cadastro” como sendo qualquer registro de clientes ou de usuários contendo informações diversas referentes às pessoas físicas e jurídicas.

Nos últimos anos, principalmente após a publicação das diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros (Portaria Nº 511/2009 do Ministério das Cidades), a comunidade acadêmica tem discutido o significado dos termos “Cadastro Territorial Multifinalitário” e “Cadastro Técnico Multifinalitário”, sendo o último utilizado frequentemente quando se trata de outros tipos de Cadastros, tais como, cadastros de redes de

água, energia, telefonia, e outros. Ou seja, dos cadastros, que não tratam do território e que, portanto, não são parcelários como no caso do Cadastro Territorial Multifinalitário. (AMORIM et al., 2008; HOLZSCHUH, et al., 2010; AMORIM et al., 2012).

Ao abordar o termo “Cadastro Técnico Multifinalitário”, este trabalho amplia significativamente o espectro das discussões, principalmente no que diz respeito ao Cadastro 3D.

2.1 A Multifinalidade do Cadastro

O Cadastro Técnico Multifinalitário, como o próprio nome sugere, é um cadastro técnico que objetiva a disponibilização de dados para várias áreas do conhecimento.

Em geral, o CTM compreende a parte gráfica da parcela, definida como geométrica (coordenadas, cálculos, referenciais, e outros.), e a parte que representa o direito legal sobre a parcela com seus atributos, bem como cadastros sociais e ambientais, conceito este corroborado por vários autores (PHILIPS, 1996; LAUDON e LAUDON, 1999; BITTENCOURT e LOCH, 2008; CARNEIRO et. al, 2011). Neste sentido, o CTM tem como finalidade atender aos diferentes setores públicos e privados, porém, o mesmo é comumente usado nas administrações municipais.

Os avanços computacionais e os movimentos da era digital também influenciaram a implantação do CTM. Assim, buscando identificar esses impactos, um conceito difundido internacionalmente é o de Sistema de Informações Territoriais (SIT), que envolvem aspectos técnicos e de recursos humanos, podendo ser considerado como um sistema de aquisição, armazenamento, processamento e disponibilização de informações territoriais (STEUDLER e KAUFMANN, 2002). Este conceito varia entre os países, chegando a ser considerado, segundo Erba (2007), sinônimo de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Porém, no Brasil, existem muitas prefeituras que possuem esse sistema em formato analógico, não dispendo de recursos humanos capacitados para realizar a conversão destes para o formato digital.

Entre os sistemas mais difundidos nas prefeituras estão os Sistemas de Informações Geográficas com fins Cadastrais, aqui

apresentados como SIG Cadastral, abrangendo os aspectos legais, tecnológicos e humanos. O aspecto legal abrange um conjunto de leis que amparam e regulamentam as atividades cadastrais. O aspecto tecnológico envolve o gerenciamento dos dados cadastrais, englobando as técnicas e instrumentos de aquisição, armazenamento, recuperação e atualização dos dados. O aspecto humano é o que traz a funcionalidade ao SIG Cadastral, envolvendo basicamente treinamentos e atualizações (AMORIM et. al., 2008). O SIG Cadastral pode fornecer uma gama de informações para órgãos de saúde, educação, meio ambiente, planejamento, segurança, turismo, e outros.

Uma tecnologia que impactou a implantação do CTM foi a evolução computacional na área de Bancos de Dados Espaciais, a qual viabilizou o armazenamento e a manipulação de dados alfanuméricos e espaciais em uma mesma base de dados. Isso possibilitou que a execução do CTM, através do SIG Cadastral, pudesse ter um caráter multifinalitário e, conseqüentemente, multidisciplinar.

Segundo Amorim et al. (2008), os sistemas cadastrais podem assumir uma função mais abrangente, apresentando-se como um conjunto de informações organizadas para diversos departamentos e setores da administração municipal. Neste sentido, um sistema de gerenciamento de informações que contemple o banco de dados cadastral, com múltiplas finalidades, possibilita a manipulação desses dados apresentando informações de maneira adequada aos usuários, tornando-se um importante instrumento de apoio à tomada de decisão.

Sendo o uso de sistemas e ferramentas tecnológicas indispensáveis para o desenvolvimento do CTM, começaram a surgir novas aplicações do cadastro, entre eles, o cadastro tridimensional (3D).

2.2 Cadastro 3D

No ano 2000, na Universidade de Tecnologia de Delft - Holanda, teve início a pesquisa sobre a possibilidade do registro de uso do espaço no Cadastro 3D. Essa pesquisa foi realizada com a colaboração do Cadastro dos Países Baixos (STOTER e PLOEGER, 2003). Na sequência, vários países iniciaram

pesquisas com o objetivo de definir métodos e executar o Cadastro 3D, entre eles: Noruega, Suécia, Austrália, Israel e Malásia (STOTER et. al., 2004; SHOSHANI et. al., 2005; HASSAN et. al., 2008).

O Cadastro tradicional é baseado em uma divisão de terras por parcelas bidimensionais. Seus direitos e limites legais sobre a terra são registrados nestas parcelas. Porém, os limites da parcela não se restringem às bordas 2D, eles possuem a componente espacial tridimensional, ou seja, em altura e profundidade, conforme ilustra a Figura 1. Na maioria dos países, os direitos de propriedade iniciam no centro da terra e vão até o céu (STOTER e PLOEGER, 2003). Por sua vez o Cadastro 3D é um cadastro que objetiva trazer clareza aos direitos e restrições à propriedade, não apenas à parcela, mas à propriedade 3D da parcela (STOTER e VAN OOSTEROM, 2006).

A relação entre moradores e moradias (ou terras) é dinâmica, e alterações dinâmicas entre espaços 3D e o interior das moradias revela uma situação complexa, a qual deve ser tratada por partes. Dessa forma, representar esse processo dinâmico 3D em um sistema 2D gera, segundo Hu (2008), muitos problemas, sendo alguns deles relativos à visualização de objetos 3D, às operações geométricas e às topológicas.

O crescimento populacional das cidades durante as últimas décadas ocasionou uma busca por melhor aproveitamento do espaço, sendo muitas vezes dado como solução, o uso de

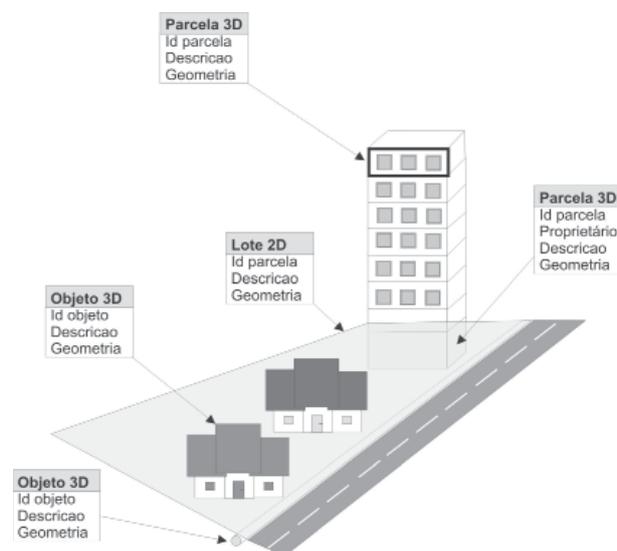


Fig. 1 – Exemplos de cadastro 3D: parcelas, subparcelas espaciais e serviços de logradouro (dufos, iluminação pública, e outros.).

edificações com mais de um pavimento (STOTER e VAN OOSTEROM, 2005). Principalmente em países que possuem pouca extensão territorial, populosos ou com grande vocação turística, a construção de edifícios passou a ser quase um padrão.

Dentro desse contexto (edificações com mais de um pavimento), Stoter e Ploeger (2003) apresentam estudos de caso representando situações complexas para o Cadastro nestes sistemas. O primeiro caso é a combinação de uma área pública com múltiplos pavimentos (estação de trem e rodoviária), um centro comercial e um Shopping Center, onde todas as partes desse complexo pertencem a diferentes proprietários. Isto é possível através da divisão das construções com mais de um pavimento como se fossem apartamentos, cada qual com seus direitos.

O direito de propriedade e a representação cartográfica são os problemas fundamentais envolvidos em edifícios. Como a parcela é representada bidimensionalmente, é praticamente impossível representar os diversos serviços que se encontram em um prédio comercial, por exemplo. Além disso, existem os direitos de propriedade que incidem sobre o lote, e as leis de condomínio, que preservam o uso de todos os proprietários do lote, além dos direitos de propriedade sobre o apartamento, que evidencia que o registro de imóveis já tem uma abordagem tridimensional, embora isso não esteja evidenciado (STOTER e VAN OOSTEROM, 2005).

Um Cadastro 3D não foca apenas a ideia de registro do proprietário do imóvel, também atende a outras necessidades (BILLEN e ZLATANOVA, 2003), como planejamento do uso e ocupação da terra, localização e visualização de cabos e dutos (água, eletricidade, telefonia, gás, cabos de fibra ótica, TV a cabo) que são criados para garantir a infraestrutura da cidade (STOTER et. al., 2004). Isso é importante para o planejamento público, futuras instalações de equipamentos, novos loteamentos, além de ordenar o uso do subsolo. Algumas aplicações e usos do cadastro 3D na América Latina são apresentadas por Erba et. al. (2012).

A representação gráfica do Cadastro 3D remete a uma visão aproximada da realidade, porém com a vantagem de possuir os mais variados tipos de atributos associados. Este tipo de informação envolve uma grande quantidade

de dados, os quais necessitam de acesso rápido e seguro, possibilitando consultas tanto alfanuméricas quanto geográficas por meio de um Sistema de Banco de Dados (SBD).

3. SISTEMA DE BANCO DE DADOS

O sistema de banco de dados, segundo Date (2003), pode ser considerado como sendo um sistema computadorizado, com a finalidade geral de armazenar informações e permitir que usuários busquem e atualizem essas informações quando solicitado. Ele envolve basicamente quatro componentes principais: dados, equipamentos, programas e usuários.

Os dados ficam armazenados em um Banco de Dados, que pode ser definido como um conjunto de dados devidamente relacionados (MACHADO, 2004). Esses dados são armazenados fisicamente em um hardware que envolve basicamente dispositivos de armazenamento, processadores e memória.

Devido à elevada quantidade de dados a serem gerenciados, surgiu o Sistema de Gerência de Banco de Dados (SGBD). Segundo Damas (2007), o SGBD é uma aplicação informatizada que fornece a interface entre os dados, armazenados fisicamente no banco de dados, e o usuário.

Um BD é composto por Linguagens de Manipulação de Dados (DML - *Data Manipulation Language*), que dão suporte à definição de objetos dos bancos de dados, além de Linguagens de Definição de Dados (DDL - *Data Definition Language*), que permitem a manipulação desses objetos. Essas definições são comuns na área de banco de dados e maiores detalhes podem ser encontrados em Silbershatz, Korth e Sudarshan (2006), Özsu e Valduriez (2001), Date (2003), Machado (2004). Entre os bancos de dados com suporte a dados espaciais estão o *Oracle Spatial*, o *MySQL*, o *PostgreSQL/PostGIS*, *DB2 Espacial Extender*, e outros.

3.1 Extensão Espacial PostGIS

O PostGIS é uma extensão espacial sobre o PostgreSQL, compatível com as padronizações do OpenGIS/OGC (<http://www.opengeospatial.org/>). Foi desenvolvido pela empresa *Refraction Research Inc*, como um projeto de tecnologia “código aberto” de banco de dados espacial, com Licença Pública Geral (GPL - *General Public*

Licence). Entre os tipos espaciais suportados pelo PostGIS e embutidos na linguagem de programação SQL (*Structured Query Language*) do PostgreSQL estão: ponto, linha, polígono, multiponto, multilinha, multipolígono, coleção de geometrias.

O OpenGIS define duas formas de armazenar objetos espaciais (Figura 2), a forma *Well-Known Text* (WKT) e a forma *Well-Known Binary* (WKB). Para poder armazenar dados 3D, o PostGIS possui a extensão aos padrões WKT e WKB, denominados *Extended Well-known Text* (EWKT) e *Extended Well-known Binary* (EWKB), detalhadas em PostGIS (2013). Para suportar o armazenamento de dados espaciais, o PostGIS utiliza as tabelas de metadados.

As tabelas de metadados do PostGIS seguem as especificações da SFSQL (*Simple Features Specification for SQL*) e são apresentadas nas Tabelas 1 e 2. O PostGIS utiliza duas tabelas de metadados. Uma denominada *spatial_ref_sys*, que é utilizada para manipular os sistemas de coordenadas, e outra denominada *geometry_columns*, que auxilia na definição de colunas espaciais em outras tabelas, através de restrições geométricas predefinidas.

O atributo *srid* é um identificador com valor inteiro e é chave primária para identificar exclusivamente o Sistema de Referência Espacial (SRS - Spatial Referencing System) dentro do banco de dados ao qual os dados estão referenciados. O atributo *auth_name* define o nome do padrão ou padrões onde são citados os sistemas de referência, por exemplo, o EPSG (European Petroleum Survey

Tabela 1: Metadados do sistema de referência espacial

spatial_ref_sys		
Atributo	Tipo	Modificador
srid	INTEGER	PK
auth_name	VARCHAR(256)	
auth_srid	INTEGER	
srtext	VARCHAR(2048)	
proj4text	VARCHAR(2048)	

Tabela 2: Metadados das tabelas com colunas espaciais

geometry_columns		
Atributo	Tipo	Modificador
f_table_catalog	VARCHAR(256)	PK
f_table_schema	VARCHAR(256)	PK
f_table_name	VARCHAR(256)	PK
f_geometry_column	VARCHAR(256)	PK
coord_dimension	INTEGER	
srid	INTEGER	FK
Type	VARCHAR(30)	

Group), que associa uma codificação numérica a um sistema de coordenadas cartográficas. Já o atributo *auth_srid* é o ID do Sistema de Referência Espacial (SRID) como definido pela autoridade citada no *AUTH_NAME*. No caso do EPSG, é onde o código de projeção EPSG ficaria. O *SRTEXT* é a representação de *Well-Known Text* do Sistema de Referência Espacial (WKT SRS), onde aparecem as projeções e parâmetros correspondentes. As potencialidades de transformação de coordenadas são feitas no PostGIS através da biblioteca Proj4. A coluna de *PROJ4TEXT* contém a definição de coordenada Proj4 para um SRID particular.

Os atributos catálogo (*f_table_catalog*) e esquema (*f_table_schema*), definem a localização da tabela armazenada na coluna nome da tabela (*f_table_name*), e qual dos seus atributos contém dados geométricos (*f_geometry_column*). A dimensão das geometrias armazenadas está na coluna *coord_dimension*, e o sistema de referência espacial usado para estes dados é armazenado na coluna *srid*, que faz referência à tabela *spatial_ref_sys*, apresentado na Tabela 1. O tipo do dado armazenado é descrito na coluna *type*, entre eles, está o tipo POINT, LINE, POLYGON, MULTIPOINT, e outros.

Com relação aos operadores topológicos, a extensão espacial PostGIS disponibiliza algumas

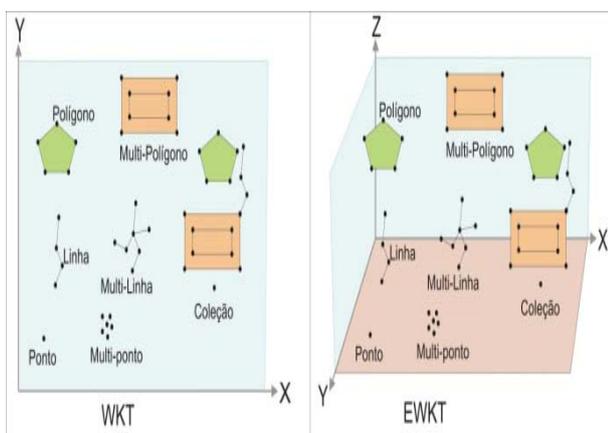


Fig. 2 – Dados espaciais a serem armazenados no PostGIS usando o padrão WKT para dados 2D e o padrão EWKT para dados 3D ou 4D. Fonte: Holzschuh et. al. (2010).

funções para realizar as consultas topológicas. Entre as principais estão as relacionadas na Tabela 3.

A maioria dos Bancos de Dados Espaciais (incluindo o PostgreSQL com sua extensão espacial PostGIS) oferece suporte para o armazenamento de pontos, linhas e polígonos, tanto 2D como 3D, porém, não para tipos de dados volumétricos (STOTER, 2004). Assim, uma das alternativas propostas até o momento, é o uso de primitivas 3D de polígonos e, a

Tabela 3: Exemplo de alguns dos principais operadores topológicos disponíveis no PostGIS. Fonte: Queiroz e Ferreira (2005).

Operadores	Comandos
Operadores topológicos conforme a Matriz de 9-Interseções dimensionalmente estendida	<code>equals(geometry, geometry)</code>
	<code>disjoint(geometry, geometry)</code>
	<code>intersects(geometry, geometry)</code>
	<code>touches(geometry, geometry)</code>
	<code>crosses(geometry, geometry)</code>
	<code>within(geometry, geometry)</code>
	<code>overlaps(geometry, geometry)</code>
Operador de construção de mapas de distância	<code>contints(geometry, geometry)</code>
	<code>relate(geometry, geometry)</code> retorna a matriz de intersecção
Operador para construção de mapas de distância	<code>buffer(geometry, double)</code>
Operador para construção do Fecho Convexo	<code>convexhull(geometry)</code>
Operadores de Conjunto	<code>intersection(geometry, geometry)</code>
	<code>geoUnion(geometry, geometry)</code>
	<code>symdifference(geometry, geometry)</code>
	<code>difference(geometry, geometry)</code>
Operadores Métricos	<code>distance(geometry, geometry)</code>
	<code>area(geometry)</code>
Centróide de geometrias	<code>centroid(geometry)</code>
Validação (verifica se a geometria possui auto-interseções)	<code>isSimple(geometry)</code>

partir destes, serão construídos os objetos volumétricos.

4. MODELOS PARA REPRESENTAR ESTRUTURAS TOPOLÓGICAS 3D

A necessidade de diferentes modelagens é explicada pelas diferentes características das estruturas cadastrais 3D a serem armazenadas, como, por exemplo, divisões planas e espaciais, o uso de primitivas, regras de construção, orientação e relações implícitas e explícitas (VAN OOSTEROM et al., 2002).

A escolha de qual modelo topológico utilizar está diretamente ligada ao tipo de aplicação envolvida. Entre os vários modelos disponíveis, destacam-se a Estrutura Formal de Dados 3D (*3D Formal Data Structure – 3D FDS*), a Rede de Tetraedros (*TETrahedral Network - TEN*), Modelo Espacial Simplificado (*Simplified Spatial Model - SSM*) e a Representação por Bordas (*Boundary Representation - B-Rep*).

A 3D FDS é a primeira estrutura de dados a considerar objetos espaciais, integrando a geometria com as propriedades (MOLENAAR, 1990). Ela utiliza uma série de primitivas topológicas (nó, aresta, face e volume) para representar um volume.

A rede de tetraedros é uma abordagem introduzida por Pilouk (1996) para suprir dificuldades do modelo 3D FDS quanto à modelagem de objetos com bordas indiscerníveis, como formações geológicas, nuvens de poluição, e outros. A TEN utiliza uma abordagem de orientação simples para representar objetos 3D do mundo real. Uma aplicação usando a TEN é apresentada por Penninga e Van Oosterom (2007), na qual o objetivo foi desenvolver uma estrutura capaz de manipular uma grande quantidade de dados e oferecer suporte a consultas, análises e validações.

O Modelo SSM foi desenvolvido para atender aplicações para a Internet com várias consultas e visualizações. Os objetos básicos são quatro (ponto, linha, face e volume), porém as primitivas usadas são duas, nó e face. O motivo de omitir o arco no armazenamento dos objetos é que a singularidade na relação arco-face em objetos espaciais 3D é perdida, ou seja, um arco pode ser parte de mais de duas faces. A primitiva 3D não é mantida, bem como a face convexa para representação de objetos em 3D.

As faces devem ser planares, e a singularidade de nó-em-face e face-em-volume são armazenadas explicitamente (ZLATANOVA et al., 2004).

O método de representação B-Rep possui como principal característica o armazenamento de objetos sem ambiguidade (ZEID, 1991). Este modelo descreve um objeto por meio das superfícies que o limitam e das arestas e nós (geometria) que estas superfícies (ou faces) apresentam. Essas superfícies são fechadas, ou seja, são conjuntos de faces que não possuem interrupções. Sendo assim, conforme é apresentado na Figura 3, o objeto é formado pelo conjunto de faces (F1, F2, ..., F6), que são conectadas por arestas (A1, A2, ..., A12), as quais são formadas pelos nós (P1, P2, ..., P6).

Por meio da orientação das faces, é possível identificar quais as superfícies que limitam os objetos, onde cada face possui um vetor normal, que aponta para fora do objeto modelado, permitindo assim obter-se uma clara separação entre interior e exterior do objeto (ZEID, 1991). A Figura 3 mostra a criação de um objeto utilizando o modelo de representação B-Rep. A geometria é dada pelos nós que, associados, formam a topologia do objeto, ou seja, as faces limitadas pelas arestas, originando o objeto 3D.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho versa sobre a representação e o armazenamento dos dados do Cadastro 3D. Sendo assim, trabalhou-se apenas com a modelagem de dados para o armazenamento de objetos que representem geometrias fechadas, ou seja, poliedros, cilindros e a combinação de ambas, objetivando apresentar uma proposta inicial de modelagem para o armazenamento de dados cadastrais 3D em um banco de dados espaciais. Assim, esses dados são referentes apenas ao cadastro da edificação existente nas parcelas espaciais.

Os dados utilizados foram simulados, e referem-se às características para representar um edifício com sete pavimentos, uma edificação térrea e uma edificação cilíndrica (Figura 4a).

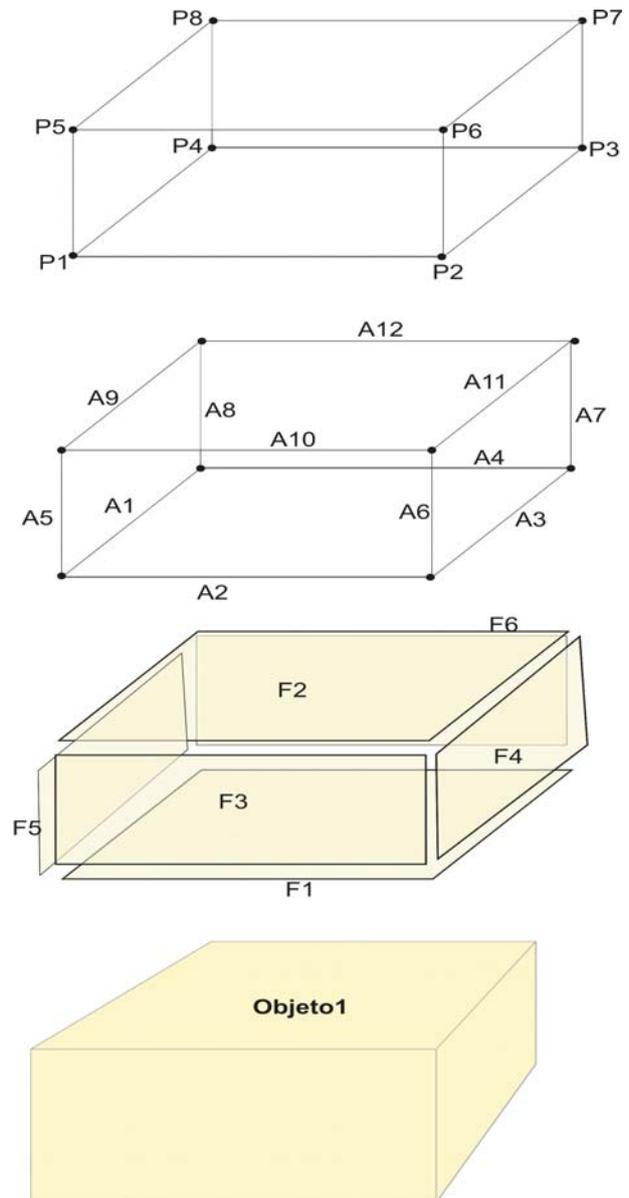
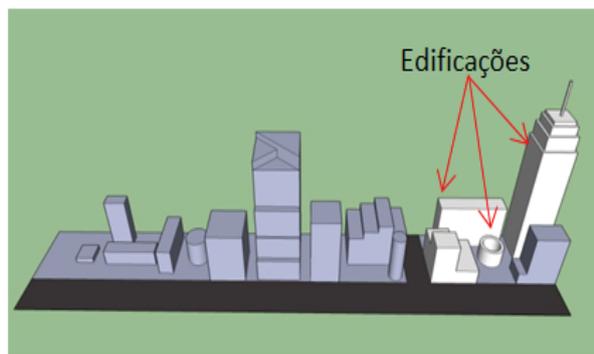


Fig. 3 – Representação de um objeto usando a estrutura B-Rep.

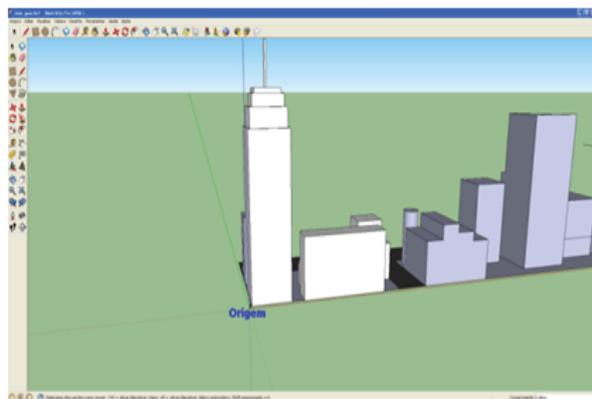
Este modelo foi gerado usando o software *Google SketchUp 8*, versão de teste.

Para a obtenção das coordenadas dos dados simulados, definiu-se que o sistema de referência das coordenadas teria como origem o ponto zero para os três eixos (X, Y e Z) (Figura 4b). Os nós com suas respectivas coordenadas são apresentados na Tabela 4.

A partir da definição dos objetos 3D a serem usados no presente trabalho, representou-se os relacionamentos entre as tabelas usando a



a



b

Fig. 4 – (a) Objetos tridimensionais, gerados aleatoriamente, para o cadastro 3D; (b) indicação da origem do sistema.

notação de Entidade-Relacionamento Estendida (*Extended Entity-Relationship*, EE-R) do MySQL Workbench, versão 5.2.

Para representar os diferentes objetos 3D, utilizou-se a estrutura de dados baseada em nós, a partir dos quais é possível reconstruir tanto objetos no formato de poliedros como cilindros, bem como combiná-los para objetos compostos.

Cabe ressaltar que, entre as principais modificações para atender ao Cadastro, está o armazenamento e a representação dos objetos envolvidos como sendo um volume. Esta combinação do cadastro com o modelo de representação B-Rep demonstrou-se promissora para o cadastro 3D.

6. DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O diagrama EE-R (Figura 5) para o banco de dados objeto-relacional resultou em dez relações (tabelas). Essas relações são usadas para representar objetos 3D referentes às ações antrópicas desenvolvidas nas parcelas 3D.

A tabela *No* é a mais importante, pois a partir dela é possível construir os demais objetos. Esta apresenta as coordenadas de cada nó, a partir das quais se pode gerar as coordenadas dos demais objetos (aresta, face e poliedro). O relacionamento de cardinalidade “um para muitos” é usado para indicar que um nó pode pertencer a uma ou mais arestas. Assim, um nó é formado pelas coordenadas XYZ, conforme descrito na Figura 5 e na tabela *No*. Como um nó sempre fará parte de uma ou mais arestas, é obrigatória a utilização do código do nó (chave primária), como chave estrangeira na tabela *Aresta*.

Uma face é formada por, no mínimo, três arestas, não possui um número máximo de arestas. Portanto, para representar a relação entre a tabela *Face* e a tabela *Aresta* é necessário utilizar um relacionamento de “muitos para muitos”. Cada relacionamento do tipo “muitos para muitos” entre duas tabelas, representado pela tabela *Aresta* e pela tabela *Face*, resulta em uma nova tabela, denominada *ArestaFace*. A tabela *ArestaFace* terá duas chaves estrangeiras como participantes do relacionamento, a *Aresta_idAresta* que possui origem na tabela *Aresta*, onde é chave primária (*idAresta*) e a *Face_idFace* que possui origem na tabela *Face*, na qual é chave primária (*idFace*).

O poliedro é formado por um conjunto de faces um mínimo de quatro faces (no caso de um tetraedro), não tem um número máximo de faces.

Um poliedro é descrito pelo conjunto de faces, as quais são formadas por um conjunto de arestas e estas, por sua vez, formadas por nós (pontos). Apenas esses pontos envolvem

Tabela 4: Coordenadas dos dados usados nos experimentos para validação da modelagem

Objetos	Coordenadas		
	X	Y	Z
Lote1	27,89	2,12	0
	1,37	2,12	0
	1,36	25,69	0
	27,89	25,69	0
Lote2	1,36	41,36	0
	27,89	41,36	0
	27,89	25,69	0
	1,36	25,69	0
Lote3	27,89	41,36	0
	80,18	41,36	0
	80,18	2,12	0
	27,89	2,12	0
Lote4	80,18	-11,68	0
	27,89	-11,68	0
	27,89	2,12	0
	80,18	2,12	0
Prédio1	1,52	22,18	70
	21,52	22,18	70
	1,52	2,18	70
	21,52	2,18	70
Prédio2	1,52	29,21	30,24
	21,12	41,36	30,24
	1,52	41,36	30,24
	21,12	29,21	30,24
Cilindro	37,18	21,45	0
	37,18	21,45	10

Quadro 1: Comando SQL para consultar quais as faces que compõem o poliedro (objeto 1).

```
SELECT face.idface, face.descricao FROM
face, poliedro, facepoliedro

WHERE poliedro.idpoliedro = facepoliedro.
poliedroidpoliedro AND face.idface = face-
poliedro.faceidface AND poliedro.idpoliedro
= 1;
```

Quadro 2: Comando SQL para consultar quais as arestas que compõem uma face em específico.

```
SELECT aresta.idaresta, aresta.descricao
FROM aresta, face, arestaface

WHERE face.idface = arestaface.faceidface

AND aresta.idaresta = arestaface.arestaida-
resta

AND face.idface = 1
```

Quadro 3: Comando SQL para consultar quais os nós que compõem as arestas envolvidas.

```
SELECT DISTINCT aresta.idaresta, aresta.
descricao FROM aresta, face, arestaface
WHERE face.idface = arestaface.faceidface
```

informações espaciais, o que resulta em consultas mais simples computacionalmente.

Outras tabelas são usadas para o cadastro de informações adicionais, como por exemplo, dados referentes ao lote e ao proprietário, interligando dados alfanuméricos e geométricos. Destaca-se que na modelagem desenvolvida, o foco principal não foi o limite do lote, e sim, os limites dos objetos 3D nele construídos.

As coordenadas dos nós que compõem as feições são obtidas a partir das consultas SQL. Para o objeto 1, apresentado na Figura 4, é possível obter as faces que o compõem usando o comando SQL apresentado no quadro 1. Identificadas as faces, foram consultadas as arestas que compõem essas faces, para isso, foi usado o comando SQL apresentado no quadro 2.

Com a identificação das arestas utilizadas para a composição das faces e, respectivamente, as faces utilizadas para reconstruir o poliedro, puderam ser selecionados os nós envolvidos. Isso é feito por meio da consulta apresentada no quadro 3.

Para recuperar os nós que compõem o objeto 1 de maneira direta, pode-se utilizar o comando SQL apresentado no quadro 4

6. CONCLUSÕES

Com o presente trabalho foi possível constatar a viabilidade do armazenamento e recuperação tridimensional das coordenadas envolvidas no cadastro 3D (lotes, construções, redes de esgoto, tubos de gás, e outros.). Assim, a modelagem de dados desenvolvida proporciona subsídios para uma posterior utilização em softwares de visualização dos dados.

Existem ferramentas para a visualização de dados tridimensionais a partir do BDG. Porém para casos e BDG específicos, como apresenta Hassan Rahman (2010), existe a necessidade do desenvolvimento de sistemas que permitam a integração entre o usuário final e a base de dados. A visualização dos dados armazenados é de fundamental importância para o planejamento.

O BDG utilizado ainda não possui funções

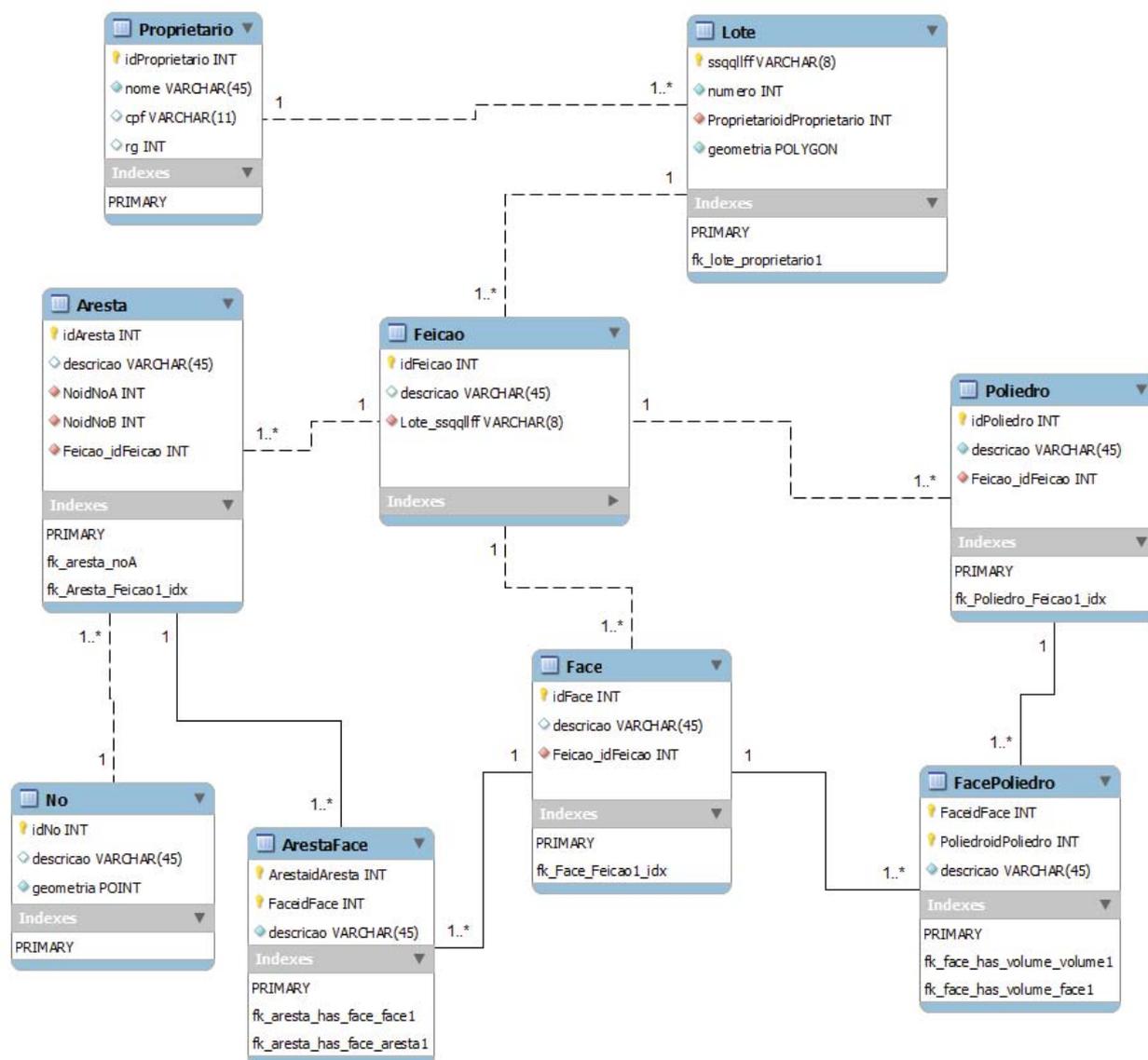


Fig. 5 – Diagrama EE-R para os relacionamentos entre os objetos (poliedro, cilindro e a combinação de ambos) e as primitivas (ponto, linha e polígono).

implementadas que permitam a execução de operações volumétricas, de vizinhança, bem como de operações topológicas envolvendo os objetos 3D armazenados. Vale ressaltar que o desenvolvimento destas funções será objeto de estudos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, A.; SOUZA, G. H. B. de ; YAMASHITA, M. C. Cadastro Técnico Multifinalitário Via Internet: um importante instrumento de apoio ao planejamento municipal. **Revista Brasileira de Cartografia**. nº 60/2. 2008. 119 – 125p.

AMORIM. A.; MALAMAN, C. S.; SASS, G. G. A modernização dos processos de atualização cadastral e as análises temporais. *Revista*

Brasileira de Cartografia. nº 65/2. 2012. p. 375-382.

BILLEN, R.; ZLATANOVA, S. 3D spatial relationships model: a useful concept for 3D cadastre? *Computers, Environment and Urban Systems*, 27(4), 2003, 411-425p.

BITTENCOURT, R.B.; LOCH, C., 2008. O Cadastro Técnico Multifinalitário e a Regularização ambiental de Propriedades de Suinocultura. In COBRAC - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, Santa Catarina, 2008, 1-4p.

BRANDÃO, A. C.; SANTOS FILHO, A. V. dos. *Revista VeraCidade*, ano 3, nº 3, maio de 2008, s/p.

CARNEIRO, A. F.; ERBA, D. A.; AUGUSTO,

- E. A. A. Cadastro Multifinalitário 3D: Conceitos e perspectivas de implementação no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 64/2. 2012. p. 257-271.
- FIG. **Statement on the cadastre. International Federation of Surveyors**, FIG Bureau, Canberra, Australia. 1995. Disponível em: <http://www.fig.net/commission7/reports/cadastre/statement_on_cadastre.html>. Acesso em: 20/05/2013.
- DAMAS, L.. **SQL: Structured Query Language**. 6th ed., Rio de Janeiro: LTC, 2007, 396 p.
- DATE, C. J.; **Introdução a sistemas de banco de dados**. Tradução de Daniel Vieira. Elsevier, Rio de Janeiro, 2003, 896 p.
- ERBA, D. A.; LOCH, C. **Cadastro Técnico Multifinalitário: rural e urbano**. Cambridge, Instituto Lincoln, 2007, 142 p.
- ERBA, D. A.; 3D Cadastres in South America. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 64/6. 2012. p. 887-900.
- HASSAN, M.I.; RAHMAN, A.. An integrated 3D cadastre – Malaysia as an example. In: **FIG Congress 2010**, Sidney, Australia, 2010, pp.121-126.
- HAWERK, Winfried. Cadastre for the 21Century. In: **FIG XXIII International Congress**. Munich, Germany, October 8-13, 2006.
- HOLZSCHUH, AMORIM, A.; SOUZA, Guilherme Barros de. Cadastro 3D e Banco de Dados espaciais: Estudo de caso representando Parcelas espaciais no Brasil. **COBRAC 2010** - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - UFSC Florianópolis, 10 a 14 de Outubro de 2010, s/p.
- HU, M. SEMANTIC BASED LOD MODELS OF 3D HOUSE PROPERTY. In: **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 2008, 95-102p.
- KAUFMANN, J.; STEUDLER, D. Cadastre 2014: A Vision for a Future Cadastral System. 1998 (Rheinfall, Switzerland: **FIG**) 44 p.
- LAUDON, C.K.; LAUDON, J.P. **Information systems and the internet**, Rio de Janeiro: LTC, 1999.
- LEMMENS, M. Towards Cadastre 2034. In: **GIM International**. 2010. Disponível em: <http://www.gim-international.com/issues/articles/id1587-Towards_Cadastre.html>, Acessado em: 05/08/2013.
- LEMMEN, C., VAN OOSTEROM, P. Editorial first special issue on Cadastral Systems I. In: **Computers, Environment and Urban Systems**, 2001, 25(4-5).
- LEMMEN, Chrit, VAN OOSTEROM, P. Editorial second special issue on Cadastral Systems II. In: **Computers, Environment and Urban Systems**, 2002, 26(5).
- LEMMEN, C.; VAN OOSTEROM, P. 3D Cadastres. **Computers, Environment and Urban Systems III**, 27(4), 2004. 337-343p.
- LEMMEN, C.; VAN OOSTEROM, P. 3D Cadastres. **Computers, Environment and Urban Systems IV**, 27(4), 2006, 337-343p.
- MACHADO, F. N. R. **Banco de dados: projeto e implementação**. Érica, São Paulo, 2004, 398 p.
- MOLENAAR, M., 1990. A formal data structure for 3D vector maps. In: **Proceedings of EGIS'90**, Vol. 2. Amsterdam, The Netherlands, 770-781p.
- VAN OOSTEROM, P.V. et al. **The Balance Between Geometry and Topology**. In international Symposium on Spatial Data Handling. Ottawa: Springer, 2002, pp 209-224.
- ÖZSU, M.T. & VALDURIEZ, P. **Princípios de Sistemas de Bancos de Dados Distribuídos**, Campus, 2001, 736 p.
- PENNINGA, F.; VAN OOSTEROM, P. **A Compact Topological DBMS Data Structure For 3D Topography**. In S. I. Fabrikant & M. Wachowicz, eds. The European Information Society. Berlin, Germany: Springer, 2007, pp. 455-471.
- PHILIPS, J.; Os dez mandamentos para um Cadastro moderno de bens imobiliários. In: **COBRAC - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, 2. Florianópolis, 1996. **Anais**. 170-183P.
- PILOUK, M.,. **Integrated modelling for 3D GIS**. Ph.D. Dissertation, ITC, The Netherlands, 1996, 200 p.
- POSTGIS. **PostGIS 2.0 Manual**. Disponível em:

<http://postgis.net/docs/manual-2.0/>, Acessado em: 29/05/2013.

QUEIROZ, G.R.D.; FERREIRA, K.R. SGBD com extensões espaciais. In M. A. Casanova et al., eds. **Banco de Dados Geográficos**. Curitiba, Paraná, Brasil: MundoGEO, 2005, pp. 281-316.

RAHMAN, A.A.; HUA, T.C.; VAN OOSTEROM, P. V. Embedding 3D into Multipurpose Cadastre. In: **FIG Working Week 2011 Bridging the Gap between Cultures Marrakech**, Morocco, 18-22 May 2011.

SEIFERT, Markus. On the Use of ISO Standards in Cadastral Information Systems in Germany. In: **FIG XXII International Congress. Washington, D.C. USA**, April 19-26, 2002.

SHOSHANI, U. et al. A multi layers 3d cadastre in Israel: a research and development project recommendations. In: **FIG Working Week 2005 and GSDI-8**. Cairo, Egypt, 2005, pp. 1-16.

SILBERSCHATZ, A., KORTH, H.F.; SUDARSHAN, S. **Sistema de Banco de Dados**. 5th ed., Rio de Janeiro: Elsevier, 2006, 904 p.

STEUDLER, D.; KAUFMANN, J. Benchmarking Cadastral Systems. **FIG, Commission 7 –**

Cadastre and Land Management, 1998, 77 p.

STOTER, J.; PLOEGER, H. Property in 3D—registration of multiple use of space: current practice in Holland and the need for a 3D cadastre. **Computers, Environment and Urban Systems**, 27(6), 2003 pp.553-570.

STOTER, Jantien et al. Conceptual 3D Cadastral Model Applied in Several Countries. In **FIG Working Week 2004**, 2004, pp. 22-27.

STOTER, J. E.; VAN OOSTEROM, P. M. Van. Technological aspects of a full 3D cadastral registration. **International Journal of Geographical Information Science**, 19(6), 2005, pp.669-696.

STOTER, Jantien; VAN OOSTEROM, P. **3D Cadastre in an International Context: legal, organizational and technological aspects**. New York, EUA: CRC Taylor & Francis, 2006, 334 p.

ZEID, I. **CAD/CAM Theory and Practice**, McGraw-Hill, United States, 1991, p 576.

ZLATANOVA, Siyka; RAHMAN, A. A.; SHI, W. Topological models and frameworks for 3D spatial objects. **Computers & Geosciences**, 30(4), 2004, pp.419-428.