



MARCELO LEANDRO HOLZSCHUH

**REPRESENTAÇÃO E ARMAZENAMENTO
DE DADOS CADASTRAIS 3D EM BANCO DE
DADOS GEOGRÁFICOS**

Presidente Prudente

2013

MARCELO LEANDRO HOLZSCHUH



**REPRESENTAÇÃO E ARMAZENAMENTO
DE DADOS CADASTRAIS 3D EM BANCO DE
DADOS GEOGRÁFICOS**

Tese de Doutorado
apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Ciências Cartográficas.

Amilton Amorim
Orientador

Milton Hirokazu Shimabukuro
Coorientador

Presidente Prudente

2013

FICHA CATALOGRÁFICA

H719r Holzschuh, Marcelo Leandro.
Representação e armazenamento de dados cadastrais 3D em banco de dados geográficos / Marcelo Leandro Holzschuh. - Presidente Prudente : [s.n], 2014
91 f. : il.

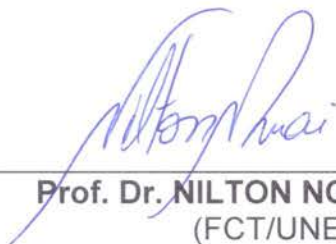
Orientador: Amilton Amorim
Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia
Inclui bibliografia

1. Cadastro 3D. 2. Parcela Espacial. 3. Banco de Dados Geográficos. I. Amorim, Amilton. II. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. III. Representação e armazenamento de dados cadastrais 3D em banco de dados geográficos.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. AMLTON AMORIM
ORIENTADOR



Prof. Dr. NILTON NOBUHIRO IMAI
(FCT/UNESP)



Prof. Dr. MESSIAS MENEGUETTE JUNIOR
(FCT/UNESP)



Prof. Dr. JUGURTA LISBOA FILHO
(UFV)



Prof. Dr. JURGEN W PHILIPS
(UFSC)



MARCELO LEANDRO HÖLZSCHUH

Presidente Prudente (SP), 28 de novembro de 2013.

Resultado: APROVADO

DADOS CURRICULARES

MARCELO LEANDRO HOLZSCHUH

NASCIMENTO: 13/05/1981 – Cunha Porã – Santa Catarina.

Filiação: Wilson Alcídio Holzschuh

Lenita Lenira Holzschuh

1998 – 2003: Curso de Graduação

Bacharelado em Informática

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das

Missões – Campus de Frederico Westphalen

2005 – 2007: Curso de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas à

nível de Mestrado, na Faculdade de Ciências e

Tecnologia – UNESP – Campus de Presidente Prudente

2009 – 2013: Curso de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas à

nível de Doutorado, na Faculdade de Ciências e

Tecnologia - UNESP – Campus de Presidente Prudente

RESUMO

Existe uma preocupação global com relação às necessidades do cadastro, entre elas, o Cadastro 3D. Nesta tese são apresentadas algumas definições envolvendo o Cadastro Territorial Multifinalitário, com ênfase no armazenamento de parcelas 3D, 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 cadastro, e com a necessidade de 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 utilizados métodos de modelagem 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 utilizada neste artigo. O método B-Rep é utilizado para representar a superfície de objetos sólidos. A partir deste método, desenvolveu-se uma modelagem para o Banco de Dados 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 utilizado em áreas afins para dados 3D. Através dos experimentos foi possível comprovar a identificação inequívoca da parcela, do imóvel, da quadra e do setor, com sua geométrica tridimensional, respectivamente. Esses resultados viabilizam a integração entre o registro e o cadastro de parcelas tridimensionais.

Palavras-chave: Cadastro 3D, Parcela Espacial, Banco de Dados Geográficos.

ABSTRACT

There is a global concern about the needs of land record, including the 3D cadastre. This thesis 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 space extension PostGIS, with goal of to store and to recoup volumetric cadastral objects. The potential of the B-Rep model was observed in the representation of 3D objects cadastral, which already was used in similar areas for representations 3D data. Through the experiments it was possible to prove the unequivocal identification of the parcel of property, the court and the industry, with its three-dimensional geometry, respectively. These results enable the integration between the recording and registration of three-dimensional plots.

Palavras-chave: Cadastro 3D, Parcela Espacial, Banco de Dados Geográficos.

DEDICATÓRIA

À esposa Verônica e filha Maria Eduarda,

Aos Pais e irmãos

Presentes de Deus.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois sem Ele eu não estaria aqui.

A minha Esposa pela compreensão e muitas vezes tendo que desempenhar o papel de “pai e mãe” para nossa Filha que Deus nos presenteou em 2010.

A meus pais pelo exemplo de vida que são, pela dedicação no ensino da honestidade, humildade, perseverança, compaixão, bravura, e tantos mais que não conseguiria listar todos. Aos Irmãos que sempre lutaram “por um lugar ao sol”, me amparando em vários momentos. Ao sogro e a sogra, cunhados e cunhadas, pelo apoio durante minhas ausências.

Aos Orientadores Dr. Amilton Amorim e Dr. Milton Hirokazu Shimbukuro, pela paciência, incentivo, prestatividade e compreensão nas horas que não pude estar presente.

Aos professores do departamento de Cartografia e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, aos funcionários da FCT e aos alunos da sala de permanência que, de forma direta ou indireta, contribuíram com a realização do presente trabalho. É difícil quantificar a ajuda de cada um, porém, indiferente da quantidade e forma que ajudaram, fico imensamente grato pelos momentos que estive na sala de permanência e convivi com eles. Foram tantos amigos, de estudo, de “cervejadas” (isso não me pertence mais), de jogos, de brincadeiras, de churrascos, de “rodas de café”, de desabafos, em fim, uma verdadeira família, com todos os prós e contras. Alguns dos amigos estavam mais presentes no início da caminhada outros no final. Não posso citar todos, pois são MUITOS, porém levo todos comigo, onde quer que eu vá.

Aos professores, funcionários e alunos da Universidade Estadual de Mato Grosso pelo apoio nos momentos difíceis e, oportunidades disponibilizadas.

Ao pessoal do projeto Pacto do Xingu para o combate ao desmatamento ilegal, do Ministério do Meio Ambiente.

À CAPES, pelos dois anos de bolsa que auxiliaram no desenvolvimento do presente trabalho.

EPÍGRAFE

“Deus não nos ensina a fazer, mas por meio de parábolas nos força a encontrar a solução”.

Amilton Amorim.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração do conceito de Cadastro da FIG.	19
Figura 2 – Exemplos de Cadastro 3D: parcelas espaciais e serviços de logradouro (dutos, iluminação pública, e outros.).....	23
Figura 3 – Exemplos de sobreposição de parcelas.....	24
Figura 4 – (a) Diferentes parcelas que se localizam um imóvel bidimensional e (b) tridimensional.	27
Figura 5 – Componentes da arquitetura de um SGBD.....	32
Figura 6 – Exemplo de Banco de Dados Relacional.	34
Figura 7 – Tipos de dados espaciais a serem armazenados no PostgreSQL com a extensão espacial Postgis, utilizando o padrão WKT para dados 2D e o padrão EWKT para dados 3D ou 4D.....	40
Figura 8 – Matriz de 4-interseções para relações entre duas regiões com bordas conectadas.....	45
Figura 9 – Relacionamentos entre objetos 3D a partir da matriz de 4-inteseções estendida para o 3D.....	46
Figura 10 – Estrutura Formal de Dados: implementação relacional.....	48
Figura 11 – Rede de Tetraedros (TEN): implementação relacional.	49
Figura 12 – Modelo de Dados Urbanos (UDM).	50
Figura 13 – Modelo Espacial Simplificado (SSM).....	51
Figura 14 – Representação de um objeto usando a estrutura B-Rep.	52
Figura 15 – Representação da estrutura B-Rep em um banco de dados relacional.	53
Figura 16 – Exemplo de pacote, onde são armazenados os temas (classes e relações) na ferramenta ArgoCaseGeo.....	58
Figura 17 – Estereótipos do Modelo UML-GeoFrame.....	58
Figura 18 – a) Foto de uma situação que exige cadastro tridimensional. b) Representação gráfica do Cadastrado parcelário bidimensional. c) Representação gráfica do Cadastro 3D das parcelas espaciais.	61
Figura 19 – Foto da sobreposição de ruas, ilustrando outra aplicação do cadastro tridimensional.	62
Figura 20 – Exemplo de identificadores de setor, quadra, imóvel e parcela.	63
Figura 21 – Modelagem de dados e seus relacionamentos entre as superfícies cadastráveis.	65
Figura 22 – (a) Objetos tridimensionais, gerados aleatoriamente, para o Cadastro 3D; (b) indicação da origem do sistema.	67
Figura 23 – Diagrama EE-R para os relacionamentos entre os objetos (poliedro, cilindro e a combinação de ambos) e as primitivas (ponto, linha e polígono).....	70
Figura 24 – Ilustração da representação gráfica dos dados simulados para o experimento.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplos de identificadores de parcelas e alguns critérios para seleção.	27
Tabela 2 – Principais servidores de Bancos de Dados Espaciais registrados no <i>Open Geospatial Consortium</i> (OGC).	38
Tabela 3 – Tabela de metadado do sistema de referências espaciais.	41
Tabela 4 – Tabela de metadado das tabelas com colunas espaciais.	42
Tabela 5 – Exemplo de alguns operadores espaciais disponíveis no PostGIS.	42
Tabela 6 – Catálogo de Operações do GeoFrame.	59
Tabela 7 – Coordenadas utilizadas nos experimentos para validação da modelagem.	68

LISTA DE ABREVIATURAS

API	Application Programming Interface
BDG	Banco de Dados Geográfico
BDOR	Banco de Dados Objeto-Relacional
B-Rep	Representação de Fronteiras
CAD	Computer-Aided Design
CTMU	Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano
CTM	Cadastro Territorial Multifinalitário
EWKT	Extended Well-Known Text
FDS	Formal Data Structure
FIG	Federação Internacional de Geômetras
FIG	Federação Internacional de Geômetras
FTP	Protocolo de Transferência de Arquivos
GeoVRML	Linguagem para Modelagem de Realidade Virtual Geográfica
GML	Linguagem de Modelagem Geográfica
HTML	HiperText Markup Language
HTTP	Protocolo de Transferência de Hiper Texto
INDE	Instituto Nacional de Dados Espaciais
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
OGC	Open Geospatial Consortium
RV	Realidade Virtual
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SGBDOR	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Objeto-Relacional
SIC	Sistema de Informações Cadastrais
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SQL	Structured Query Language
SSM	Modelo Espacial Simplificado
TEN	Rede de Tetraedros
UDM	Modelagem de Dados Urbanos
UML	Linguagem de Modelagem Unificada
VRML	Linguagem para Modelagem de Realidade Virtual
Web3D	Open Standards for Real-Time 3D Communication
WKT	Well-Known Text
X3D	Extensible 3D
XML	Linguagem de Modelagem Markup
XSL	Extensible Stylesheet Language

SUMÁRIO

1.....	INTRODUÇÃO	13
1.1	Hipótese	14
1.2	Objetivos.....	14
	1.2.2 Geral.....	14
	1.2.2 Específicos	15
1.3	Justificativa	15
1.4	Conteúdo da Tese	16
2.....	CADASTRO	18
2.1	Cadastro Territorial Multifinalitário	20
2.2	Cadastro 3D	22
2.3	Informação Tridimensional no Cadastro	25
3.....	BANCO DE DADOS	30
3.1	Definição e Evolução dos Sistemas de Bancos de Dados	30
3.2	Modelo de Banco de Dados	32
	3.2.1 Modelo Relacional	33
	3.2.2 Modelos Orientados a Objetos	34
	3.2.3 Modelo Objeto-Relacional	36
	3.2.5 Outras Categorias de Bancos de Dados	37
3.3	BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS.....	38
3.4	PostgreSQL	39
3.5	PostGIS	40
	3.5.1 Primitivas Geométricas 2D no PostGIS	42
	3.5.2 Primitivas Geométricas 3D no PostGIS	43
4.....	ESTRUTURAS TOPOLÓGICAS.....	44
4.1	Relacionamentos Topológicos.....	45
4.2	Modelos para representar estruturas geométricas tridimensionais ...	47
	4.2.1 Estrutura Formal de Dados 3D	48
	4.2.2 Rede de Tetraedros	49

4.2.3	Modelo de Dados Urbanos	50
4.2.4	Modelo Espacial Simplificado	51
4.2.5	Representação de Fronteiras (B-Rep).....	52
5.....	MODELAGEM CONCEITUAL DO CADASTRO	54
5.1	Alternativas possíveis	54
5.2	Ferramentas para modelagem de dados geográficos 2D	55
5.2.1	Modelo OMT-G	55
5.2.2	Modelo UML-GeoFrame	56
5.3	ArgoCASEGEO: uma ferramenta para modelagem de dados geográficos	
	56	
6.....	METODOLOGIA	60
7.....	ANÁLISE DOS RESULTADOS	66
7.1	Modelagem de dados para identificar relacionamentos topológicos .	66
7.2	Modelagem do Banco de Dados Geográficos	69
7.3	Validação da modelagem dos dados cadastrais tridimensionais para o	
	Banco de Dados Geográficos	72
7.3.1	Definição da Estrutura de Dados	72
7.3.2	Armazenamento dos Dados	76
7.3.3	Consulta de Dados Cadastrais 3D.....	78
8.....	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	82
8.1	Recomendações.....	83
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

1. INTRODUÇÃO

A individualização do registro de propriedades começou com o Cadastro Territorial Bidimensional (2D), atendendo ao paradigma tradicional que é o registro do direito de propriedade das parcelas. Atualmente, nota-se a necessidade de se alterar este paradigma devido à crescente demanda pelo uso do espaço, acima e abaixo da superfície. Este fato reforça a importância de se ter uma ferramenta que atenda ao princípio registral de especialidade, que é o chamado Cadastro 3D (tridimensional).

O Cadastro 3D é uma realidade que ainda não possui padrão definido no Brasil e na América do Sul, tanto com relação ao aspecto legal quanto operacional. Até 2003, apenas a Holanda conseguiu realizar o Cadastro 3D com relativo sucesso, o qual foi apresentado por Stoter e Ploeger (2003), o que perdura até hoje (ELLUL e HAKLAY, 2009; AZRI e RAHMAN, 2010). Porém, Noruega, Suécia, Austrália, Israel, Malásia, também estão buscando soluções para o Cadastro 3D (STOTER et al., 2004; SHOSHANI et. al., 2005; HASSAN et. al., 2008).

O Cadastro 3D envolve conhecimentos multidisciplinares, tais como o conhecimento do aspecto legal, a aquisição dos dados, a representação, o armazenamento e a visualização. Quando se pretende visualizar esses dados pela Internet, é necessário o conhecimento de várias ferramentas e tecnologias para realizar e escolher uma.

Avanços na visualização gráfica tridimensional, interoperabilidade de dados geoespaciais e tecnologias de acesso remoto às bases de dados, têm possibilitado a criação de novas aplicações 3D que utilizam os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Ele é utilizado, segundo Zlatanova (2002), principalmente em projetos urbanos como planejamento de uso e ocupação do solo, telecomunicações, Cadastro 3D, construção de estradas, pontes, túneis, turismo, entre outros.

Com o surgimento de novas demandas para o Cadastro Territorial Multifinalitário, estão sendo desenvolvidas várias técnicas e procedimentos objetivando a coleta, representação e visualização dos dados cadastrais. Essas demandas fazem com que as comunidades técnica e científica busquem soluções para atender a essas necessidades. Como 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.

Entre os diversos modelos apresentados na literatura (ZLATANOVA et al., 2002; ZLATANOVA et. al., 2004; BRUGMAN, 2010), está o método de representação por Fronteiras (*Boundary Representation*, B-Rep), objetivando o armazenamento sem ambiguidades, e descrito por Zeid (1991).

Neste sentido, busca-se a compreensão da complexidade envolvida na representação e armazenamento dos dados 3D para fins cadastrais. Assim, por meio de métodos ainda em desenvolvimento como, por exemplo, as funções de relacionamentos espaciais dos bancos de dados espaciais, espera-se contribuir com a comunidade científica para resolução de problemas do Cadastro 3D.

1.1 Hipótese

A descrição inequívoca das parcelas espaciais é possível com a modelagem, representação e o armazenamento dos dados cadastrais 3D no banco de dados geográficos, usando a modelagem geométrica de fronteiras B-rep.

1.2 Objetivos

1.2.2 Geral

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um modelo para representar e armazenar dados cadastrais 3D em Bancos de Dados Geográficos, combinando a geometria e as descrições de comportamentos das feições cartográficas.

1.2.2 Específicos

- Identificar a conjuntura atual do Cadastro 3D, sua representação, armazenamento e visualização, a nível mundial;
- Modelar os dados cadastrais 3D a serem representados e armazenados no Banco de Dados Geográficos, com suas geometrias e seus comportamentos;
- Propor uma modelagem que possa ser utilizada para a implantação do Cadastro 3D no Brasil.

1.3 Justificativa

O Brasil, além de sua grande extensão territorial, possui regiões densamente povoadas. Tanto a implementação do banco de dados cadastrais desses imóveis como a manutenção do mesmo é objeto de estudo de várias pesquisas (STOTER et. al., 2004; SHOSHANI et. al., 2005; HASSAN et. al., 2008, entre outras). No Brasil o Cadastro 3D ainda não foi implementado, porém existem poucas pesquisas isoladas sendo realizadas. Com a grande potencialidade que os resultados deste trabalho podem proporcionar, juntamente com o início de trabalhos com o Cadastro 3D, acredita-se que uma investigação que propicie o seu domínio será de grande repercussão.

A visualização do Cadastro 3D georreferenciado destaca-se por proporcionar ao usuário (administrador, etc) uma visão virtual da distribuição dos objetos cadastrados. A visualização tridimensional se destaca principalmente devido ao grande volume de informações disponíveis e, pela praticidade de acessar visualmente as mesmas. Por exemplo, buscar no banco de dados um bairro, uma quadra ou um imóvel, e identificar o proprietário do apartamento do terceiro andar e, de posse das coordenadas do imóvel, ir a campo e localizá-lo. Com a evolução mais recente dos bancos de dados, em especial do Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), é possível manipular dados tridimensionais.

O grande desafio, neste momento, é incorporar a noção de tridimensionalidade ao cadastro convencional. Não basta simplesmente adicionar a altura das feições representadas ao cadastro, mas modelar o armazenamento de dados e verificar os métodos de aquisição e visualização adequados para este fim (STOTER, OOSTEROM, 2005; FILIN et. al., 2005).

Entre os objetivos da Cartografia está à busca da representação do mundo real, tridimensional, em um plano. Com os avanços da computação, o desafio passou a ser a representação desse mundo em um ambiente computacional, envolvendo a Cartografia e a Computação.

Agora, além de se trabalhar com uma representação tridimensional, diferente dos mapas convencionais que são estáticos, esta pode ser dinâmica, com a possibilidade da interferência e interação do usuário. Neste cenário, surge à necessidade de se incorporar as manipulações computacionais tridimensionais para fins cartográficos, acrescentando operações topológicas de volume aos BDG's, e sua posterior visualização pela Internet.

Apesar de abordar muitos conceitos computacionais, trata-se de um trabalho da área de Cartografia Digital, SIG e Análise Espacial, no qual a Computação é utilizada como uma ferramenta para a materialização das atividades propostas. Como o Cadastro está incluído neste grupo, a maioria dos fundamentos envolvidos e os resultados a serem gerados são para o Cadastro, justifica-se o desenvolvimento do presente trabalho no Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas (PPGCC). Vale ressaltar que o desenvolvimento deste trabalho na FCT/UNESP torna-se viável pela integração existente entre profissionais de Computação e Cartografia, por meio do PPGCC.

1.4 Conteúdo da Tese

Inicia-se o presente trabalho com a contextualização do problema envolvido, hipótese, os objetivos e justificativa (capítulo 1); elucida-se os aspectos mais importantes envolvidos no Cadastro, em especial no Cadastro 3D no Capítulo 2; como consequência, já que um dos pilares do cadastro é composto pelos dados, é realizada uma análise de alguns conceitos de bancos de dados (Capítulo 3), mais especificamente bancos de dados geográficos (seção 3.3); já as relações topológicas disponíveis nos Bancos de Dados Espaciais (BDE), que faz parte do

SIG, bem como alguns métodos de representação de dados tridimensionais no BDE são apresentados no Capítulo 4; um estudo referente aos métodos e ferramentas para modelagem de dados geográficos é apresentado no Capítulo 5. No Capítulo 6 são apresentados os métodos utilizados para desenvolver a tese. No Capítulo 7 são apresentados os experimentos desenvolvidos para validar a hipótese e atingir os objetivos propostos. Finalizando, são apresentadas algumas conclusões e recomendações (Capítulo 8), e as referências bibliográficas utilizadas.

2. CADASTRO

Um documento elaborado pela Federação Internacional dos Geômetras (FIG)¹, denominado *Declaração da FIG sobre o Cadastro*, Figura 1, definiu que:

Um Cadastro consiste em um sistema de informação territorial atualizado, baseado em parcelas, contendo os registros de interesses relacionados ao território (por exemplo, direitos, restrições e responsabilidades). Normalmente inclui uma descrição geométrica das parcelas em conjunto com outros registros que descrevem a natureza dos interesses, a propriedade ou controle desses interesses, e frequentemente, o valor da parcela e suas benfeitorias. Pode ser estabelecido para propósitos fiscais (por exemplo, avaliação e taxação equitativa), para propósitos legais (transferência), para auxiliar na administração do uso da terra (por exemplo, no planejamento e outros propósitos administrativos), e permite o desenvolvimento sustentável e a proteção ambiental.

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 o setor público e privado; o cadastro deve ser autossustentável economicamente" (KAUFMANN e STEUDLER, 1998).

¹ FIG Statement on the cadastre. Disponível em:

<http://www.fig.net/commission7/reports/cadastre/statement_on_cadastre.html>,

Acessado em: 06/09/2010.

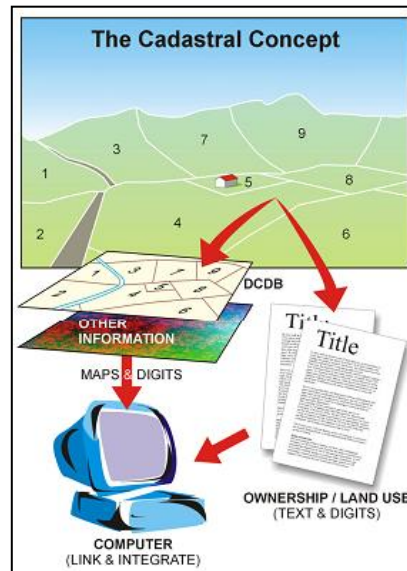


Figura 1 – Ilustração do conceito de Cadastro da FIG.

Fonte: FIG (1995)

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, no qual 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 (HAWERK, 2006).

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 buscam-se 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", na língua portuguesa, como sendo qualquer registro de clientes ou de usuários contendo informações diversas referentes à 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 N° 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 Territorial Multifinalitário", este trabalho amplia significativamente o espectro das discussões, principalmente no que diz respeito ao Cadastro 3D.

2.1 Cadastro Territorial Multifinalitário

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 definido por vários autores (PHILIPS, 1996; LAUDON e LAUDON, 1999; BITTENCOURT e LOCH, 2008). Neste sentido, o CTM tem como finalidade atender aos diferentes setores públicos e privados, porém, o mesmo é comumente utilizado 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 prefeituras que possuem o CTM em formato analógico, não dispendo de recursos humanos capacitados para realizar a conversão desses 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.

Um fato que impactou a implantação do CTM foi a evolução computacional na área de Bancos de Dados Geográficos, 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, por meio 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 cadastrais, 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 a partir do Cadastro 3D. Essa pesquisa foi realizada com a colaboração do setor de 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 2. 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 instrumento 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 tridimensionais 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 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.

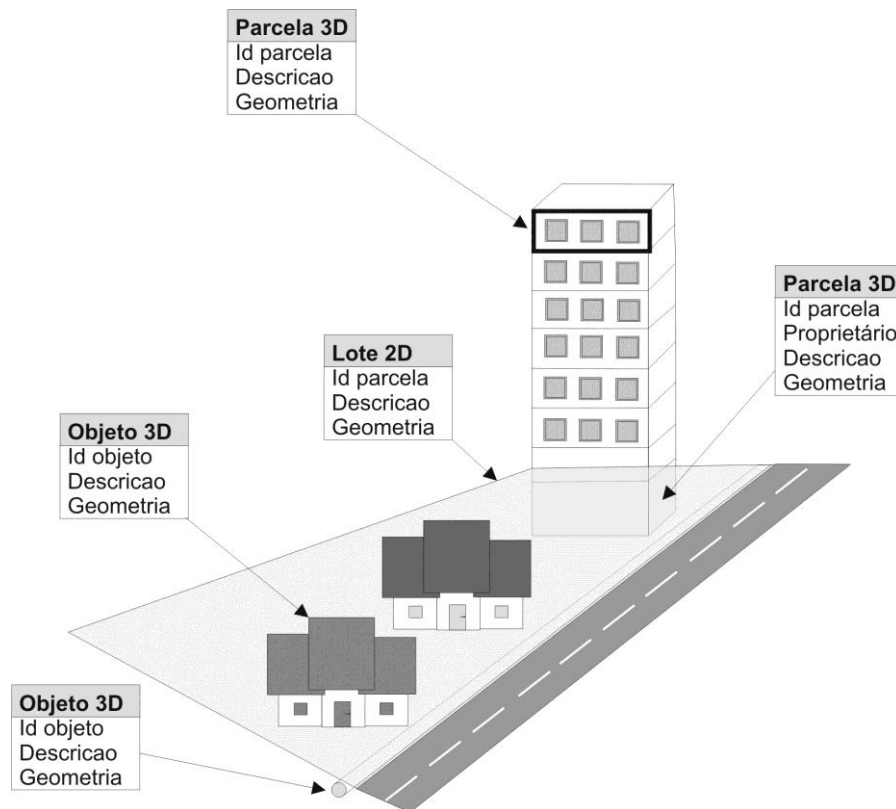


Figura 2 – Exemplos de Cadastro 3D: parcelas espaciais e serviços de logradouro (dutos, iluminação pública, e outros.).

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 imóvel, e as leis de condomínio, que preservam o uso de todos os proprietários do imóvel, além dos direitos de propriedade sobre o apartamento, que indica que o sistema de 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), como na Figura 3. Isso é importante para o planejamento público, futuras instalações de equipamentos, novos loteamentos, além de ordenar o uso do subsolo.



Figura 3 – Exemplos de sobreposição de parcelas.

Fonte: (a) Amorim (2008), (b) Stoter (2004).

2.3 Informação Tridimensional no Cadastro

Com o surgimento do cadastro tridimensional também surgiram várias taxionomias com o objetivo de atribuir terminologias os processos envolvidos no Cadastro. Naturalmente, algumas expressões definidas acabaram tornando-se sinônimas, exigindo uma reflexão e escolha de qual será adotada no cadastro bidimensional, bem como, se suas características atendem ao cadastro tridimensional. Neste sentido, as terminologias usualmente envolvidas no Cadastro Territorial Multifinalitário, objeto de estudo desta tese, são o lote, o imóvel, a parcela, e a definição de um código de identificação única dos objetos envolvidos no mesmo.

A ontologia Lote, contextualizada por Pinho, Goltz e Câmara (2007), é apresentada como sendo:

“[...] a porção do terreno parcelado, com frente para via pública, destinado a receber edificação. Esse é produto de um processo de parcelamento de determinada gleba (a área de terra que não foi objeto de loteamento ou desmembramento). O parcelamento é realizado de quatro formas distintas: a) *Loteamento* – é necessário criar ou prolongar vias públicas para se aprovar um ou mais lotes em uma gleba; b) *Desmembramento* – nesse processo, não é necessário criar nem prolongar vias públicas existentes para aprovar um ou mais lotes em uma gleba; c) *Parcelamento vinculado* – destinado a abrigar atividades em um ou mais lotes que causam grande impacto sobre o meio urbano e/ou exigem grandes áreas para se implantarem (distritos industriais, conjuntos habitacionais etc.); d) *Parcelamento para condomínios* – constitui uma variante do parcelamento vinculado, destinado a abrigar um conjunto de edificações em um ou mais lotes, dispendo de espaços de uso comum, caracterizados como bens de condomínio (PINHO, GOLTZ E CÂMARA, 2007)”.

O imóvel é um termo comumente utilizado para representar uma área contínua, qualquer que seja sua localização. Quando se refere ao imóvel rural, segundo o Estatuto da Terra (Lei nº 4.504, de 30/11/1964):

“[...] refere-se a um prédio rústico de área contínua, qualquer que seja a sua localização, que se destine à exploração extrativa agrícola, pecuária ou agroindustrial, quer através de planos públicos de valorização, quer através de iniciativa privada (BRASIL, 1964)”.

O Código Civil brasileiro define imóvel no artigo 79: “são bens imóveis o solo e tudo quanto se lhe incorporar naturalmente ou artificialmente”; e evidencia claramente a sua espacialidade no artigo 1.229: “A propriedade do solo abrange a

do espaço aéreo e subsolo correspondentes, em altura e profundidade úteis ao seu exercício, não podendo o proprietário opor-se a atividades que sejam realizadas, por terceiros, a uma altura ou profundidade tais, que não tenha ele interesse legítimo em impedi-las” (CARNEIRO e ERBA, 2011).

Apesar do Cadastro 3D ser conceitualmente novo, o direito de propriedade pode ser observado antes mesmo da sua real implementação computacional ser viabilizada. Neste sentido, a representação gráfica dos dados, que em sua maioria é 2D, conforme ilustra a Figura 4a, pode ser modelada computacionalmente, como apresenta a Figura 4b. Neste cenário, continua valendo a terminologia de Imóvel, mesmo para o Cadastro 3D, no qual um imóvel pode possuir várias parcelas, como na Figura 4b, onde o Imóvel A contém cinco parcelas. O Brasil não possui uma definição clara da altura e profundidade do limite do imóvel, o que dificulta na modelagem da estrutura de dados a ser usada para representar computacionalmente seus limites.

Nesse sentido, como o objetivo dessa tese é modelar e representar a descrição inequívoca da parcela, ou seja, sua localização em relação à superfície, considera-se a utilização do termo imóvel como mais adequado.

Com relação à parcela, pode-se defini-la como sendo uma superfície específica da terra, identificada de forma inequívoca, com seus direitos legais reconhecidos. Esta definição também é válida para a parcela tridimensional, que é delimitada por meio de coordenadas tridimensionais, tornando possível a representação e o armazenamento de casos como ilustra a Figura 4b, parcelas 3, 4 e 5.

A identificação de maneira única das parcelas e imóveis, que nos casos bidimensionais esta resolvida, nas parcelas tridimensionais precisam ser definidas. Paixão, Nichols e Carneiro (2012) apresentam uma compilação sobre alguns critérios relevantes para a escolha de um identificador, conforme apresenta a Tabela 1.

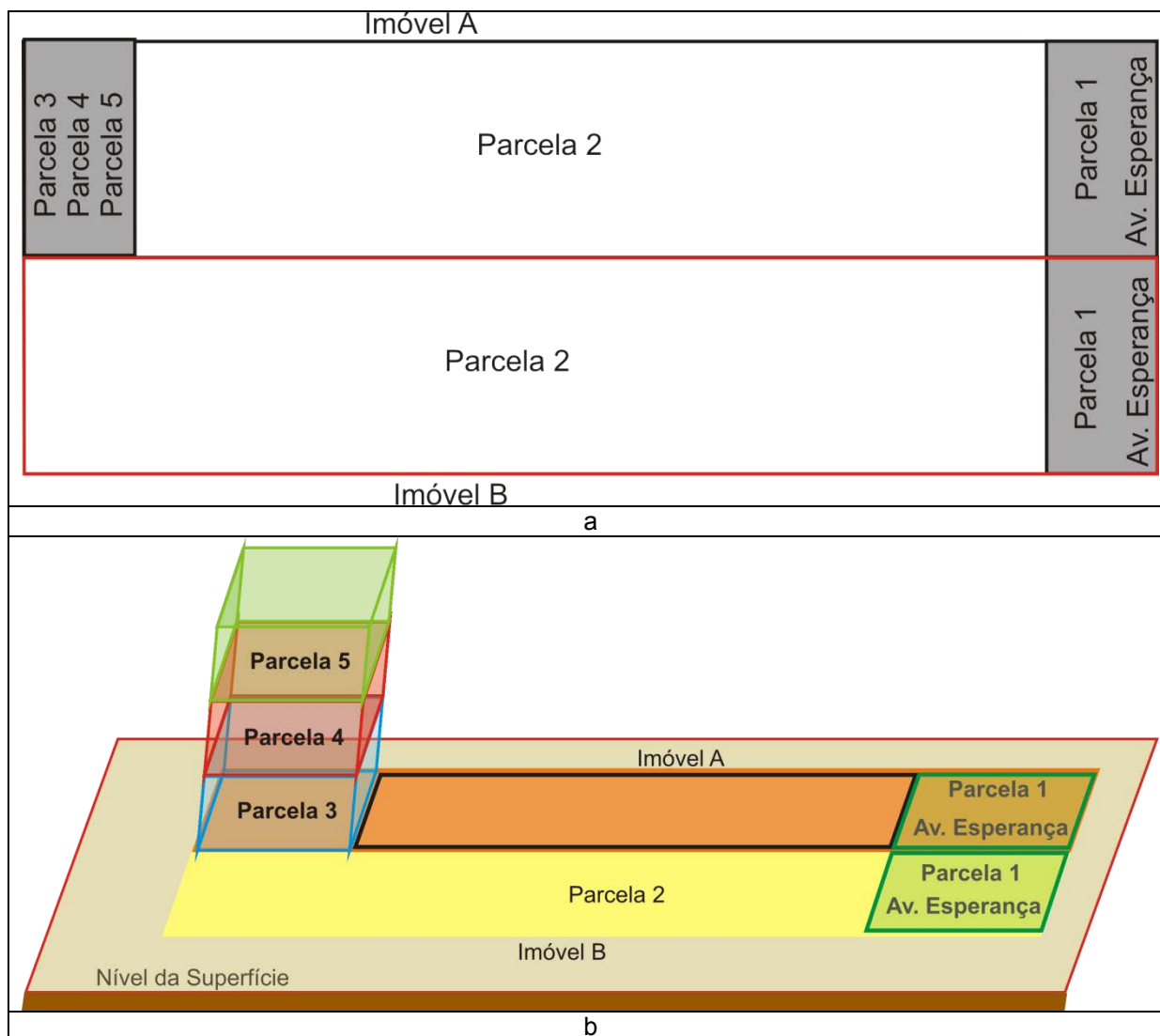


Figura 4 – (a) Diferentes parcelas que se localizam um imóvel bidimensional e (b) tridimensional.

Tabela 1 – Exemplos de identificadores de parcelas e alguns critérios para seleção.

	Identificador por índice nominal	Identificador por números aleatórios	Identificador por Localização		
			Identificador por nível hierárquico	Identificador por coordenadas	Identificador híbrido
Exemplos de códigos	Índice Grantor /greantee	Números sequenciais	Endereço das ruas, ou município, quadra e número das parcelas	Latitude e longitude ou grid de coordenadas retangulares	
Unicidade	Não é único	Único	Único	Único	Único
Simplicidade	Índice complexo	Índice muito simples	Índice simples	Índice complexo	Índice complexo
Flexibilidade	Inflexível	Relativamente inflexível	Flexível	Muito flexível	Muito flexível
Permanência	Sem dificuldade	Sem dificuldade	Dificuldades potenciais	Dificuldades potenciais	Dificuldades potenciais

Custo inicial					
Custos de manutenção	Baixo	Baixo	Baixo	Alto	Alto
Acessibilidade	Sistema complexo	Requer mapas das propriedades	Requer mapas das propriedades	Requer informações geodésicas	Requer informações geodésicas
Problemas	<p>Os nomes podem ser escritos de maneira diferente;</p> <p>Pode haver nomes homólogos;</p> <p>Os nomes podem mudar após união matrimonial, por exemplo;</p> <p>No caso de herança ou outras transações, dados podem ser não registrados;</p> <p>Pode ser difícil identificar se a propriedade foi ou não desmembrada;</p> <p>Não tem qualquer referência à localização geográfica</p>	<p>Pode ter muitos números sequenciais, facilitando erros na entrada de dados;</p> <p>Pode ser difícil de ser lembrado;</p> <p>Não há lógica numérica;</p> <p>Não tem qualquer referência à localização geográfica.</p>	<p>Pode mudar quando os limites político-administrativos da área mudam;</p> <p>Pode ser difícil para a manutenção se existe um grande número de áreas desmembradas</p> <p>Poderá ser difícil de identificar se uma quadra está contida em mais de um setor ou município</p>	<p>Pode exigir controle de dados sofisticados;</p> <p>Pode mudar se o sistema de referência mudar;</p> <p>Precisão pode ser dependente de quantos dígitos são utilizados;</p> <p>Números não são fáceis de lembrar.</p>	<p>Possui problemas relacionados com os identificadores hierárquicos e coordenados.</p>

Fonte: MacLaughlin (1975), *apud* Paixão, Nichols e Carneiro (2012).

Analisando a Tabela 1, conclui-se que a escolha ou construção de um identificador depende do comportamento dos dados usados, bem como dos objetivos propostos. Isso se deve pelo fato de cada identificador possuir vantagens e desvantagens, sendo necessário um aprofundamento literário para a definição de um novo identificador.

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. BANCO DE DADOS

A finalidade deste Capítulo é abordar alguns conceitos de sistemas de banco de dados e de gerenciamento de banco de dados, destacando características, funções e sua evolução, focando o Banco de Dados Geográficos.

3.1 Definição e Evolução dos Sistemas de Bancos de Dados

Os Sistemas de Bancos de Dados (SBD) se tornaram componentes essenciais no cotidiano da sociedade moderna. É viável afirmar que os bancos de dados representam um papel crítico em quase todas as áreas em que os computadores são utilizados, um banco de dados é projetado, construído e povoado por dados, atendendo a um propósito específico. Em outras palavras, possui algumas fontes das quais os dados são derivados, com alguns níveis de interação com os eventos do mundo real e um público efetivamente interessado em seus conteúdos (ELMASRI, NAVATHE, 2005).

O SBD, segundo Date (2008), 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. 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. Esses dados são armazenados fisicamente em um hardware que envolve basicamente dispositivos de armazenamento, processadores e memória (MACHADO, 2004).

Com o surgimento dos sistemas de banco de dados, seu uso difundiu-se em diversas áreas, principalmente através de serviços bancários, linhas aéreas, transações com cartões de créditos, finanças, telecomunicações, vendas, indústrias, entre muitas outras (SILBERSCHATZ et al, 2006).

Devido à elevada quantidade de dados a serem gerenciados, surgiu o Sistema de Gerência de Banco de Dados (SGBD), formado por vários componentes, conforme ilustra a Figura 5. O SGBD, segundo Silbershatz et al. (2006), é um sistema de software de propósito geral que facilita os processos de definição, construção, manipulação e compartilhamento de bancos de dados entre vários usuários e aplicações, com objetivo de adequar um ambiente tanto conveniente quanto eficiente para a recuperação e armazenamento das informações no banco de dados.

Um SGBD 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 (2008), Machado (2004).

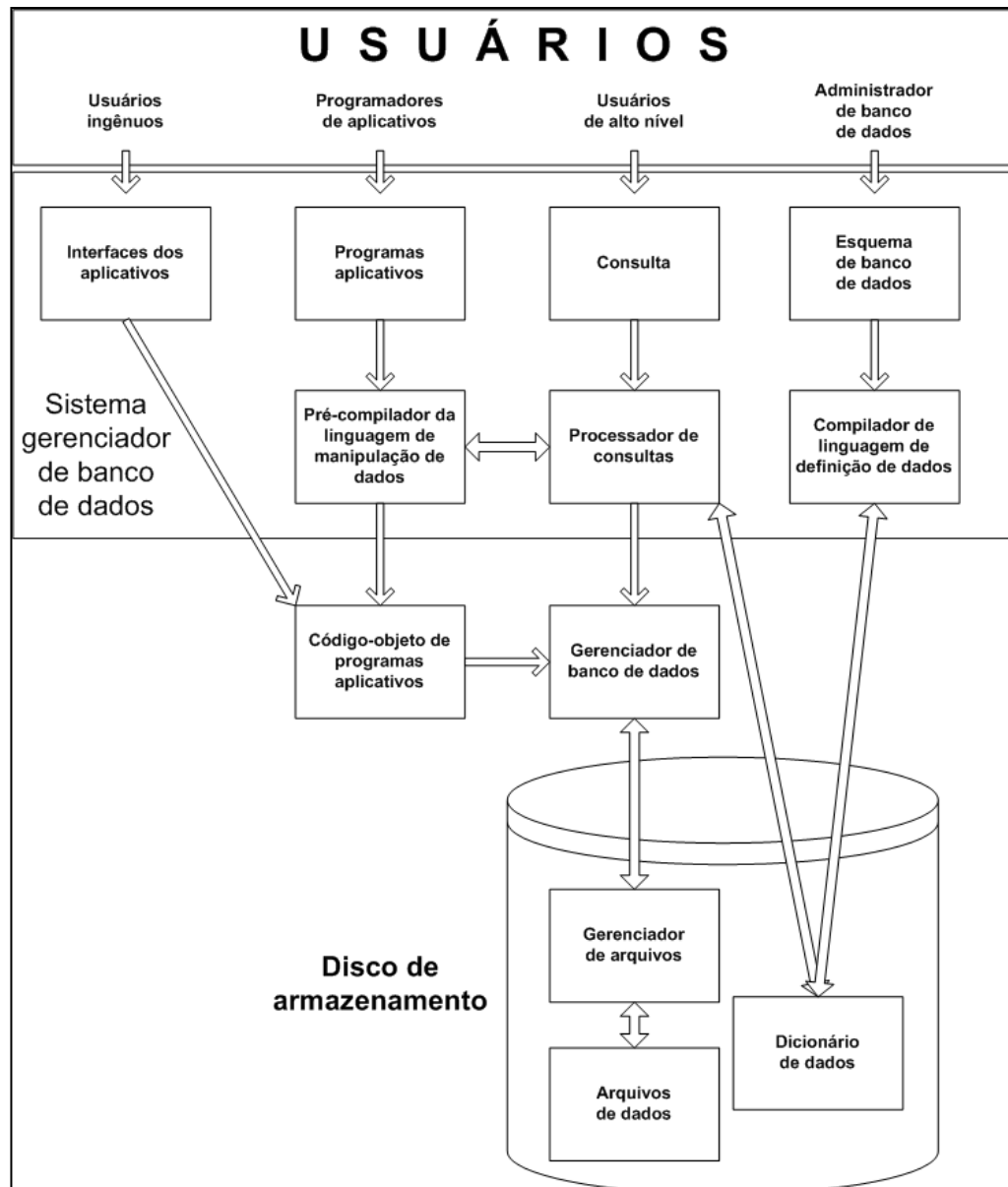


Figura 5 – Componentes da arquitetura de um SGBD.

Fonte: Adaptado de Silberschatz et al. (2006).

3.2 Modelo de Banco de Dados

Um Modelo de Dados é um conjunto de conceitos utilizados para descrever a estrutura de um BD em nível conceitual, lógico ou físico, buscando representar a realidade de modo abstrato e servindo como passo intermediário entre o mundo real e a implementação técnica. Os modelos apresentam um conjunto de operações para a especificação e manipulações dos dados do BD. É caracterizado

como um grupo de instrumentos conceituais que são utilizados para descrever os dados; a relação entre eles, e as regras de integração. Sua função é a busca da organização de dados com estratégia de processamento que otimizem a performance e métodos de acesso que sejam independentes na ação (SILBERSCHATZ, et al, 2006).

Entre os modelos de bancos de dados desenvolvidos atualmente, o modelo relacional é o mais utilizado. Devido a isso, esses sistemas são denominados Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Relacional (SGBDR).

3.2.1 Modelo Relacional

Segundo Machado (2004, apud CODD, 1970), o modelo relacional surgiu nas décadas de 1960 e 1970. Neste modelo o conjunto de dados é organizado como um conjunto de tabelas, e as operações são realizadas por linguagens que as manipulam, não sendo procedurais, ou seja, manipulando conjuntos de uma só vez.

Para Silberschatz *et. al.* (2006) o modelo relacional utiliza a estrutura de relação, sendo esta bidimensional que obedece a um esquema determinado e possui zero ou mais instâncias. O esquema de uma relação é constituído por um ou mais atributos que traduzem o tipo de dado a ser armazenado. Estas relações podem ser definidas por tabela, constituída por linhas e colunas, onde as colunas ou campos representam os atributos e as linhas representam os registros ou as instâncias da relação (Figura 6).

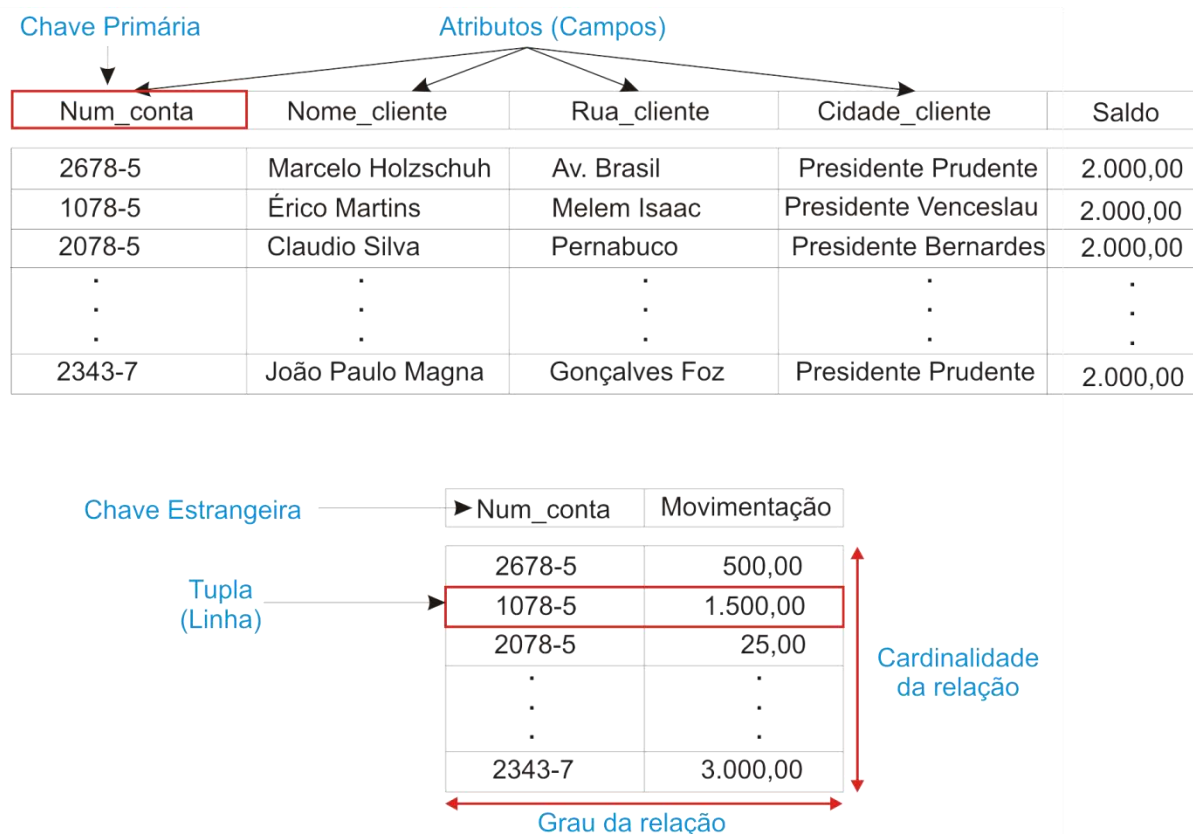


Figura 6 – Exemplo de Banco de Dados Relacional.

Os SGBDR foram criados com o objetivo de separar o armazenamento físico dos dados da sua representação conceitual e prover uma fundamentação matemática para os bancos de dados. Esse modelo introduziu as linguagens de consulta de alto nível, que são uma alternativa às interfaces para as linguagens de programação (SILBERSCHATZ et al., 2006).

3.2.2 Modelos Orientados a Objetos

A utilização de linguagens de programação orientadas a objetos tem crescido e impulsionado a criação e uso de banco de dados orientados a objetos devido ao fato destes serem projetados para integrar diretamente software desenvolvido em linguagem de programação orientada a objetos (ELMASRI, NAVATHE, 2005).

A necessidade de representar realidades complexas levou ao desenvolvimento de sistemas orientados a objetos. O objetivo da existência destes

bancos de dados é permitir estender o conceito do paradigma de orientação a objetos e adicioná-lo também aos sistemas de armazenamento de dados. O modelo orientado a objetos tem por base um conjunto de objetos. Um objeto contém valores armazenados em variáveis dentro do objeto. Ele também possui um conjunto de códigos para manipular este objeto. Estes códigos são chamados de métodos.

Os objetos que contêm os mesmos tipos de valores e os mesmos métodos são agrupados em classes. Uma classe pode ser vista como uma definição de tipo para objetos. Essa combinação compacta de dados e métodos abrangendo uma definição de tipo é similar ao tipo abstrato em uma linguagem de programação (SILBERSCHATZ et. al., 2006).

Os bancos de dados orientados a objetos permitem armazenar tipos complexos de dados ou objetos e seus comportamentos. Estes bancos suportam, entre outras, as seguintes características, de modo a permitir uma total implementação orientada a objetos:

Encapsulamento: permite colocar em um único “invólucro” os dados e as funções específicas que os manipulam (métodos), protegendo assim os objetos de acessos externos a eles. Ao colocar o código junto aos próprios dados evita-se que este exista replicado pelas várias aplicações, sendo mantido de forma única na classe onde foi definido;

Herança: capacidade de uma classe herdar propriedades e código de outra classe da qual é descendente. A herança é um mecanismo que permite a reutilização de definições e comportamentos que são adicionados, automaticamente, a novos objetos;

Polimorfismo: permite que um mesmo operador ou símbolo tenha diferentes implementações, dependendo do tipo de objeto que está sendo acessado.

Nos modelos orientados a objetos, a informação é armazenada sob a forma de objeto persistente, e não apenas como uma linha de uma tabela. Desta forma, o gerenciamento do espaço físico é mais eficiente e garante que a manipulação dos dados seja feita apenas da forma especificada pelo programador (DAMAS, 2007). Os sistemas que suportam estes modelos de bancos de dados são normalmente denominados Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados Orientados a Objetos (SGBDOO).

A principal característica de um SGBDOO é a de modelar estruturas complexas armazenando não somente a estrutura de dados, mas também seu

comportamento. A forma como um SGBDOO é implementado permite ao programador e ao usuário do banco de dados usufruírem as capacidades orientadas a objetos aqui indicadas (encapsulamento, herança e polimorfismo). O acesso aos objetos é feito através de OID (*Object Identifiers*).

3.2.3 Modelo Objeto-Relacional

A maioria dos SGBD utiliza o modelo relacional. Porém, existe uma forte tendência para que os sistemas evoluam no sentido de serem capazes de armazenar objetos, perdendo, no entanto, algumas das funcionalidades e das vantagens do modelo relacional, particularmente no que se refere ao uso da linguagem SQL como linguagem de manipulação de dados (DAMAS, 2007).

Date (2004) destaca que é para evitar este problema que, mais recentemente, apareceram os Bancos de Dados do tipo Objeto-Relacional (BDOR), tentando incluir em uma mesma infraestrutura o melhor dos dois mundos (relacional e orientado a objetos). Não é uma nova tecnologia, mas antes uma mistura dos dois modelos. Os bancos de dados deste tipo são híbridos. Trata-se, normalmente, de sistemas de gerência de banco de dados relacional cujas funcionalidades foram estendidas de maneira a suportar o armazenamento e o processamento de objetos, que passam a ser tratados como se fosse um tipo de dado do próprio banco de dados.

A utilização intensa dos ambientes gráficos (ex. Janelas do Windows) e a utilização generalizada de linguagens de programação, do tipo orientado a objetos, levaram muitos programadores a sentirem necessidade de armazenar mais do que simples dados nos bancos de dados que suportavam as suas aplicações.

Tratando-se de uma evolução dos SGBD relacionais, o modelo objeto-relacional integra na sua estrutura o processamento robusto de transações e o alto desempenho no acesso aos dados que herdou do modelo relacional e a flexibilidade do seu parente orientado a objetos.

Um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Objeto-Relacional (SGBDOR) utiliza um modelo de dados que incorpora características orientadas a objetos em um SGBD relacional, particularmente a capacidade de armazenar estruturas de dados complexas, heranças e polimorfismo. A informação continua a ser armazenada em tabelas, mas pode incluir estruturas de dados mais ricas do que

as habituais, denominadas Tipos Abstratos de Dados (TAD). Um SGBDOR, ao permitir incluir estruturas mais complexas (TAD) nas suas tabelas, necessita de uma extensão da linguagem SQL para a sua manipulação.

Os programadores podem então trabalhar com as estruturas habituais em forma de tabela bidimensional e a linguagem SQL que lhe está associada, enquanto assimilam a nova tecnologia de processamento orientado a objetos. A maior parte das grandes empresas desta área (IBM, Informix, Microsoft, Oracle e Sybase) já disponibilizou versões Objeto-Relacional dos seus principais produtos.

3.2.5 Outras Categorias de Bancos de Dados

Com a expansão dos bancos de dados, surgiram diversos SGBDs com finalidades específicas. Em sua maioria, utilizam os SGBDOR, com aplicações direcionadas, entre eles estão:

- *Web databases* (Bancos de Dados para Web);
- *XML Database* (Bancos de Dados XML);
- *Multimedia Databases* (Bancos de Dados Multimídia);
- *Mobile Databases* (Bancos de Dados Móveis em Dispositivos Móveis);
- *Data Warehouse* (Depósito de Dados);
- *Geographic Databases* (Bancos de Dados Geográficos);
- *Deductive Databases* (Bancos de Dados Dedutivos);
- *Temporal Databases* (Bancos de Dados Temporais);
- *Spatial Databases* (Bancos de Dados Espaciais);
- *Biometric Databases* (Bancos de Dados Biométricos).

Os Bancos de Dados Espaciais (BDE) são bancos de dados utilizados para armazenar e consultar dados que representam objetos definidos em um espaço geométrico, utilizando pontos, linhas, polígonos, entre outros. Já os BDG's são utilizados para representar dados com localização geográfica como, por exemplo, limites estaduais, divisões administrativos, entre outros. Assim, todo Banco de Dados Geográfico é Espacial, mas nem todo Banco de Dados Espacial é Geográfico.

DataBlade	
Intergraph Corporation: GeoMedia	http://www.intergraph.com/cgi/
MapInfo Professional & SpatialWare	http://www.mapinfo.com/products/developer-tools/enterprise-software/spatialware
Microsoft Spatial Extensions for SQL Server	http://www.microsoft.com/sqlserver/2008/en/us/spatial-partners.aspx
Oracle Spatial	http://www.oracle.com/technology/products/spatial/index.html
PostGIS / PostgreSQL	http://postgis.refrations.net/
MySQL	http://www.mysql.com/

A seguir, é abordado o SGBDOR PostgreSQL e sua extensão espacial, o PostGIS.

3.4 PostgreSQL

O PostgreSQL é um sistema gerenciador de banco de dados objeto-relacional (SGBDOR) gratuito e podendo ser obtido na Internet². Atualmente está na sua versão 9.2 desenvolvido pelo Departamento de Ciência da Computação da Universidade da Califórnia em Berkeley, de código fonte aberto. Suporta grande parte do padrão SQL:2003, além de serem oferecidas muitas funcionalidades como, por exemplo, chaves estrangeiras, gatilhos, visões, integridade transacional, controle de simultaneidade multiversão. Além disso, o PostgreSQL pode ser estendido pelo usuário de muitas maneiras, por exemplo, adicionando novos tipos de dado, funções, operadores, funções de agregação, métodos de índice, linguagens procedurais.

Em sua versão de distribuição oficial, o PostgreSQL apresenta tipos de dados geométricos (*point*, *lseg*, *path*, *box*, *polygon*, *circle*), operadores espaciais simples e indexação espacial através de R-Tree nativa ou através de R-Tree implementada no topo do mecanismo de indexação GiST (*Generalized Search Tree*)³. Lembrando que o PostgreSQL também possui os mecanismos de indexação B-Tree e HASH. Entre os pontos fortes deste SGBD, segundo Queiroz e Ferreira (2005), está o grande potencial de extensibilidade, o que possibilitou o desenvolvimento de uma extensão geográfica mais completa, chamada PostGIS.

² Endereço do Grupo PostgreSQL brasileiro (<http://www.postgresql.org.br/>) e internacional (<http://www.postgresql.org/>).

³ Mais informações sobre a GiST podem ser encontradas junto aos seus mantenedores (<http://www.sai.msu.su/~megeera/postgres/gist/>).

3.5 PostGIS

PostGIS é uma extensão geográfica sobre o PostgreSQL compatível com o OpenGIS/OGC. Foi desenvolvido pela empresa Refraction Research Inc, como um projeto de tecnologia “código aberto” de banco de dados espacial, com *General Public Licence* (GPL), e é disponibilizado no site <http://www.postgis.org/download>.

Entre os tipos espaciais suportados pelo PostGIS e embutidos na SQL do PostgreSQL estão: ponto, linha, polígono, multiponto, multilinha, multipolígono e coleção de geometrias (Figura 7).

O OpenGIS define duas formas de armazenar objetos espaciais: 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) (<http://postgis.refractions.net/docs/>).

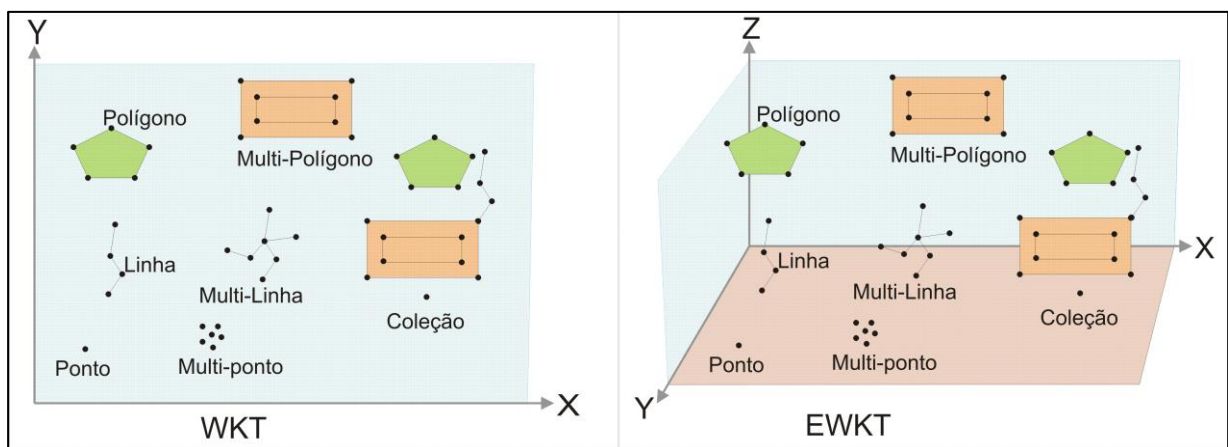


Figura 7 – Tipos de dados espaciais a serem armazenados no PostgreSQL com a extensão espacial Postgis, utilizando o padrão WKT para dados 2D e o padrão EWKT para dados 3D ou 4D.

Em relação às tabelas de metadados do PostGIS, as mesmas seguem as especificações da SFSSQL (*Simple Features Specification for SQL*) e são apresentadas na Tabela 3 e na Tabela 4. Quando o PostGIS é instalado, automaticamente já são instaladas as duas tabelas de metadados, denominadas *spatial_ref_sys*, utilizada para manipular os sistemas de coordenadas, e a

geometry_columns, que auxilia na definição de colunas espaciais em outras tabelas, através de restrições geométricas pré-definidas.

Tabela 3 – Tabela de metadado do sistema de referências espaciais.

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

Fonte: Queiroz e Ferreira (2005).

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. 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 Group*)⁴. Já o atributo *auth_srid* é o ID do Sistema de Referência Espacial (SRID) como definido pela autoridade citada no *AUTH_NAME*. No caso de 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 Proj4⁵. A coluna de PROJ4TEXT contém a *string* de definição de coordenada Proj4 para um SRID particular.

A Tabela 4 armazena os dados a partir da estrutura de dados espacial utilizada, sendo considerada pelo SGBD como uma tabela temporária (*view*). Quando uma relação é definida, define-se a que esquema ela pertence, nome da coluna, dimensão dos dados a serem armazenados e o Sistema de Referência Espacial usado.

⁴ EPSG associa uma codificação numérica a um sistema de coordenadas cartográficas. Por exemplo, EPSG:29193 corresponde a SAD69 / UTM zona 23 . Para pesquisar os diversos códigos EPSG disponíveis e sua referência cartográfica, basta acessar o site <<http://spatialreference.org/ref/epsg/>>.

⁵ Para mais informações a respeito, veja a página de Proj4 em <<http://www.remotesensing.org/proj/>>.

Tabela 4 – Tabela de metadado 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)	

Fonte: Queiroz e Ferreira (2005).

3.5.1 Primitivas Geométricas 2D no PostGIS

Outro destaque desta extensão espacial é o grande número de operadores espaciais disponíveis para realização de consultas espaciais (Tabela 5).

Tabela 5 – Exemplo de alguns operadores espaciais disponíveis no PostGIS.

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

Fonte: Queiroz e Ferreira (2005).

3.5.2 Primitivas Geométricas 3D no PostGIS

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. Essas geometrias aparecem descritas detalhadamente no manual do PostGIS, disponível em <http://postgis.net/docs/manual-2.0/>.

Os BDG são muito utilizados juntamente com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), descritos em Casanova et. al. (2005). Os SIG's, atualmente, são utilizados como interface entre os dados armazenados no BDG e o usuário final. Sendo o propósito deste trabalho a modelagem e o armazenamento dos dados no BDG, uma abordagem mais detalhada sobre estruturas topológicas é apresentada no Capítulo 4, permitindo a modelagem e auxiliando na posterior implementação de estruturas no BDG para manipulação de dados cadastrais 3D.

4. ESTRUTURAS TOPOLÓGICAS

O uso de topologias pela primeira vez é atribuído a Euler, provando que o problema das sete pontes de Königsberg não tinha solução, isso em 1736. Buscando resolver este problema, Euler deu origem à teoria dos grafos. Em 1750 Euler atribuiu a sua fórmula uma partição planar $v-e+f=2$, onde v é o número de vértices, e é o número de arestas e f o número de faces. Assim deu-se a primeira aproximação de um poliedro usando geometria pura e, formando a base para a topologia. Porém, a fórmula foi aplicada apenas para poliedros convexos sem preenchimento. Posteriormente, as topologias tornaram-se uma parte da matemática. Após a segunda metade do século vinte, são estabelecidas as estruturas de dados topológicos 2D.

As estruturas topológicas 2D são baseadas na teoria dos grafos planares, os quais podem ser representados em um plano, com um nó nas interseções dos vértices, onde cada aresta orientada possui uma face a direita e uma face a esquerda. Estas estruturas estão bem estabelecidas e presentes em uma gama de softwares. Em contrapartida, ainda não existe um software com as funcionalidades topológicas 3D (Brugman 2010).

Nos SIG's, o uso de topologias para manipulação de dados espaciais iniciou com dados 2D, passando posteriormente para o 2.5 D (coordenadas XY e um atributo) e atualmente abrangem dados 3D e 4D (coordenadas XYZ e o tempo) (P. V. A. N. Oosterom et al. 2006). Essa evolução do uso multidimensional nos SIG's foi discutida por vários autores, (STOTER E ZLATANOVA, 2002; ABDUL-RAHMAN, 2006; e BARRY, 2007). Estas evoluções ocorreram, basicamente, pela necessidade de armazenar e recuperar objetos do mundo real para os mais diversos fins, entre eles, o Cadastro 3D (LEMMEN e OOSTEROM, 2003).

Objetivando identificar quais os objetos 3D a serem utilizados para representar o mundo real e como representá-los, eles são agrupados em objetos referentes a: construções, redes de tráfego, utilidades públicas, vegetação e telecomunicação. Neste sentido, Billen e S Zlatanova (2003) definem quatro tipos de

objetos básicos: objetos jurídicos (ex. individuais, institucionais); objetos topográficos (ex. construções, estradas, redes públicas); objetos funcionais (ex. limites administrativos); e objetos abstratos (ex. taxas, ações, rendimentos). Estas estruturas de dados alfanuméricas e geométricas são suportadas pela maioria dos bancos de dados espaciais, bem como os seus relacionamentos entre objetos bidimensionais (ex. *Oracle Spatial* e *PostGIS*).

4.1 Relacionamentos Topológicos

Os relacionamentos topológicos podem ser definidos com base em um modelo, chamado *matriz de 4-interseções*, que considera oito relações topológicas binárias, representando a interseção entre a fronteira e o interior de duas geometrias (C. A. Davis Júnior & Queiroz 2005). Egenhofer (1989) apresentou uma definição formal para a matriz de 4-interseções, e suas relações (Figura 8): disjunção (*Disjoint*), adjacência (*Meet*), contido (*Contains*), coberto (*Covers*), igualdade (*Equal*), sobreposição (*Overlap*), interno (*Inside*) e coberto por (*CoverBy*).

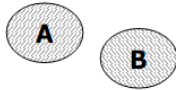
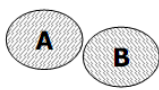
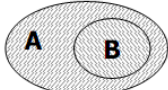
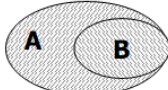
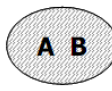
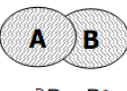
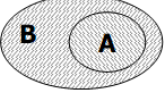
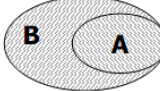
 $\begin{matrix} \partial A & \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \\ A^\circ & \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>disjoint</p>	 $\begin{matrix} \partial A & \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \neg\emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \\ A^\circ & \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>meet</p>	 $\begin{matrix} \partial A & \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \\ A^\circ & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>contains</p>	 $\begin{matrix} \partial A & \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \neg\emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \\ A^\circ & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>Covers</p>
 $\begin{matrix} \partial A & \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \neg\emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \\ A^\circ & \begin{pmatrix} \emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>equal</p>	 $\begin{matrix} \partial A & \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \\ A^\circ & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>overlap</p>	 $\begin{matrix} \partial B & \begin{pmatrix} \partial A & A^\circ \\ \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \\ B^\circ & \begin{pmatrix} \emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>inside</p>	 $\begin{matrix} \partial B & \begin{pmatrix} \partial A & A^\circ \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \\ B^\circ & \begin{pmatrix} \emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>Covered By</p>

Figura 8 – Matriz de 4-interseções para relações entre duas regiões com bordas conectadas.

Fonte: C. A. Davis Júnior e Queiroz (2005).

Buscando incluir a informação da dimensão nos objetos relacionados, vários autores (CLEMENTINI et al., 1993; ZLATANOVA, 2000), com base no modelo

de matriz de 4-Interseções, estenderam-no para o 3D, demonstrando várias possibilidades de relacionamentos multidimensionais (1, 2 e 3 dimensões) entre objetos simples. Um exemplo destes relacionamentos entre objetos é apresentado na Figura 9.

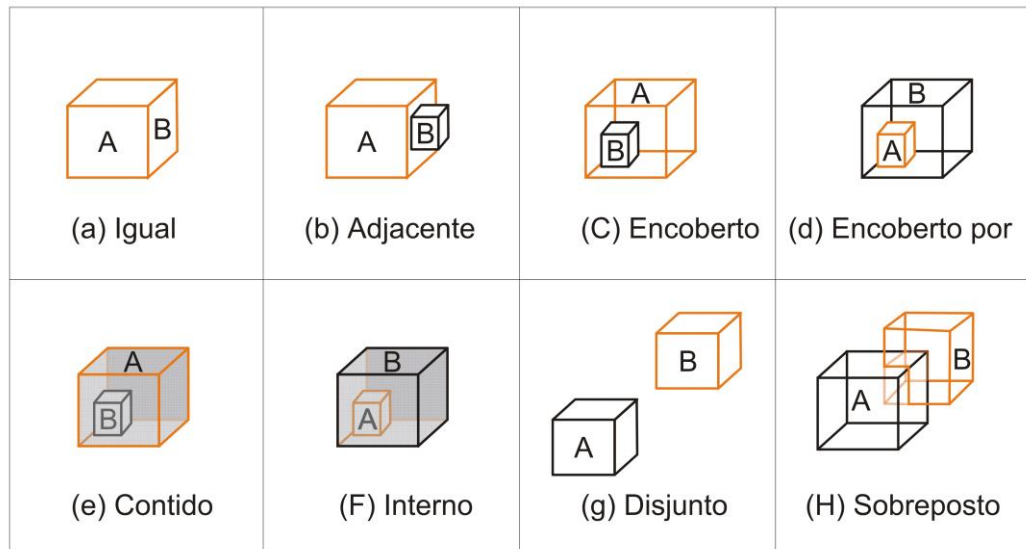


Figura 9 – Relacionamentos entre objetos 3D a partir da matriz de 4-interseções estendida para o 3D.

Fonte: Zlatanova (2000).

Para definir relacionamentos topológicos entre geometrias com estruturas complexas, como regiões com ilhas e separações, é necessário estender a matriz de 4-interseções para também considerar o exterior de uma geometria (ENGENHOFER e HERRING, 1991, apud Davis Júnior e Queiroz 2005). Este novo modelo é chamado de matriz de 9-interseções e, considera o resultado da interseção entre as fronteiras, interiores e exteriores de duas geometrias (C. A. D. Davis Júnior & Queiroz 2005).

Com o objetivo de contemplar, a partir da matriz de 9-interseções, a questão da multidimensionalidade em casos complexos, algumas propostas para estendê-la foram feitas (BILLEN e ZLATANOVA, 2003; KURATA, 2008; KURATA, 2010). Porém, esses trabalhos resultam em modelos diferentes para representar os relacionamentos entre objetos espaciais.

4.2 Modelos para representar estruturas geométricas tridimensionais

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 (OOSTEROM et al., 2002). A escolha entre qual modelo topológico utilizar está diretamente ligada ao tipo de aplicação envolvida.

A estrutura topológica 3D pode ser suportada pela representação aproximada de bordas, semelhante à Estrutura Formal de Dados 3D (*Formal Data Structure - FDS*), com a utilização de uma série de primitivas topológicas (nó, aresta, face e volume) para representar um volume 3D. Neste mesmo sentido, temos o método de Representação de Fronteiras (*Boundary Representation - B-Rep*), tendo como principal característica o armazenamento de objetos sem ambigüidade. O interior do volume é representado pelo espaço fechado da borda da superfície. A borda da superfície é composta por faces com todos os vértices das bordas, e o nó define o vértice.

Outras abordagens são a Geometria Construtiva Sólida (WYVILL E OVERVELD, 1996) e a simplificação complexa (*simplicial complexes*). Na abordagem de geometria construtiva sólida, são utilizados operadores booleanos e primitivas simples para modelar objetos complexos e a topologia não é explicitamente representada (BRUGMAN, 2010). A abordagem da simplificação complexa divide um objeto em tetraedros (cada um consiste de exatamente quatro faces). Um exemplo disso são as estruturas por rede de tetraedros (PENNINGA e OOSTEROM, 2007). Entre a representação da borda e a abordagem da simplificação complexa podemos distinguir a abordagem do *regular politopo*. Esta abordagem usa politopos convexos regulares, que são definidos pela interseção de um conjunto finito de meios espaços (*half spaces*).

4.2.1 Estrutura Formal de Dados 3D

A Estrutura Formal de Dados 3D é a primeira estrutura de dados a considerar objetos espaciais e integrando a geometria com as propriedades. É um modelo conceitual com 12 convenções, ou seja, regras para partição física de objetos, as quais definem a estrutura. Uma iniciativa de mapear este modelo em bancos de dados relacionais é apresentado na Figura 10.

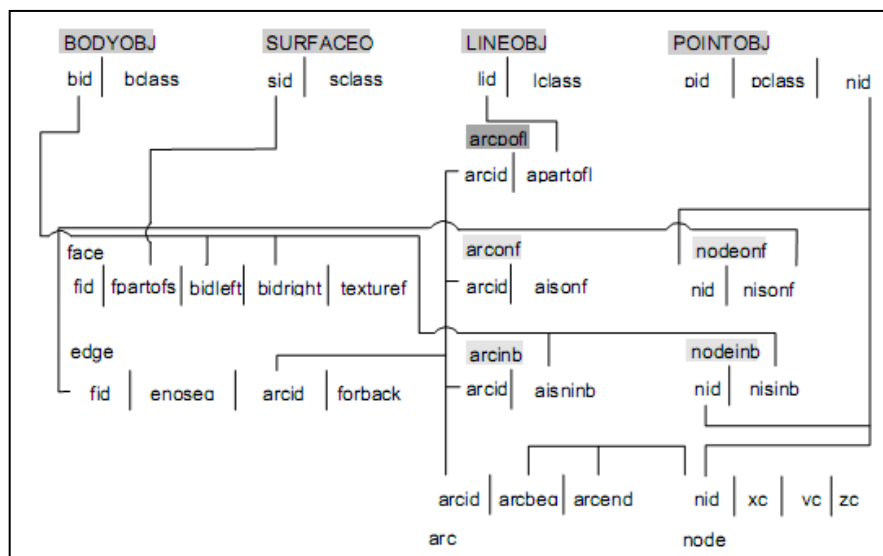


Figura 10 – Estrutura Formal de Dados: implementação relacional.

Fonte: (ZLATANOVA et. al., 2002).

Este modelo é formado por três níveis fundamentais: feição (ponto, linha, superfície e volume (body)) e quatro primitivas (nó, arco, face e aresta). De acordo com estas convenções, arcos e faces não se interceptam, em seu lugar um nó e um arco devem ser criados. As singularidades são permitidas de modo que os arcos e os *nos* possam existir dentro das faces ou dos volumes. O papel da aresta é duplo, ou seja, para definir a fronteira de uma face (relação face-arco) e estabelecer uma orientação para uma face, que é necessária para especificar o volume à esquerda ou à direita. O número de arcos que constituem as arestas não é limitado. Os arcos devem ser linhas retas e as faces devem ser planas. A superfície tem um limite exterior e pode ter vários limites não aninhados, ou seja, podem ter buracos ou ilhas. O volume tem uma superfície exterior e pode ter vários volumes não aninhados ou buracos (ZLATANOVA et. al., 2002).

O fundamento de uma EFD é o conceito de um mapa com valor simples, ou seja, pode-se utilizar, para descrição de um único objeto geométrico com dimensões iguais, o nó, o arco, a face e a aresta. A ideia da abordagem de valor único é para particionar o espaço de maneira que os objetos não se sobreponham, assegurando a relação de um para um (1:1) entre as primitivas e os objetos com mesma dimensão, por exemplo, superfícies e faces. Primitivas de diferentes dimensões, no entanto, podem sobrepor-se, por exemplo, relações nó e face, arco e face, nó e volume, arco e volume são explicitamente armazenadas (ZLATANOVA et. al., 2002).

4.2.2 Rede de Tetraedros

A rede de tetraedros (*TETrahedral Network - TEN*), conforme ilustra a Figura 11, foi introduzida por Pilouk (1996) para suprir dificuldades do modelo FDS 3D para modelar objetos com bordas indiscerníveis, como formações geológicas, nuvens de poluição, etc. A TEN utiliza uma abordagem de orientação simples para representar objetos 3D do mundo real.

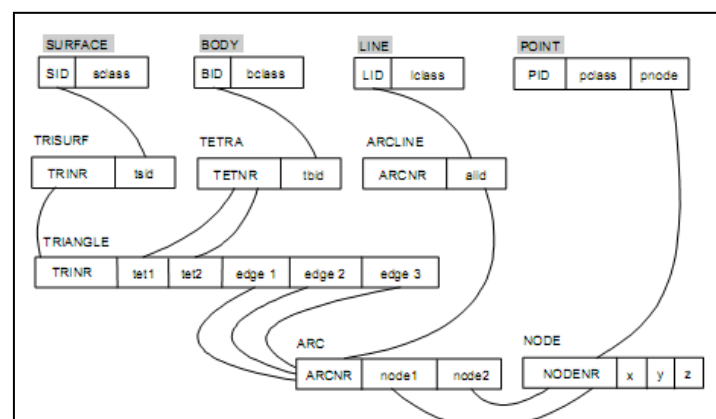


Figura 11 – Rede de Tetraedros (TEN): implementação relacional.

Fonte: Pilouk (1996 apud ZLATANOVA et al., 2002)

O modelo TEN também possui quatro primitivas (tetraedro, triângulo, arco e nó). Na implementação relacional, a relação arco-nó é dada pela tabela dos arcos; a tabela de triângulos contém o link entre o tetraedro-triângulo-aresta. Um volume é composto por tetraedros, uma superfície por triângulos, uma linha por arcos e pontos

de *nos*. A regra geral para criação do modelo é baseada no fato de que cada nó é uma parte de um arco, cada arco é parte de um triângulo e, cada triângulo é parte de um tetraedro. Singularidades não são permitidas. Como o modelo utiliza o conceito de simplicidade, espera-se poder resolver o escopo de eventuais relações topológicas 3D (ZLATANOVA et. al., 2002).

Uma aplicação utilizando a Rede de Tetraedros é apresentada por Penninga & P. V. Oosterom (2007b), onde o objetivo foi desenvolver uma estrutura capaz de manipular uma grande quantidade de dados e oferecer suporte a consultas, análises e validações.

4.2.3 Modelo de Dados Urbanos

O Modelo de Dados Urbanos (*Urban Data Model - UDM*), ilustrado na Figura 12, representa a geometria de volumes ou superfície através de faces planares convexas. Cada face é definida por um conjunto de *nos*. Duas faces planares convexas são adjacentes se elas compartilham pelo menos dois *nos*. A orientação de uma face é armazenada implicitamente.

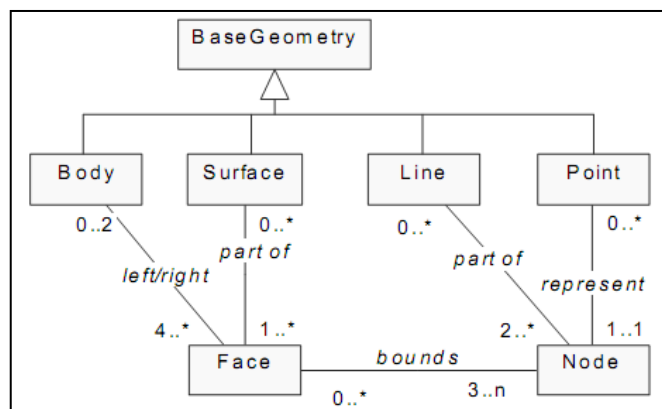


Figura 12 – Modelo de Dados Urbanos (UDM).

Fonte: (ZLATANOVA et. al., 2002)

Na representação do modelo relacional, cada face com mais de três *nos* é decomposta em triângulos e a tabela de faces contém apenas três colunas, ou seja, o de identificação dos três *nos* do triângulo. A construção de uma primitiva unidimensional (arco) também não é suportada. Esta primitiva, porém, pode ser implicitamente definida através de dois *nos* sucessivos. Similar a FDS 3D o

relacionamento entre face-volume existe e é armazenado explicitamente na tabela de faces. A partição de objetos é superior, pois todas as superfícies precisam ser trianguladas. Dependendo da complexidade das superfícies (por exemplo, o número de janelas em uma parede), esta triangulação pode levar ao aumento da base de dados. No entanto, no caso de fachadas simples (por exemplo, sem janelas), o número constante de colunas na tabela de faces compensa o crescente número de elementos para manutenção. As singularidades são relativamente reduzidas, ou seja, os relacionamentos nó-a-face e arco-a-face são resolvidos (Zlatanova et al. 2004).

4.2.4 Modelo Espacial Simplificado

O Modelo Espacial Simplificado (*Simplified Spatial Model – SSS*) foi desenvolvido para atender aplicações para Internet com várias consultas e visualizações, conforme ilustra a Figura 13. Os objetos básicos são quatro, porém as primitivas utilizadas 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).

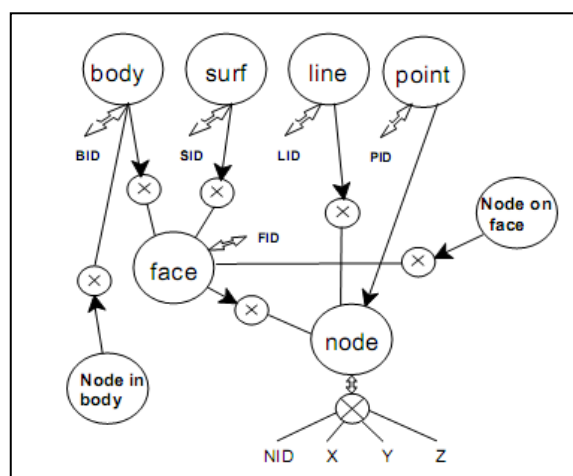


Figura 13 – Modelo Espacial Simplificado (SSM).

Fonte: (ZLATANOVA et al., 2004).

4.2.5 Representação de Fronteiras (B-Rep)

B-Rep é um tipo de modelagem geométrica de sólidos por representação de fronteiras. É um modelo desenvolvido a mais de 20 anos, porém muito utilizado até hoje. Este modelo descreve um objeto por meio das superfícies que o limitam e das arestas e vértices (geometria) que estas superfícies - ou faces – apresentam. Essas superfícies são fechadas, ou seja, são conjuntos de faces que não possuem interrupções, todas as faces são conectadas por arestas (ZEID, 1991).

Através 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 14 mostra a criação de uma pirâmide de base quadrangular utilizando o esquema de representação b-rep. A geometria é dada pelos vértices, que associados formam a topologia do objeto, ou seja, as faces limitadas pelas arestas.

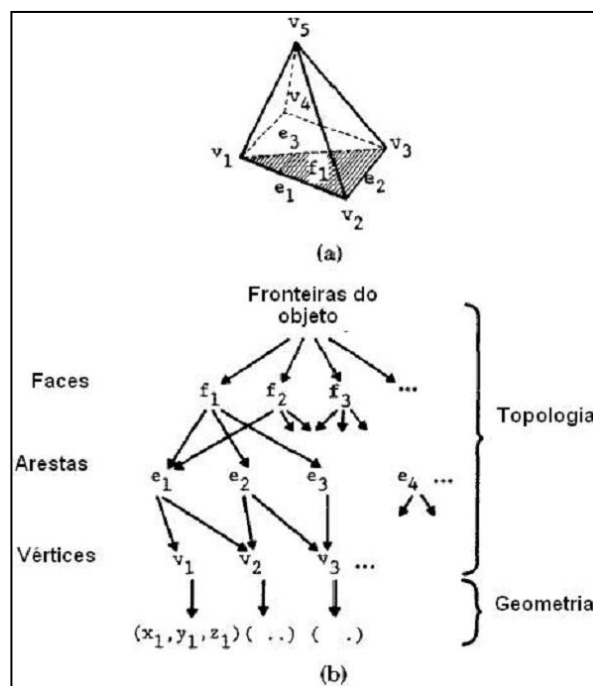


Figura 14 – Modelagem geométrica por fronteiras.

Fonte: (ZEID, 1991).

Uma das vantagens em utilizarmos o modelo B-Rep é a construção de geometrias complexas a partir de formas simples, como superfícies poligonais planas que formam objetos poliédricos. Ellul e Haklay (2009) apresentam um modelo modificado do B-Rep, implementando no banco de dados *Oracle Spatial* estas modificações, objetivando otimizar consultas que utilizem relacionamentos topológicos 3D. Um exemplo da implementação da estrutura B-Rep é apresentado na Figura 15.

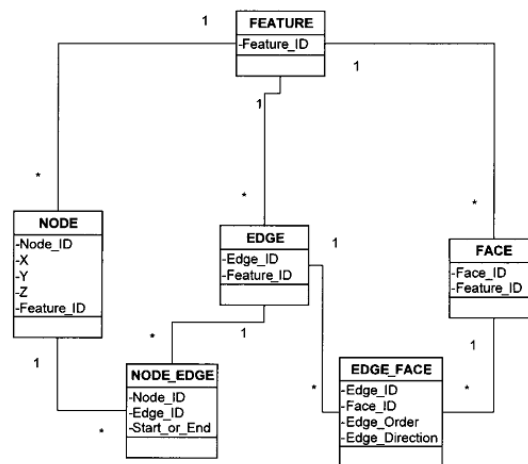


Figura 15 – Representação da estrutura B-Rep em um banco de dados relacional.

Fonte: Ellul & Haklay (2009).

Segundo Ellul & Haklay (2009), no contexto do Cadastro 3D, os objetos (feições), apresentados na Figura 15, podem representar objetos do tipo ponto, linha e polígono, a partir de primitivas utilizadas para representar os nos, arestas e faces. Neste caso, uma feição possui muitas primitivas, mas cada primitiva está associada com apenas uma feição. A junção entre as primitivas é realizada nas tabelas *No_Borda* e *Borda_Face*. A partir desta estrutura é possível reconstruir as feições, com suas partes externas e internas. Deste modo, o modelo B-Rep pode ser utilizado na modelagem e representação de dados cadastrais 3D.

Com a escolha do modelo adequado para a representação dos dados cadastrais 3D, é necessária uma análise referente à modelagem dos demais dados envolvidos no banco de dados espaciais a ser utilizado, o que é realizado no próximo Capítulo.

5. MODELAGEM CONCEITUAL DO CADASTRO

Os Capítulos anteriores serviram como referências conceituais ao Cadastro 3D, mostrando a evolução do Cadastro e dos SIG's, com ênfase nos Bancos de Dados e nos SGBD's, objetivando o armazenamento, a recuperação dos dados espaciais e o uso de modelos para representação dos dados 2D e 3D. Porém, como desenvolver modelos para o Cadastro 3D no Brasil, se não temos leis, nem modelo de dados espaciais completamente definidos?

Neste Capítulo são apresentadas algumas técnicas desenvolvidas em vários países para contemplar o Cadastro 3D. Com isto, pretende-se obter subsídios para uma proposta de modelo cadastral 3D brasileiro.

5.1 Alternativas possíveis

Quando se pensa em Cadastro, é necessário levar em conta os dados atuais e como os mesmos são coletados, para posteriormente propor mudanças. É com base nisso que se podem identificar três situações para solucionar este problema (STOTER 2004): a solução mais completa, a mais simples e a híbrida.

A solução mais completa (Cadastro 3D completo) seria podermos acessar todas as parcelas como volumes. Isso seria possível adicionando ao cadastro (no banco de dados) das parcelas (como é feito atualmente) uma coluna com os volumes das parcelas, também referidas como parcelas volumétricas. Nesta solução também podemos ter uma alternativa, exigindo que todas as parcelas estejam com seus limites representados por coordenadas tridimensionais.

O Cadastro 3D híbrido seria um modelo onde existiria o direito de parcela volumétrica. Todos o registros de parcelas seriam feitos em 2D e, registros adicionais de espaço legal 3D seriam realizados no caso das parcelas 3D (registrando os limites deste volume). Também poderia ser feito o registro de todas as parcelas em 2D e registros adicionais para os objetos físicos (em 3D) .

A alternativa mais simples seria identificar os registros que necessitam do Cadastro 3D e, apenas acrescentar uma ligação no cadastro atual (2D) para estas parcelas com os novos registros de suas fronteiras em 3D (STOTER e OOSTEROM, 2005).

5.2 Ferramentas para modelagem de dados geográficos 2D

Com a evolução computacional e, em especial a dos bancos de dados geográficos, surgiu a necessidade de novos modelos que permitam a modelagem de dados geográficos. A maioria desses novos modelos possui sua origem nos modelos utilizados para modelagem de dados alfanuméricos (Entidade Relacionamento – ER (CHEN, 1976), *Object Modeling Technique* – OMT (RUMBAUGH, 1991), entre outros), com algumas adaptações para os dados geográficos (*Geographic Object-Oriented Analysis* – GeoOOA (Kosters et al. 1995), *Object Modeling Technique for Geographic Applications* - OMT-G (BORGES et al., 2005), *Modeling of Application Data with Spatio temporal features* – MADS, GISER, UML-GeoFrame (LISBOA FILHO et al., 2004).

Com o desenvolvimento e o efetivo uso destes modelos, alguns se sobressaindo mais que outros, surgiram ferramentas que auxiliam na construção dos modelos, como o ArgoCASEGeo, utilizado para desenvolver modelos UML-GeoFrame.

Entre os modelos acima citados, destacam-se o OMT-G (Técnica de Modelagem de Objetos para Aplicações Geográficas), por ser o padrão utilizado pela Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), e o UML-GeoFrame por existir uma ferramenta gráfica (ArgoCASEGEO) para o desenvolvimento da modelagem.

5.2.1 Modelo OMT-G

O modelo OMT-G possui suas primitivas definidas a partir do diagrama de classes da UML (*Unified Modeling Language* – Linguagem de Modelagem Unificada) acrescida de primitivas geográficas, para modelar tanto a parte geométrica quanto topológica dos dados geográficos. Como muitas informações geográficas

necessitam de atributos alfanuméricos, foi incorporada no modelo OMT-G métodos para modelar estes dados (BORGES et al., 2005).

Os conceitos principais envolvidos no modelo OMT-G referem-se a classes, relacionamentos e restrições de integridades espaciais, detalhados em três diagramas: o diagrama de classes, utilizado para especificar as classes e suas representações e relacionamentos, proporcionando a derivação de restrições de integridade espacial; o diagrama de transformação, utilizado para identificar os métodos necessários para a implementação e; o diagrama de apresentação, utilizado para identificar as alternativas de visualização que cada representação pode assumir (BORGES et al., 2005).

Uma descrição detalhada deste modelo, bem como das primitivas envolvidas nos diagramas é apresentado por Borges e Davis (2001), onde os autores apresentam exemplos teóricos e práticos do uso deste modelo.

5.2.2 Modelo UML-GeoFrame

Este modelo conceitual de Banco de Dados Geográficos baseia-se na linguagem UML e no *framework* GeoFrame. Segundo Lisboa Filho, Rodrigues Júnior, & Daltio, (2004), o GeoFrame é um *framework* conceitual que, através de diagramas de classes, auxilia na modelagem de dados geográficos. Isto, graças à combinação do GeoFrame e da linguagem UML, permitindo a modelagem tanto de dados geográficos (geo-campos e geo-objetos), quanto convencionais.

A modelagem UML-GeoFrame utiliza os estereótipos para descrição da modelagem geográfica. Este modelo foi utilizado no desenvolvimento da ferramenta ArgoCASEGEO, com o intuito de facilitar o processo de modelagem de dados geográficos.

5.3 ArgoCASEGEO: uma ferramenta para modelagem de dados geográficos

Com o advento da modelagem, surgiram às ferramentas de modelagem CASE (*Computer-Aided Software Engineering*), auxiliando no desenvolvimento dos diagramas, das classes e ligações entre as entidades a serem modeladas. Assim,

existem várias ferramentas CASE para modelagem de dados para o BDG, entre elas estão: *Percontory*, baseada no modelo Spatial PVL e UML (BÉDARD, 1999); *REGIS*, baseado no modelo GeoOOA; *AIGLE*, baseado no modelo OMEGA (LBATH e PINET, 2000); *MADS*, baseado no modelo MADS (PARENT, 1999).

ArgoCASEGEO é uma ferramenta CASE de código aberto que permite a modelagem de banco de dados geográficos com base no modelo conceitual UML-GeoFrame (seção 5.2.2), que é específico para aplicações de SIG. A ferramenta também suporta aspectos simples de modelagem temporal, bem como possibilita a geração automática de esquemas lógicos de bancos de dados, em formato *Shapefile* ou para a biblioteca de manipulação de dados geográficos *TerraLib* (desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE). Um módulo de Catálogo de Padrões de Análise foi incorporado à ferramenta.

Esta ferramenta tem como base o software ArgoUML e está sendo desenvolvida no Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa (UFV), disponível no endereço <http://www.dpi.ufv.br/projetos/argocasegeo/>.

Para o desenvolvimento da modelagem, é fundamental a compreensão do diagrama de classes oferecido pelo modelo GeoFrame, e especificado no pacote PGeoFrame. Este diagrama é utilizado como base para a modelagem das classes de um domínio de aplicação, que pode ser uma aplicação geográfica (pacote Tema). Os temas na modelagem são representados na linguagem UML através dos pacotes (Figura 16). Estes pacotes também são utilizados para criar hierarquia entre os temas, podendo existir um pacote dentro do outro. A utilização desses temas gera um esquema denominado UML-GeoFrame.

Apresentam-se em desenvolvimento outros pacotes, os quais combinados com o PGeoFrame, podem representar aspectos temporais e operações de análise geográfica (RUSCHEL, IOCHPE e LISBOA FILHO, 2003).

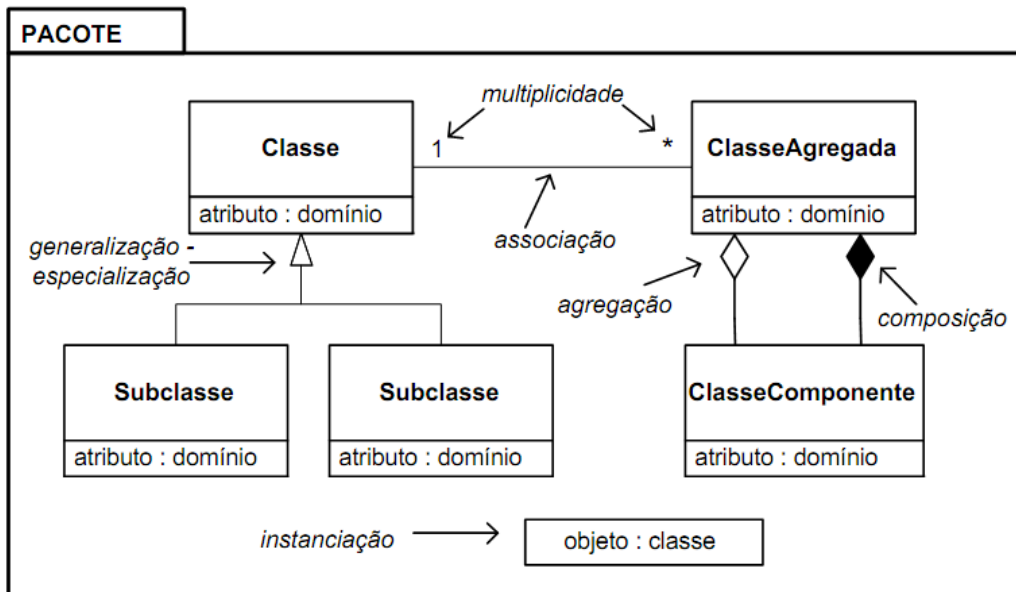


Figura 16 – Exemplo de pacote, onde são armazenados os temas (classes e relações) na ferramenta ArgoCaseGeo.

Fonte: (LISBOA FILHO et. al., 1999).

Existem duas classes de objetos, os que possuem característica espacial (*FenômenoGeográfico*) e os denominados objetos descritivos (*ObjetoNãoGeográfico*). Seguindo o princípio da dicotomia de visão de campos e objetos, o *GeoFrame* especializa *FenômenoGeográfico* nas classes *ObjetoGeográfico* e *CampoGeográfico*. Estas divisões são apresentadas na Figura 17 e a forma de representação é indicada por meio de um conjunto de estereótipos, apresentados como pictogramas no canto superior direito do retângulo que indica a classe. Os esquemas *UMLGeoFrame* podem ser construídos utilizando-se ferramentas CASE compatíveis com a linguagem UML e que consigam apresentar estereótipos sob forma de pictograma.

<i>Fenômeno geográfico e Objeto convencional</i>	<i>Componente espacial de objetos geográficos</i>	<i>Componente espacial de campos geográficos</i>
<ul style="list-style-type: none"> △ Objeto geográfico △ Campo geográfico △ Objeto não geográfico 	<ul style="list-style-type: none"> □ Ponto ▬ Linha □ Polígono * Obj. espacial complexo 	<ul style="list-style-type: none"> □ Pontos irregulares □ Grade de pontos □ Polígonos adjacentes □ Isolinhas □ Grade de células □ TIN
<p><<função>> função categórica</p>		

Figura 17 – Estereótipos do Modelo UML-GeoFrame.
Fonte: Lisboa Filho, Rodrigues Júnior e Daltio (2004).

Segundo Chrisman (apud LISBOA FILHO, RODRÍGUES JÚNIOR e DALTIO (2004)), numa estrutura de cobertura categórica o espaço é classificado em categorias mutuamente exclusivas, ou seja, uma variável possui um valor do tipo categoria em todos os pontos dentro de uma região (ex.: tipos de solos).

Identificado o processo de modelagem, é fundamental a definição dos parâmetros de entrada e saída disponíveis na representação no GeoFrame. Quando qualquer representação de campo ou objeto é aplicável, utiliza-se os termos que identificam as classes *ObjetoGeográfico* (▲) e *CampoGeográfico* (▲). Neste sentido, buscando disponibilizar um catálogo de operações oferecidas pelo modelo GeoFrame, Ruchel et. al. (2003) apresenta um catálogo, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Catálogo de Operações do GeoFrame.

Operação	Parâmetros de Entrada	Resultado
Seleção	Fenômeno; expressão lógica	Fenômeno
Seleção Espacial	Objeto; predicado espacial	Objeto
Seleção por Região	Fenômeno; região	Fenômeno
Classificação	Fenômeno; método	Fenômeno
Zona de Influência	Fenômeno; distância	Campo ou Polígono
Superposição	Fenômeno1; Fenômeno2 (restrição); operador booleano	Fenômeno
Diagrama Voronoi	Pontos Irregulares	PolAdjacentes
Declividade	Campo	Campo
Intervisibilidade	Campo; região; altura	Campo
Difusão	Grade Células ou Linha; origem; dominância	Grade Células ou Linha
Transformação	Fenômeno; sistema origem; sistema destino	Fenômeno
Distância	Objeto1; Objeto2	Distância
Centróide	Polígono	Ponto
Agregação	Linha ou Polígono; atributo	Linha ou Polígono
Interpolação	Fenômeno; método; parâmetros numéricos	Fenômeno

Fonte: Ruschel et al. (2003).

A partir do embasamento teórico sobre alguns conceitos básicos de bancos de dados (Capítulo 3); avançando para os bancos de dados espaciais (sessão 3.3); uma análise topológica dos dados a serem manipulados pelos BDE e, alguns métodos de representação de dados 3D no BDG (4); um estudo referente aos métodos e ferramentas para modelagem de dados geográficos (5), passou-se para a metodologia desenvolvida.

6. METODOLOGIA

Para executar a modelagem dos dados cadastrais, deparou-se com a necessidade de esclarecer ou até mesmo definir alguns termos que serão utilizados na modelagem. Os termos envolvidos no Cadastro Territorial Multifinalitário, e que são utilizados para representar as superfícies cadastráveis, envolvidas na modelagem foram: imóvel, parcela, edificação. Sua definição foi abordada no Capítulo 2, Seção 2.3.

Os dados modelados foram os envolvidos no Cadastro Territorial Multifinalitário, que envolve o cadastro de superfícies, sendo elas os imóveis e as edificações, envolvendo representação com polígonos e poliedros tridimensionais. As edificações representam as superfícies volumétricas que são prédios, sobrados ou casas térreas, podendo ser bem representadas por poliedros, ou são logradouros, rios, áreas verdes, áreas de preservação ambiental, entre outros, representadas por polígonos.

Dois experimentos foram desenvolvidos e os dados utilizados são provenientes de simulação (coordenadas simuladas), porém, com base em necessidades do cadastro territorial tridimensional.

O primeiro experimento se desenvolveu com base na modelagem geométrica de fronteiras, B-Rep, para representação de objetos volumétricos. Neste experimento, o objetivo foi desenvolver uma modelagem para representar e armazenar os dados cadastrais 3D (setor, quadra, imóvel, parcela, edificação) no banco de dados geográficos, viabilizando consultas posteriores que respondam às necessidades do Cadastro, bem como consultas topológicas, as quais não haviam sido desenvolvidas até 2012, pela organização de padrões geoespaciais (*Open Geospatial Consortium – OGC*).

O segundo experimento refere-se aos casos em que ocorre sobreposição de parcelas representadas por polígonos e poliedros, como ilustra a Figura 18, situação em que o prédio foi construído sobre a rua, e Figura 19, onde ocorre sobreposição de logradouros.

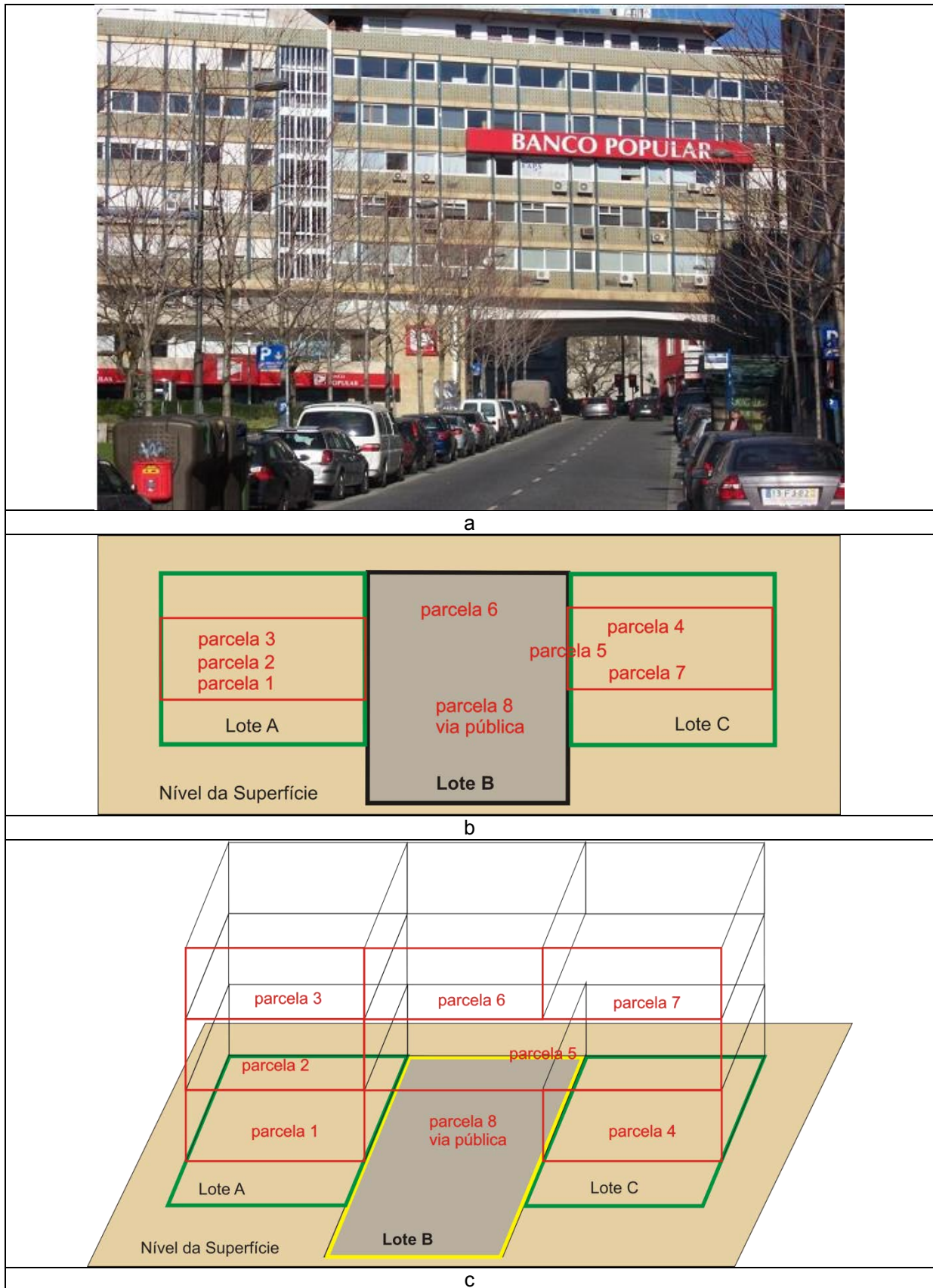


Figura 18 – a) Foto de uma situação que exige cadastro tridimensional. b) Representação gráfica do Cadastro parcelário bidimensional. c) Representação gráfica do Cadastro 3D das parcelas espaciais.



Figura 19 – Foto da sobreposição de ruas, ilustrando outra aplicação do cadastro tridimensional.

A modelagem desenvolvida envolve apenas dados que refletem o cadastro de superfícies territoriais, por exemplo, imóveis, edificações, rios, logradouros, áreas verdes, entre outros, que exigem o cadastro das parcelas 3D.

Durante a modelagem desenvolveu-se um identificador único para o setor, a quadra, o imóvel e a parcela, para os quais se seguiu necessidades lógicas do cadastro, no qual a parcela sempre está vinculada a um setor, uma ou duas quadras e um imóvel.

O identificador do setor foi definido como sendo um valor sequencial. O identificador da quadra é formado por um número sequencial da quadra no setor e, o identificador do setor, pois sempre uma quadra estará localizada dentro de um setor.

O imóvel, sempre está localizado em uma quadra, assim, o seu identificador é formado por um número sequencial do imóvel na quadra, pelo identificador do setor, e o identificador da quadra. Por último, o identificador da parcela é formado pelo conjunto de identificadores: identificador do Setor, identificador da primeira quadra a que a parcela pertence, identificador da segunda quadra a que a parcela pertence, identificador do imóvel onde a parcela está localizada, e um identificador sequencial da própria parcela.

Para exemplificar os identificadores pode-se observar a Figura 20, onde a parcela 5 do imóvel A, e Quadra B, do Setor X, possui o seguinte identificador $idSetor = 1$; $idQuadra = 2$; $idQuadra = 0$; $idimovel = 2$; $idParcela = 5$, sendo identificado como a junção entre estes ids, formando o identificador da parcela 12025. A duplicação da quadra se deve ao fato de uma parcela espacial poder pertencer a até duas quadras, como o caso da Figura 18, onde a parcela localizada sobre a rua pode estar vinculada a quadra à esquerda ou à direita, ou mesmo as duas, em caso de parcelas representando uma passarela. Assim, o identificador da parcela 4 é 12024, da parcela 3 é 12023, da parcela 2 é 12022, da parcela 1 é 12021, respectivamente.

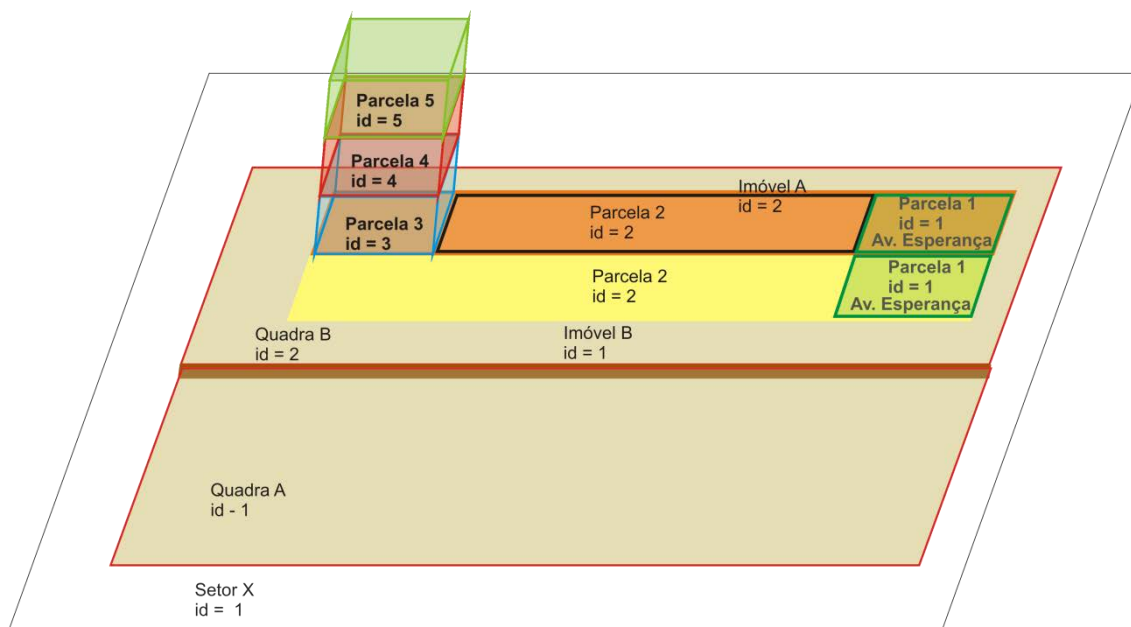


Figura 20 – Exemplo de identificadores de setor, quadra, imóvel e parcela.

Requisitos de consistência:

- Um Setor deve ser identificado de forma única;

- b) Uma Quadra deve ser identificada de forma única;
- c) O limite 3D de uma Quadra não pode ultrapassar os limites 3D do Setor a que pertence;
- d) Um Imóvel está localizado em até duas quadras;
- e) O limite 3D de um Imóvel deve estar dentro do limite 3D da Quadra a que pertence;
- f) Um Imóvel pode conter uma ou mais parcelas;
- g) Uma parcela deve ser identificada de forma única, pertencer a um imóvel, uma quadra e um setor, de maneira inequívoca;
- h) Os limites de uma parcela são representados por um poliedro, armazenado na forma de multipolígono 3D;
- i) Os limites 3D da edificação não podem ultrapassar os limites 3D da parcela;
- j) Uma parcela possui uma ou mais edificações;
- k) Uma parcela possui uma ou mais Edificações Volumétricas;
- l) Uma Edificação pertence a apenas uma parcela e, possui um único tipo de edificação;
- m) Uma Edificação Volumétrica pertence a apenas uma parcela e, possui um único tipo de edificação volumétrica.

A modelagem foi desenvolvida utilizando o software ArgoCASEGeo, disponível em <http://www.dpi.ufv.br/projetos/argocasegeo/>, acessado em cinco de novembro de 2012. A modelagem de dados para o banco de dados objeto-relacional resultou em oito relações (tabelas).

Os experimentos foram desenvolvidos no banco de dados PostgreSQL, e sua extensão espacial PostGIS. Nele, realizou-se a tradução dos requisitos de consistência para o banco de dados, envolvendo as restrições de integridade como, por exemplo, restrição de chave (chave primária), integridade referencial (chave estrangeira), restrições de entidades (campos únicos), e definição dos tipos de dados (inteiros, texto, geométricos, entre outros). Essas definições são comuns na área de banco de dados e mais detalhes podem ser encontrados em Özsu e Valduriez (2001), Machado (2004), Silbershatz, Korth e Sudarshan (2006), Date (2008).

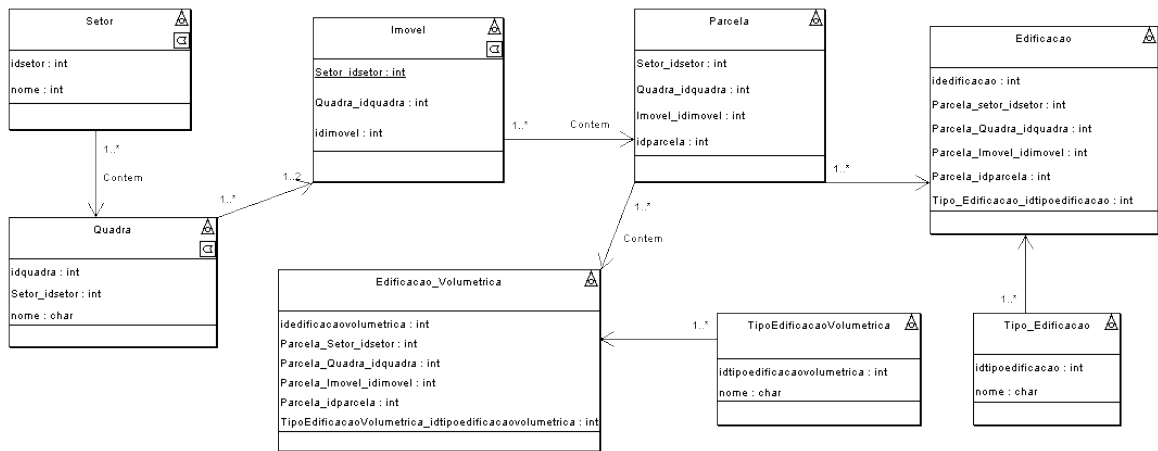


Figura 21 – Modelagem de dados e seus relacionamentos entre as superfícies cadastráveis.

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste Capítulo são apresentados os experimentos desenvolvidos, objetivando validar a hipótese proposta na tese. Ressalta-se que o experimento da seção 7.1 foi realizado entre 2012 e 2013, com o objetivo de modelar uma estrutura de dados que permitisse a consulta espacial 3D. Porém, ao término do mesmo, foram disponibilizadas soluções sobre consultas espaciais (geométricas e topológicas) pela comunidade internacional, no site da OGC. Com esta mudança, passou-se para o desenvolvimento do segundo experimento, onde realizou-se alguns testes com um banco de dados que possui implementado as consultas envolvidas.

7.1 Modelagem de dados para identificar relacionamentos topológicos

Realizou-se 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, propiciando consultas topológicas. 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 22a). Este modelo foi gerado a partir do software Google SketchUp 8, versão de teste.

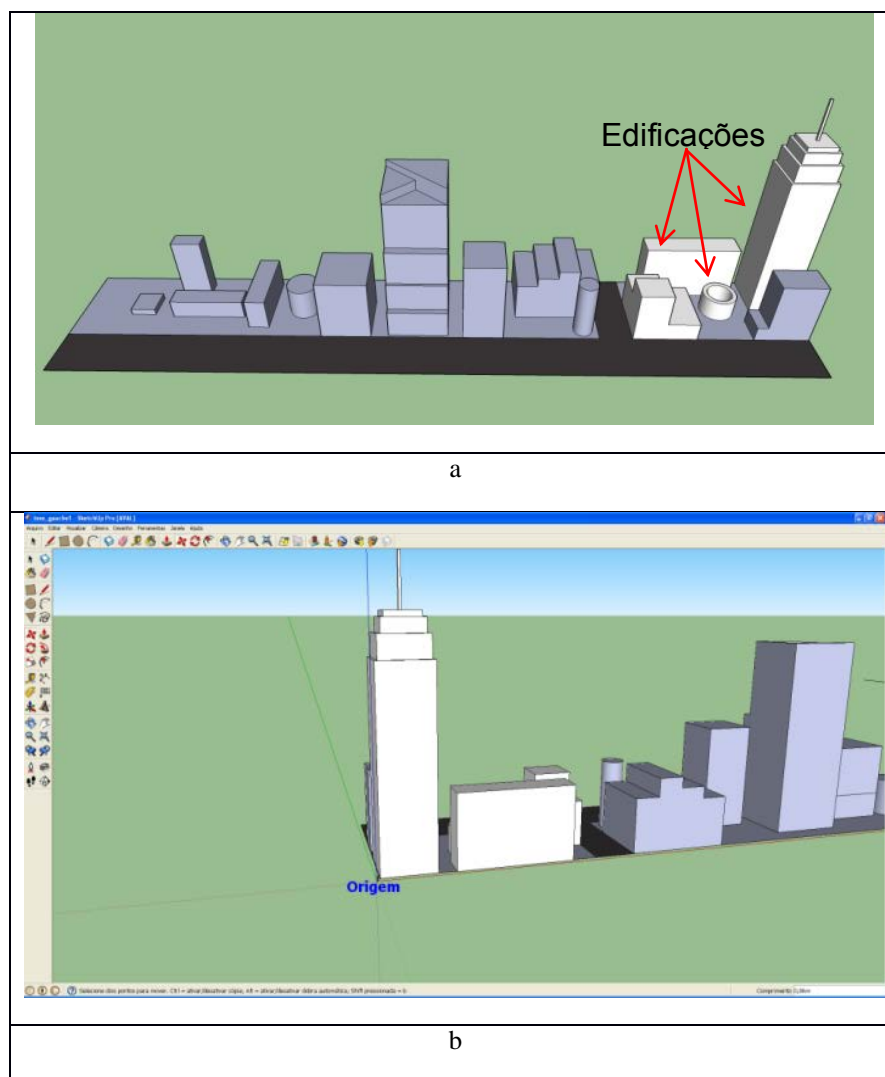


Figura 22 – (a) Objetos tridimensionais, gerados aleatoriamente, para o Cadastro 3D; (b) indicação da origem do sistema.

Para a obtenção das coordenadas dos dados simulados, se definiu que o sistema de referência das coordenadas teria como origem o ponto zero para os três eixos (X, Y e Z) (Figura 22 b). Esse sistema de referencia foi adotado objetivando uma alternativa para o armazenamento de dados cadastrais tridimensionais, pois até início de 2012, quando este experimento foi realizado, ainda não era possível a manipulação 3D dos dados. Desse modo, os *nos* com suas respectivas coordenadas são apresentados na Tabela 7, os quais também poderiam ser armazenados em uma estrutura 2,5 D, ou seja, (X, Y e altura).

Tabela 7– Coordenadas utilizadas 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

A partir da definição dos objetos 3D a serem utilizados no presente trabalho, representou-se os relacionamentos entre as tabelas utilizando a notação de Entidade-Relacionamento Estendida (*Extended Entity-Relationship*, EE-R) do MySQL Workbench, versão 5.2.

Para representar os diferentes objetos tridimensionais, utilizou-se a estrutura de dados baseada em *nos*, 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.

7.2 **Modelagem do Banco de Dados Geográficos**

A modelagem foi desenvolvida utilizando o software Workbench 5.0, disponível em <http://www.mysql.com/products/workbench/>, acessado em cinco de novembro de 2012. O diagrama EE-R (Figura 23) para o banco de dados objeto-relacional resultou em nove relações (tabelas). Essas relações são usadas para representar objetos tridimensionais referentes às ações antrópicas praticadas nas parcelas tridimensionais.

A relação *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 utilizado 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 e, 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.

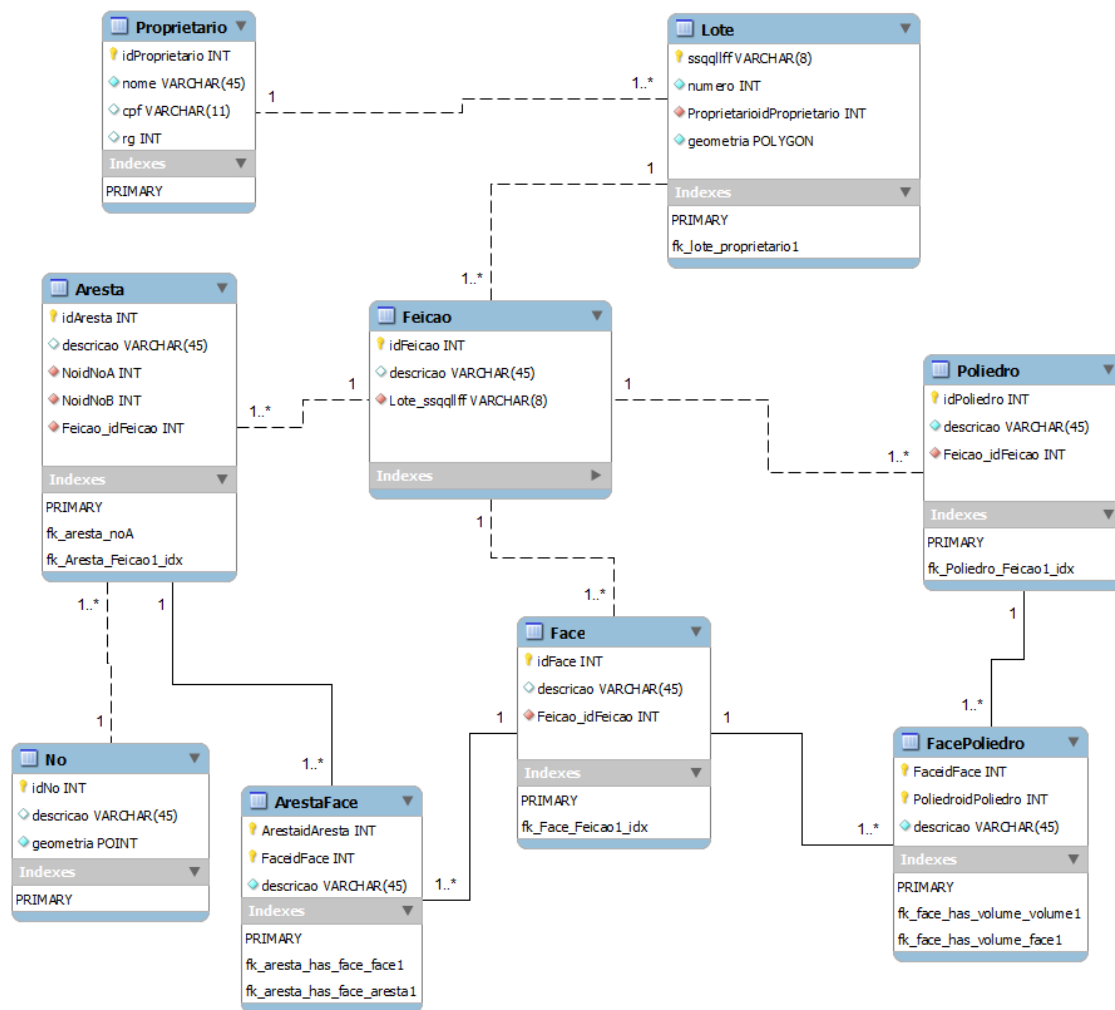


Figura 23 – Diagrama EE-R para os relacionamentos entre os objetos (poliedro, cilindro e a combinação de ambos) e as primitivas (ponto, linha e polígono).

Um poliedro é descrito pelo conjunto de faces, as quais são formadas por um conjunto de arestas e estas, por sua vez, formadas por *nos* (pontos). Apenas esses pontos envolvem informações espaciais, o que resulta em consultas mais simples computacionalmente.

Outras tabelas são utilizadas 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 *nos* que compõem as feições são obtidas a partir das consultas SQL. Para o objeto 1, apresentado na Figura 14, é possível obter as faces que o compõem utilizando o comando SQL apresentado no quadro 1.

Identificadas as faces, foram consultadas as arestas que compõem essas faces, para isso, foi utilizado o comando SQL apresentado no quadro 2.

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 = facepoliedro.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.arestaidaresta
AND face.idface = 1
```

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

Quadro 3 - Comando SQL para consultar quais os *nos* que compõem as arestas envolvidas.

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

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

Quadro 4 - Comando SQL para consultar quais os *nos* que compõem o objeto 1.

```
SELECT arestax.idaresta FROM
(SELECT distinct arestax.idaresta FROM
(SELECT face.idface FROM face, poliedro, facepoliedro WHERE poliedro.idpoliedro =
facepoliedro.poliedroidpoliedro AND face.idface = facepoliedro.faceidface) AS facex
INNER JOIN
(SELECT aresta.idaresta, face.idface FROM aresta, face, arestaface WHERE face.idface = arestaface.faceidface
AND aresta.idaresta = arestaface.arestaidaresta) AS arestax
USING (idface)) AS arestaxx
LEFT join
((SELECT aresta.idaresta, aresta.descricao, aresta.noidnoa, ST_astext(geometria) FROM aresta, no WHERE
aresta.noidnoa = no.idno) As t1
INNER JOIN
(SELECT aresta.idaresta, aresta.descricao, aresta.noidnob, ST_astext(geometria) FROM aresta, no WHERE
aresta.noidnob = no.idno) AS t2
USING (idaresta)) AS nox
```

```
USING (idaresta) ORDER BY idaresta
```

7.3 Validação da modelagem dos dados cadastrais tridimensionais para o Banco de Dados Geográficos

7.3.1 Definição da Estrutura de Dados

A partir da modelagem, foi desenvolvido o banco de dados com suas respectivas tabelas, conforme apresentam os Quadro 5 até Quadro 13. O banco de dados foi definido conforme indica o comando SQL apresentado no Quadro 5. O nome do banco foi definido como “CTM”, indicando ser o Cadastro Territorial Multifinalitário, ‘UTF8’ é o padrão da codificação utilizada para armazenar a estrutura e dos dados, a linguagem utilizada pelo banco de dados LC_COLLATE que é Portugues Brazil e, o número de conexões permitidas CONNECTION LIMIT.

Quadro 5 – SQL para definição do banco de dados.

```
CREATE DATABASE "CTM"  
WITH OWNER = postgres  
ENCODING = 'UTF8'  
TABLESPACE = pg_default  
LC_COLLATE = 'Portuguese_Brazil.1252'  
LC_CTYPE = 'Portuguese_Brazil.1252'  
CONNECTION LIMIT = -1;
```

Com a definição do banco de dados, iniciou-se o processo de definição da estrutura das tabelas. A tabela setor foi definida através do comando SQL apresentado no Quadro 6. O campo *idsetor* é não nulo, restrição esta que garante que todo setor definido tenha um valor, o campo nome possui o tamanho máximo de 45 caracteres, e a restrição de chave primaria (PRIMARY KEY) sobre o campo setor indica que ele não se repetirá na tabela. Após a definição da tabela que é adicionada a coluna espacial, com o campo nomeado como geometria, com sistema de referencia igual à zero, e o tipo do campo como sendo polígono (POLYGON) tridimensional (3).

Quadro 6 – SQL para definição da tabela Setor e adicionando a coluna geométrica.

```
CREATE TABLE setor (  
  idsetor INT NOT NULL,  
  nome VARCHAR(45) NULL,  
  PRIMARY KEY (idsetor))  
;  
  
SELECT AddGeometryColumn ('public', 'setor', 'geometria', 0, 'POLYGON', 3);
```

A tabela quadra é formada por quatro campos, conforme apresenta o Quadro 7. O requisito funcional definido na metodologia, para que uma mesma quadra não pertença a dois setores, é definido através da chave composta formada pelos campos *idquadra* e *setor_idsetor*.

Quadro 7 – SQL para definição da tabela Quadra.

```
CREATE TABLE quadra (  
  idquadra INT NOT NULL,  
  nome VARCHAR(45) NULL,  
  setor_idsetor INT NOT NULL,  
  PRIMARY KEY (idquadra, setor_idsetor))  
;  
  
SELECT AddGeometryColumn ('public', 'quadra', 'geometria', 0, 'POLYGON', 3);
```

Para a estrutura de dados imóvel, como não existe uma definição específica para o início e fim do imóvel acima ou abaixo da terra, ou seja, em relação a sua coordenada z, a solução seria representar geometricamente o imóvel por um polígono com coordenadas tridimensionais. Porém, existem casos onde uma região é limitada a construções com alguns pavimentos, ou seja, existe uma altura pré-definida, o que permite o cadastro de um imóvel como sendo um volume. Portanto, para representar ambas as situações, o imóvel é cadastrado como um multipolígono, e para validar se uma parcela está dentro do imóvel são avaliadas apenas as coordenadas x e y.

Quadro 8 – SQL para definição da tabela imóvel.

```
CREATE TABLE imovel (  
  setor_idsetor INT NOT NULL,  
  quadra_idquadra INT NOT NULL,  
  idimovel INT NOT NULL,  
  
  PRIMARY KEY (idimovel, setor_idsetor, quadra_idquadra),  
  
  CONSTRAINT fk_imovel_setor1
```

```

FOREIGN KEY (setor_idsetor)
REFERENCES setor (idsetor)
        ON DELETE NO ACTION
        ON UPDATE NO ACTION,

CONSTRAINT fk_imovel_quadra1
FOREIGN KEY (quadra_idquadra)
REFERENCES quadra (idquadra)
        ON DELETE NO ACTION
        ON UPDATE NO ACTION)
;
SELECT AddGeometryColumn ( 'public', 'imovel', 'geometria', 0, 'MULTIPOLYGON', 3);

```

A definição da estrutura de dados da parcela é fundamental para o cadastro de parcelas tridimensionais. Apesar da geometria que representa a parcela ser única, para o banco de dados, buscas por campos com dados primitivos é mais eficiente, revelando a importância da formação dos identificadores da parcela.

Da mesma forma, como já foi apresentado, a chave primária é composta, envolvendo o identificador da parcela (idparcela), o identificador do imóvel (imovel_idimovel) vindo da tabela lote, o identificador da quadra (imovel_quadra_idquadra) com origem da tabela quadra, e o identificador do setor (imovel_setor_idsetor) com origem da tabela setor. O código formado pelos quatro campos gera o identificador único da parcela.

Quadro 9 – SQL para definição da tabela Parcela.

```

CREATE TABLE parcela (
  idparcela INT NOT NULL,
  imovel_idimovel INT NOT NULL,
  imovel_setor_idsetor INT NOT NULL,
  imovel_quadra_idquadra INT NOT NULL,

  PRIMARY KEY (imovel_idimovel , imovel_setor_idsetor , imovel_quadra_idquadra,
  idparcela),

  CONSTRAINT fk_parcela_imovel1
  FOREIGN KEY (imovel_idimovel , imovel_setor_idsetor , imovel_quadra_idquadra)
  REFERENCES imovel (idimovel , setor_idsetor , quadra_idquadra)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION)
;
SELECT AddGeometryColumn ('public', 'parcela', 'geometria', 0, 'MULTIPOLYGON', 3);

```

Quadro 10 – SQL para definição da tabela Tipo de Edificação Volumétrica.

```

CREATE TABLE tipoedificacaovolumetrica (
  idtipoedificacaovolumetrica INT NOT NULL,

```

```

nome VARCHAR(45) NULL,

PRIMARY KEY (idtipoedificacaovolumetrica))
;

```

Quadro 11 – SQL para definição da tabela Edificação Volumétrica.

```

CREATE TABLE edificacavolumetrica (
  idedificacavolumetrica INT NOT NULL,
  parcela_idparcela INT NOT NULL,
  tipoedificacaVolumetrica_idtipoedificacavolumetrica INT NOT NULL,

  PRIMARY KEY (idedificacavolumetrica),

  CONSTRAINT fk_edificaca_volumetrica_parcela1
  FOREIGN KEY (parcela_idparcela)
  REFERENCES parcela (idparcela)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION,

  CONSTRAINT fk_edificaca_volumetrica_tipoedificacaVolumetrica1
  FOREIGN KEY (tipoedificacaVolumetrica_idtipoedificacaVolumetrica)
  REFERENCES tipoedificacaVolumetrica (idtipoedificacaVolumetrica)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION)
;

SELECT AddGeometryColumn ('public', 'edificacavolumetrica', 'geometria', 0,
'MULTIPOLYGON', 3);

```

Quadro 12 – SQL para definição da tabela Tipo de Edificação.

```

CREATE TABLE tipoedificacao (
  idtipo_edificacao INT NOT NULL,
  nome VARCHAR(45) NOT NULL,

  PRIMARY KEY (idtipo_edificacao))
;

```

Quadro 13 – SQL para definição da tabela de Edificação.

```

CREATE TABLE edificacao (
  idedificacao INT NOT NULL,
  tipo_edificacao_idtipo_edificacao INT NOT NULL,
  parcela_idparcela INT NOT NULL,

  PRIMARY KEY (idedificacao),

  CONSTRAINT fk_edificacao_tipo_edificacao1
  FOREIGN KEY (tipo_edificacao_idtipo_edificacao)

```

```
REFERENCES tipoedificacao (idtipo_edificacao)
ON DELETE NO ACTION
ON UPDATE NO ACTION,

CONSTRAINT fk_edificacao_parcela1
FOREIGN KEY (parcela_idparcela)
REFERENCES parcela (idparcela)
ON DELETE NO ACTION
ON UPDATE NO ACTION)
;

SELECT AddGeometryColumn ('public', 'edificacao', 'geometria', 0, 'POLYGON', 3);
```

7.3.2 Armazenamento dos Dados

Os dados foram obtidos conforme metodologia apresentada no Capítulo 6, e a Figura 24 representa graficamente esses dados. Nesta simulação destaca-se a existência de um logradouro passando abaixo de uma parcela espacial, localizado parcialmente em uma quadra, que é uma situação comumente identificada no cadastro tridimensional. As coordenadas envolvidas foram simuladas a partir do software Google Earth, utilizando o sistema de projeção UTM WGS 84 zona 22s.

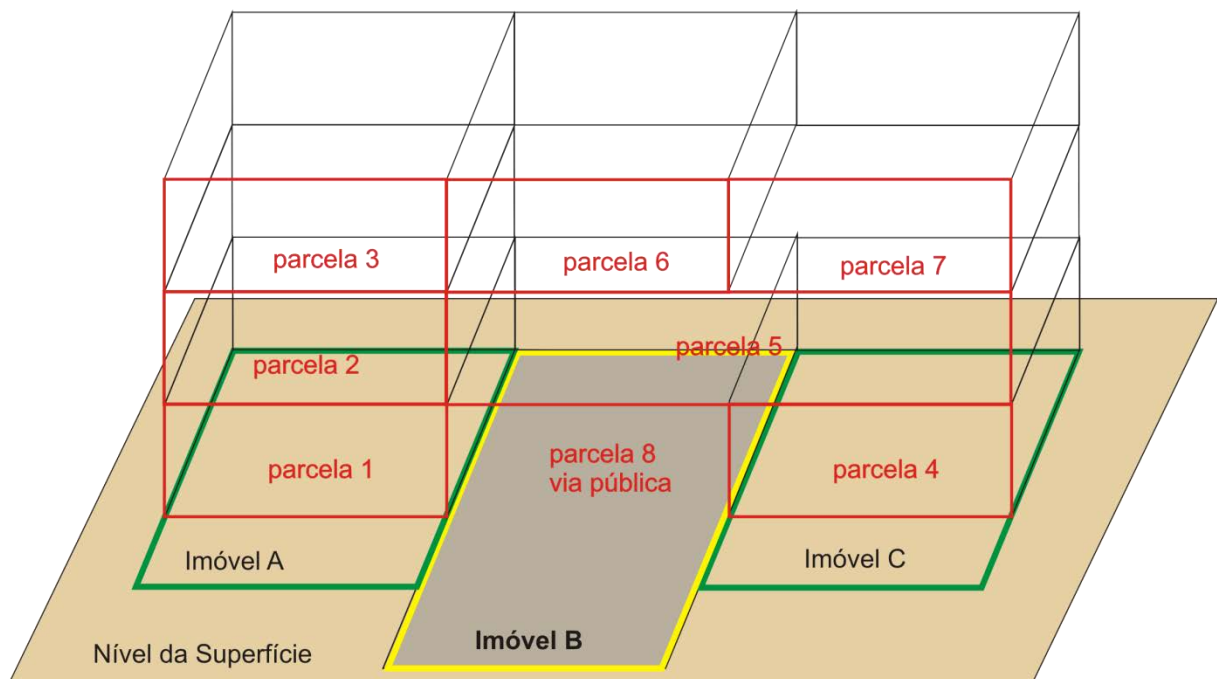


Figura 24 – Ilustração da representação gráfica dos dados simulados para o experimento.

A inserção dos dados na relação Setor foi realizada através do comando SQL, apresentado no Quadro 14. Destaca-se o processo de inserção das coordenadas, que no caso da tabela Setor, é feito inserindo-se os vértices que compõem o polígono, sendo a primeira e a última coordenada igual.

Quadro 14 – SQL para inserir dados na tabela Setor.

```
INSERT INTO setor(  
    idsetor, nome, geometria)  
VALUES (1, 'Norte', GeomFromEWKT('POLYGON((460128.70 7553434.33 484,  
                                           460977.77 7553164.86 448,  
                                           460537.65 7552621.81 437,  
                                           459651.72 7552913.50 455,  
                                           460128.70 7553434.33 484))))'  
);
```

Na tabela imóvel, utiliza-se o campo geometria para armazenar o poliedro envolvente, ou seja, o imóvel é delimitado por um conjunto de poliedros. Na inserção dos dados na tabela imóvel, utilizando o comando SQL do Quadro 15, podemos observar que o identificador único do imóvel, é formado pelo identificador do setor, da quadra e do imóvel.

Quadro 15 – SQL para inserir dados na tabela Imóvel.

```
INSERT INTO imovel(  
    setor_idsetor, quadra_idquadra, idimovel, geometria)  
VALUES (1, 1, 1,  
    GeomFromEWKT('SRID=31997; MULTIPOLYGON(((460303.74 7553080.28 476,  
                                               460329.93 7553066.62 476,  
                                               460318.71 7553045.79 476,  
                                               460307.88 7553032.33 476,  
                                               460300.12 7553013.64 476,  
                                               460281.00 7553020.75 476,  
                                               460289.75 7553040.52 476,  
                                               460292.76 7553056.29 476,  
                                               460303.74 7553080.28 476))),  
    ((460303.74 7553080.28 496,  
     460329.93 7553066.62 496,  
     460318.71 7553045.79 496,  
     460307.88 7553032.33 496,  
     460300.12 7553013.64 496,  
     460281.00 7553020.75 496,  
     460289.75 7553040.52 496,  
     460292.76 7553056.29 496,  
     460303.74 7553080.28 496))))');
```


A inserção dos dados nas tabelas quadra, parcela, edificação, tipo de edificação, edificação volumétrica, tipo de edificação volumétrica, realizou-se da mesma maneira que nas tabelas setor e imóvel.

7.3.3 Consulta de Dados Cadastrais 3D

Um dos objetivos primordiais do cadastro é identificar e, conseqüentemente, localizar uma parcela inequivocamente. Neste sentido, realizou-se a consulta apresentada no Quadro 16, no qual o identificador da parcela, formado pela chave primária composta, é único. Trata-se de uma chave composta pelo identificador do setor, da quadra, do imóvel e da parcela, sendo estes quatro campos únicos.

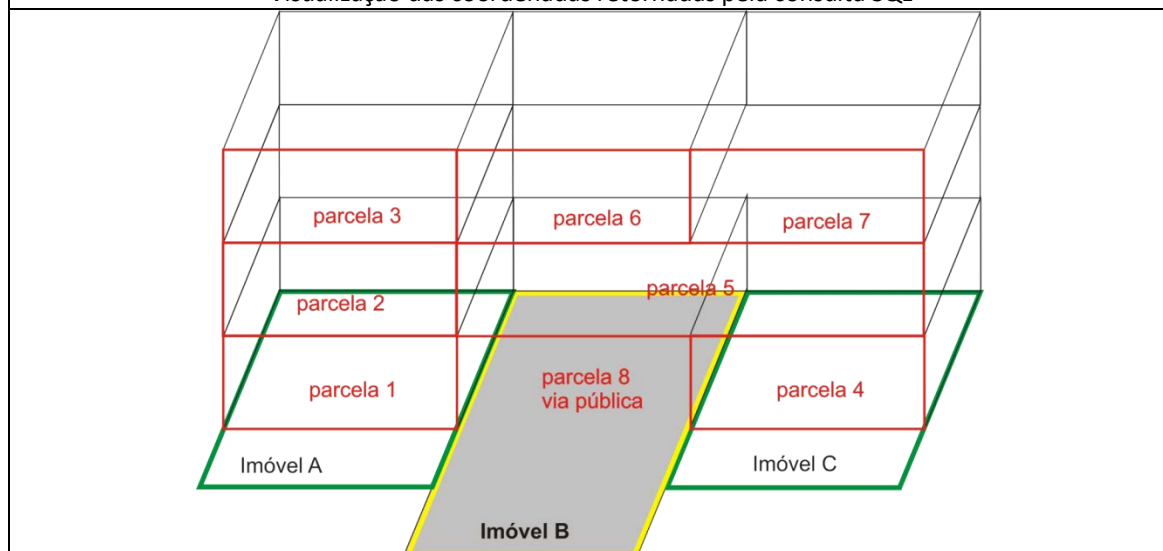
Isso é possível devido à restrição de campo fornecida pelo banco de dados, e através das chaves estrangeiras, a partir das quais pode-se recuperar as informações do imóvel, da quadra e do setor a que a parcela pertence. O identificador da parcela um é 1111, indicando que ela pertence ao imóvel 1, a quadra 1, o setor 1 e, este conjunto não se repetirá na tabela, de modo que a parcela dois com o identificador sendo 1112, também pertence ao imóvel 1, a quadra 1 e o setor 1, bem como, cada parcela é delimitada pelas suas coordenadas tridimensionais.

Quadro 16 – Consulta para identificar e localizar parcelas de forma inequivocamente.

Pergunta	Qual o identificador e a localização das parcelas cadastradas?			
Consulta SQL	SELECT imovel_setor_idsetor, imovel_quadra_idquadra, imovel_idimovel, idparcela, ST_AsText(geometria) FROM parcela;			
Resultado do comando SQL				
idsetor	idquadra	idimovel	idparcela	geometria text
1	1	1	1	"MULTIPOLYGON Z (((460303.74 7553080.28 476,460329.93 7553066.62 476,460318.71 7553045.79 476,460292.76 7553056.29 476,460303.74 7553080.28 476)),((460303.74 7553080.28 479,460329.93 7553066.62 479,460318.71 7553045.79 479,460292.76 7553056.29 479,460303.74 7553080.28 479)))"
1	1	1	2	"MULTIPOLYGON Z (((460303.74 7553080.28 479,460329.93 7553066.62 479,460318.71 7553045.79 479,460292.76 7553056.29 479,460303.74 7553080.28 479)),((460303.74 7553080.28 482,460329.93 7553066.62 482,460318.71

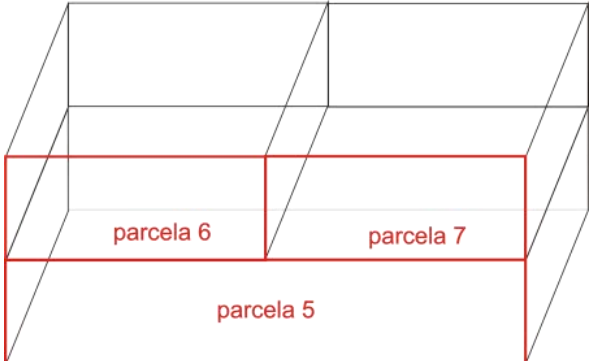
				7553045.79 482,460292.76 7553056.29 482,460303.74 7553080.28 482))]"
1	1	1	3	"MULTIPOLYGON Z (((460303.74 7553080.28 482,460329.93 7553066.62 482,460318.71 7553045.79 482,460292.76 7553056.29 482,460303.74 7553080.28 482)),((460303.74 7553080.28 485,460329.93 7553066.62 485,460318.71 7553045.79 485,460292.76 7553056.29 485,460303.74 7553080.28 485)))]"
1	1	1	4	"MULTIPOLYGON Z (((460307.88 7553032.33 476,460281 7553020.75 476,460289.75 7553040.52 476,460300.12 7553013.64 476,460307.88 7553032.33 476)),((460307.88 7553032.33 479,460281 7553020.75 479,460289.75 7553040.52 479,460300.12 7553013.64 479,460307.88 7553032.33 479)))]"
1	1	1	5	"MULTIPOLYGON Z (((460292.76 7553056.29 479,460318.71 7553045.79 479,460300.12 7553013.64 479,460281 7553020.75 479,460292.76 7553056.29 479)),((460292.76 7553056.29 482,460318.71 7553045.79 482,460300.12 7553013.64 482,460281 7553020.75 482,460292.76 7553056.29 482)))]"
1	1	1	6	"MULTIPOLYGON Z (((460292.76 7553056.29 482,460318.71 7553045.79 482,460307.88 7553032.33 482,460289.75 7553040.52 482,460292.76 7553056.29 482)),((460292.76 7553056.29 485,460318.71 7553045.79 485,460307.88 7553032.33 485,460289.75 7553040.52 485,460292.76 7553056.29 485)))]"
1	1	1	7	"MULTIPOLYGON Z (((460289.75 7553040.52 482,460307.88 7553032.33 482,460281 7553020.75 482,460300.12 7553013.64 482,460289.75 7553040.52 482)),((460289.75 7553040.52 485,460307.88 7553032.33 485,460281 7553020.75 485,460300.12 7553013.64 485,460289.75 7553040.52 485)))]"
1	1	1	8	"MULTIPOLYGON Z (((460289.75 7553040.52 475,460292.76 7553056.29 475,460318.71 7553045.79 475,460307.88 7553032.33 475,460289.75 7553040.52 475)),((460289.75 7553040.52 479,460292.76 7553056.29 479,460318.71 7553045.79 479,460307.88 7553032.33 479,460289.75 7553040.52 479)))]"

Visualização das coordenadas retornadas pela consulta SQL



A consulta dos dados cadastrais 3D foi realizada utilizando a linguagem SQL, e avaliada no banco de dados PostgreSQL e sua extensão espacial PostGIS. Foram definidas algumas situações que necessitam resposta do cadastro tridimensional, as quais converteu-se em consultas SQL e avaliou-se o resultado, objetivando validar a estrutura de dados desenvolvida.

Quadro 17 – Consulta para identificar as parcelas vizinhas à parcela número 7.

Pergunta	Quais as parcelas vizinhas da parcela 7?
Consulta SQL	SELECT a.parcela_idparcela, ST_AsText(a.geometria) as geometria FROM edificacaovolumetrica As a, edificacaovolumetrica As b WHERE b.parcela_idparcela = 7 AND ST_3DIntersects(a.geometria, b.geometria)
Resultado do comando SQL	
parcela_idparcela int	geometria text
5	"MULTIPOLYGON Z (((460292.76 7553056.29 479,460318.71 7553045.79 479,460300.12 7553013.64 479,460281 7553020.75 479,460292.76 7553056.29 479)),((460292.76 7553056.29 482,460318.71 7553045.79 482,460300.12 7553013.64 482,460281 7553020.75 482,460292.76 7553056.29 482)))"
6	"MULTIPOLYGON Z (((460292.76 7553056.29 482,460318.71 7553045.79 482,460307.88 7553032.33 482,460289.75 7553040.52 482,460292.76 7553056.29 482)),((460292.76 7553056.29 485,460318.71 7553045.79 485,460307.88 7553032.33 485,460289.75 7553040.52 485,460292.76 7553056.29 485)))"
7	"MULTIPOLYGON Z (((460289.75 7553040.52 482,460307.88 7553032.33 482,460281 7553020.75 482,460300.12 7553013.64 482,460289.75 7553040.52 482)),((460289.75 7553040.52 485,460307.88 7553032.33 485,460281 7553020.75 485,460300.12 7553013.64 485,460289.75 7553040.52 485)))"
Visualização das coordenadas retornadas pela consulta SQL	
	

A importância na definição de um identificador único para o setor, a quadra, o imóvel e a parcela auxiliam na eficiência do banco de dados, pois a busca realizada sobre um campo com dados primitivos (também conhecido por nativo ou básico) é mais eficiente que sobre tipos geométricos. Outro fator que propicia o uso

de um identificador único é a sua possibilidade de vinculação com o registro de imóveis.

Com as funções adicionadas ao PostGIS na versão 2.0, em 2012, várias consultas espaciais são possíveis. Entre elas estão a distância entre dois pontos, um ponto e uma linha, um ponto e um polígono, um ponto e um poliedro, um polígono e um poliedro, onde uma das geometrias ou ambas podem ser em 2 ou 3D. Essa evolução, não apenas do PostGIS, mas de outros bancos de dados geográficos também, proporciona uma solução computacional para os modelos de representação geométrica e topológica, pesquisados por vários anos como, por exemplo, os apresentados no Capítulo 4.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com o aumento das demandas pelo uso do espaço, o Cadastro 3D passou a ter destaque em pesquisas durante a última década, principalmente com o objetivo de identificar uma solução para a modelagem, armazenamento e representação computacional. Isso propicia uma possível minimização das diferenças entre a realidade física do cadastro parcelário e o direito de propriedade registrado em cartório, desde que trabalhado conjuntamente.

Com relação ao primeiro experimento, destaca-se a ideia do uso dos vértices e das arestas para identificar relações topológicas de distância, vizinhança, entre outras. Através do experimento comprovou-se a viabilidade do uso de um modelo para estruturas topológicas, como o B-Rep, para responder as consultas topológicas. Porém, devido à demora no desenvolvimento e publicação dos resultados deste experimento, e a relevância do tema, as relações espaciais foram adicionadas ao banco de dados para o cadastro tridimensional. Contudo, analisando as funções do PostGIS para consultar dados tridimensionais, observa-se o uso de consultas à faces, para responder a questões topológicas, conforme feito no experimento desenvolvido.

No segundo experimento foi possível comprovar a identificação inequívoca da parcela, do imóvel, da quadra e do setor, com sua geometria tridimensional, respectivamente. Essas estruturas são de fundamental importância para o Cadastro, que é parcelário, servindo de subsídio para o registro do direito de propriedade dos imóveis, pois um imóvel sempre está vinculado a essas estruturas. Esse experimento demonstrou a viabilidade real de interligar o registro ao cadastro de parcelas tridimensionais.

A partir dos experimentos, concluímos que é possível o armazenamento e a recuperação de dados cadastrais tridimensionais em um banco de dados geográfico. Isso viabiliza também a modelagem dos dados para o banco de dados geográficos, sendo o B-Rep um modelo simples, porém bem adaptável ao cadastro tridimensional.

Alguns problemas relacionados não só ao Cadastro 3D precisam ser solucionados como, por exemplo, a definição de como deve ser feita a aquisição de dados espaciais para o cadastro e, como esses serão usados no registro. A solução desses problemas é de fundamental importância, pois, com o armazenamento e a representação do Cadastro 3D e 4D, uma forma de unir isso em um banco de dados é de fundamental importância para o planejamento, a longo prazo, da gestão do território.

8.1 Recomendações

A partir dos resultados observados, recomenda-se aplicar o modelo desenvolvido com a utilização de dados reais e interligando-os com o registro de imóveis. A identificação inequívoca da parcela espacial, e sua representação geométrica única, são subsídios fundamentais para o registro da parcela.

Isso demanda o desenvolvimento adicional de uma ferramenta a ser disponibilizada aos cartórios para consulta e visualização prévia das parcelas espaciais, antes do registro das novas parcelas espaciais.

Recomenda-se a realização de experimentos com a introdução dos cadastros não territoriais, como o cadastro das redes de serviços. Esse tipo de cadastro demanda novo levantamento das necessidades, nova modelagem e novos experimentos. Porém, não demandaria novas definições, pois o vínculo será feito ao imóvel e as parcelas, todos já identificadas inequivocamente.

Para viabilizar o armazenamento de dados tridimensionais somado com consulta espaço-temporal, dando origem ao chamado Cadastro 4D, ou seja, Cadastro Tridimensional Temporal, é necessária uma modelagem que una ambos, com o cadastro convencional, envolvendo tanto objetos com geometria 2D como atributos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILERA, A.; Ayala, D. Orthogonal polyhedra as geometric bounds in constructive solid geometry. *Proceedings of the fourth ACM symposium on Solid modeling and applications*. Atlanta, Georgia, Estados Unidos, 1997, pp. 56-67.

AMORIM, A. *et al.*. Cadastro Técnico Multifinalitário via Internet: um importante instrumento de apoio ao planejamento municipal. *Revista Brasileira de Cartografia*, 60(2), 2008, pp.119-125.

ARENS, C.; Stoter, J.; Oosterom, P.V. Modelling 3D spatial objects in a geo-DBMS using a 3D primitive. *Computers & Geosciences*, 31(2), 2005, pp.165-177.

AZRI, N.S.; Rahman, A. A. Modelling of Primitive Volumetric Objects in Geo-DBMS. In: *Map Asia 2010 & ISG 2010*, 2010.

BÉDARD, Y. Visual modelling of spatial databases towards spatial extensions and UML. In: *Geomatica*. v.53, n.2, Québec, 1999, pp. 169-186.

BENTLEY. Bentley Delivers New 3D City GIS Information Modeling Software to Enhance Design and Operation of Intelligent Cities. *Empresa BENTLEY*. Disponível em: <http://www.bentley.com/en-US/Products/Geospatial+Information+Management/>, Acessado em:13/01/2011.

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

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

BORGES, K.; DAVIS, C. Modelagem de Dados Geográficos. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. 2001. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>. Acessado em: 01/03/2010.

BORGES, K.A.V., Davis Júnior, C.A.D; Laender, A.H.F.. Modelagem conceitual de dados geográficos. In M. A. Casanova et al., eds. *Banco de Dados Geográficos*. Curitiba, Paraná, Brasil: MundoGEO, 2005, pp. 93-146.

BRASIL, *Estatuto da Terra*. 1964. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4504.htm>, Acessado em: 23/01/2014.

BRUGMAN, B. 3D topological structure management within a DBMS validating a topological volume. *Tese*. Universitet Utrecht, Geographical Information Management and Applications, 2010.

CÂMARA, G.. Representação computacional de dados geográficos. In M. A. Casanova et al., eds. *Banco de Dados Geográficos*. Curitiba, Paraná, Brasil: MundoGEO, 2005, pp. 1-44.

CHEN, P. The entity-relationship model – toward a unified view of data. *ACM Transaction on Database System*, v.1, p.9-36, 1976.

CLEMENTINI, E., Felipe, P.D.; Oosterom, P.V. A Small Set of Formal Topological Relationships Suitable for End-User Interaction. *Electronics*, 1993.

CORDEIRO, J. P.; AMARAL, S.; FREITAS, U. M.; CÂMARA, G. Álgebra de Geo-Campos e suas Aplicações. In: *Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador, Brasil, 1996, INPE, p. 691-697.

DALY, L.; Brutzman, D. X3D: Extensible 3D Graphics Standard. *IEEE Signal Processing Magazine*, 24(6), 2007, pp.130-135. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4387948>.

DAMAS, L.. *SQL: Structured Query Language*. 6th ed., Rio de Janeiro: LTC, 2007.

DATE, C.J. *Introdução a Sistemas de Bancos de Dados*, Campus, 2008.

Davis Júnior, C.A.D; Queiroz, G.R.D. Métodos de acesso para dados espaciais. In M. A. Casanova et al., eds. *Banco de Dados Geográficos*. Curitiba, Paraná, Brasil: MundoGEO, 2005, pp. 213-232.

DAVIS JÚNIOR, Clodoveu, A; Queiroz, G.R.D., 2005. Algoritmos geométricos e relacionamentos topológicos. In M. A. Casanova et al., eds. *Banco de Dados Geográficos*. Curitiba, Paraná, Brasil: MundoGEO, pp. 53-146.

EGENHOFER, M.J. A Formal Definition of Binary Topological Relationships. *Lecture Notes in Computer Science*, 367(June) , 1989, pp.457-472.

ELLUL, C.; Haklay, M.M. Using a B-Rep structure to query 9-Intersection topological relationships in 3D GIS - Reviewing the approach and improving performance. In LEE, J.; ZLATANOVA, Sisi. eds. *3D Geo-Information Sciences*. Berlin: Springer, 2009, pp. 127-151.

ESRI. *ArcGIS*. Disponível em: <<http://www.esri.com/>>. Acessado em: 13/01/2011.

FILIN, S., Kulakov, Y.; DOYTSHER, Y. Application of Airborne Laser Technology to 3D Cadastre. In *FIG Working Week 2005 and GSDI-8*. Cairo, Egypt, 2005, pp. 1-13.

FOSSE, Juliana Moulin. Avaliação da simbologia e da orientação geográfica para as representações cartográficas tridimensionais. Tese, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2008, p. 105.

GLANDER, T.; DÖLLNER, J. Abstract representations for interactive visualization of virtual 3D city models. Computers, Environment and Urban Systems, 33, 2009, p. 375-387.

GUNDELSWEILER, G.; BARTOSCHEK, T.; DE SÁ, L. A. C. M. Development in the German Cadastre. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 13, nº 2, p.423-432, jul-dez, 2007.

HASSAN, M.I. et al. An integrated 3d cadastre – Malaysia as an example. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVII - P, 2008, pp.121-126.

HAWERK, Winfried. Cadastre 2020 – New Trends in Germany's Cadastre?!. In: FIG XXII International Congress. Washington, D.C. USA, April 19-26, 2002.

HAWERK, Winfried. Cadastre for the 21Century. In: FIG XXIII International Congress. Munich, Germany, October 8-13, 2006.

HIJAZI, I. et al. IFC to CityGML Transformation Framework for Geo- Analysis: A Water Utility Network Case. In 3D GeoInfo 2009. Ghent: Ghent University, 2009, pp. 123-127.

HU, M. Semantic based lod models of 3d house property. In The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2008, pp. 95-102.

KAUFMANN, J.; STEUDLER, D. Cadastre 2014. FIG. 1998. Disponível em: <<http://www2.swisstopo.ch/fig-wg71/cad20014.htm>>. Acessado em: 20/07/2009.

KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. Realidade Aumentada: Uma Abordagem Tecnológica. In R. Siscoutto; R. Costa, eds. X Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2008, pp. 1-20.

KOSTERS, G., PAGEL, B.; SIX, H. Object-Oriented Requirements Engineering for GIS-Applications. In ACM-GIS International Workshop on Advances in Geographic Information Systems. Baltimore, 1995, pp. 1-8.

KURATA, Yohei. From three-dimensional topological relations to contact relations. In: NEUTENS, T.; MAEYER, P. De; Developments in 3D Geo-Information Sciences. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Springer-Verlang, Berlin Heidelberg, 2010.

KURATA, Yohei. The 9 + -Intersection : A Universal Framework for Modeling Topological Relations. Proceeding GIScience '08 Proceedings of the 5th international conference on Geographic Information Science. Bremen, Germany, 2008.

LAUDON, C.K.; LAUDON, J.P. *Information systems and the internet*. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

LBATH A., PINET, F. The Development and Customization of GIS-Based Applications and Web-Based GIS Applications with the CASE Tool AIGLE. In: *8th ACM Symposium GIS, Washington D.C*, 2000, pp. 194-196.

LEMMEN, C.; OOSTEROM, P.V. 3D Cadastres. *Computers, Environment and Urban Systems*, 27(4), 2003 pp.337-343. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0198971502000340>.

LEMMENS, Mathias. Towards Cadastre 2034. In: *GIM International*. Disponível em: <http://www.gim-international.com/issues/articles/id1561-Beyond_Cadastre.html>. Acessado em: 10/02/2011.

LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. Um Estudo sobre Modelos Conceituais de Dados para Projeto de Bancos de Dados Geográficos. *IP-Informática Pública*, 4(1), 2002, pp.67-90.

LISBOA FILHO, J., RODRIGUES JÚNIOR, M.F.; DALCIO, J. ArgoCASEGEO - Uma Ferramenta CASE de Código-Aberto. In *VII workshop iberoamericano de ingeniería de requisitos y desarrollo de ambientes de software*. Arequipa-Perú, 2004, pp. 1-11.

LOCH, C. Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial. In *Cobenge - XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2001, pp. 63-70.

LOCH, C. A Realidade do Cadastro Técnico Multifinalitário no Brasil. In *XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis, Santa Catarina, BR, 2007, pp. 1281-1288.

MACHADO, F.N.R. *Banco de dados: projeto e implementação*. São Paulo: Érica, 2004.

MING, W. A 3D Web GIS System Based on VRML and X3D. In Proceedings of the 2008 Second International Conference on Genetic and Evolutionary Computing. Washington, DC, USA: *IEEE Computer Society*, 2008, pp. 197-200. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4637426> [Accessed August 6, 2010].

OGC, *Open Geospatial Consortium*. Disponível em: <<http://www.opengeospatial.org/>>. Acessado em: 15/01/2011.

OOSTEROM, P.V. et al. The Balance Between Geometry and Topology. In *International Symposium on Spatial Data Handling*. Ottawa: Springer, 2002.

OOSTEROM, P.V.A.N.; PLOEGER, Hendrik; STOTER, Jantien. *Aspects of a 4D Cadastre : A First Exploration*. October, 2006, pp.1-23.

ÖZSU, M.T. & VALDURIEZ, P. Princípios de Sistemas de Bancos de Dados Distribuídos. Campus, 2001.

PARENT, C. et al. Spatio-temporal conceptual models: data structures + space + time. In 7th ACM Symposium GIS, Kansas City, 1999.

PENNINGA, F.; OOSTEROM, P.V. A Compact Topological DBMS Data Structure For 3D Topography. In S. I. Fabrikant e M. Wachowicz. The European Information Society. Berlin, Germany: Springer, 2007, pp. 455-471.

PILOUK, M. Integrated modelling for 3D GIS. Ph.D. Dissertation, ITC, The Netherlands, 1996.

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.

REDDY, M. GeoVRML : Open Web-based 3D Cartography. In Fifth Web3D/VRML Symposium. Monterey, California, 2000, pp. 1-8.

RUMBAUGH, J. et al. **Object-Oriented Modeling and Design**. New Jersey, Prentice-Hall, 1991.

RUSCHEL, C.; IOCHPE, C.; LISBOA FILHO, J. Modelagem de Processos de Análise Geográfica utilizando o Framework GeoFrame. In: GEOINFO 2003: V Simpósio Brasileiro de Geoinformação. 2003. Disponível em: <<http://www.geoinfo.info/geoinfo2003/>>. Acessado em: 07/04/2010.

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.

SISCOUTO, R.; COSTA, R. Realidade Virtual e Aumentada – uma abordagem tecnológica. Edição Sociedade Brasileira de Computação, Livro do Pré-Simpósio X Symposium on Virtual and Augmented Reality, João Pessoa – PB, 13 de maio de 2008, 368 pág.

STEINIGER, S.; BOCHER, E. An overview on current free and open source desktop GIS developments. International Journal of Geographical Information Science, 23(10), 2009, pp.1345-1370. Available at: <http://www.informaworld.com/openurl?genre=article&doi=10.1080/13658810802634956&magic=crossref||D404A21C5BB053405B1A640AFFD44AE3>.

STEUDLER, D.; Kaufmann, J. Benchmarking Cadastral Systems. FIG, Commission 7 – Cadastre and Land Management, 2002.

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. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0198971503000140> [Accessed June 28, 2010].

STOTER, J. E.; OOSTEROM, P. J. M. Van. Technological aspects of a full 3D cadastral registration. International Journal of Geographical Information Science, 19(6), 2005, pp.669-696. Available at: <http://www.informaworld.com/openurl?genre=article&doi=10.1080/13658810500106042&magic=crossref||D404A21C5BB053405B1A640AFFD44AE3> [Accessed August 6, 2010].

STOTER, Jantien; OOSTEROM, P.V. INCORPORATING 3D GEO-OBJECTS INTO A 2D GEO-DBMS. In ACSM-ASPRS Annual Conference Proceedings, 2002. pp. 1-13.

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

STOTER, Jantien; ZLATANOVA, Siyka. Visualisation and editing of 3D objects organised in a DBMS. 2002.

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

STOTER, Jantien E. 3D Cadastre. Thesis. Technische Universiteit Delft, 2004.

WEB3D, Open Standards for Real-Time 3D Communication. Disponível em: <<http://www.web3d.org/about/overview>>. Acessado em: 15/01/2011.

WYVILL, B.; OVERVELD, K. van. Polygonization of Implicit Surfaces with Constructive Solid Geometry. International Journal of Shape Modeling, 2(4), 1996, pp.257-274.

YOO, B.; BRUTZMAN, D. X3D Earth Terrain-Tile Production Chain for Georeferenced Simulation. In The 14th International Conference on 3D Web Technology. Darmstadt, Germany, 2009, pp. 159-166.

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

ZLATANOVA, Siyka et al. TOPOLOGY FOR 3D SPATIAL OBJECTS. In International Symposium and Exhibition on Geoinformation 2002. Kuala Lumpur, Malaysia, 2002.

ZLATANOVA, Siyka. On 3D Topological Relationships. 2000.

ZLATANOVA, Siyka. Advances in 3D GIS. DDD - Revista trimestrale di Disegno Digitale e Design edita da Poli. Design, 1(4), 2002, pp.24-29.

ZLATANOVA, Siyka; RAHMAN, A. A.; SHI, W. Topological models and frameworks for 3D spatial objects. Computers and Geosciences, 30(4), 2004, pp.419-428. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098300404000202>.