



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas

GUILHERME HENRIQUE BARROS DE SOUZA

**MÉTODO DE MODELAGEM DA PARCELA ESPACIAL
PARA O CADASTRO TRIDIMENSIONAL**



**Presidente Prudente
2011**

GUILHERME HENRIQUE BARROS DE SOUZA

MÉTODO DE MODELAGEM DA PARCELA ESPACIAL PARA O CADASTRO TRIDIMENSIONAL



Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Universidade Estadual Paulista – Campus de Presidente Prudente, como parte dos requisitos para obtenção do título de doutor em Ciências Cartográficas.

Orientador: Prof. Dr. Amilton Amorim

**Presidente Prudente
2011**

RESUMO

Os processos de aquisição, armazenamento, processamento e representação dos dados espaciais passaram por grandes mudanças nas últimas décadas, o que ocasionou novas possibilidades no uso da informação espacial, principalmente com a geração de modelos de objetos tridimensionais. A partir desses modelos é possível entender a dinâmica de alguns fenômenos, possibilitando a definição de estratégias de ação para possíveis intervenções. Nesse sentido, as informações do Cadastro também foram influenciadas por esse processo, o que tem motivado vários pesquisadores verificarem as demandas e impactos sobre o sistema cadastral do chamado Cadastro 3D. Há projetos iniciados na Holanda, Suécia, Noruega, Israel, China e Grécia, cada qual estudando propostas e modelos para adequar as estruturas dos seus sistemas cadastrais para incorporação do dado tridimensional. O objetivo deste trabalho é contribuir com procedimentos adequados para a incorporação da informação 3D ao Cadastro urbano, verificando a estrutura cadastral existente, sobretudo em locais onde não existe um modelo cadastral definido. É proposto um modelo de uso para a parcela espacial utilizando um cilindro e uma nuvem de pontos com atributos. Os experimentos realizados com o uso de dados obtidos a partir de sensores de varredura à LASER em plataforma aérea e terrestre para auxiliar na incorporação da informação tridimensional ao Cadastro mostraram-se satisfatórios, não apenas para uso da nuvem de pontos de atributos para o Cadastro, como da integração das nuvens de pontos de LASER aéreo e terrestre. Para viabilizar os estudos, foram escolhidas áreas teste em São Paulo e Curitiba. No desenvolvimento da tese, foram utilizadas bibliotecas de C++, implementadas por grupos de pesquisa na área de Fotogrametria e manipulação de dados LASER. Os resultados para a rotulação dos pontos com atributos usando modelos matemáticos do cilindro se mostram promissores para a discussão de modelo de parcela espacial para o Cadastro, sendo possível incorporar o dado tridimensional ao Cadastro mesmo que não exista um modelo de Cadastro definido.

Palavras-Chave: Cadastro; Modelo Cadastral, Cadastro 3D; LIDAR, Rich point cloud.

ABSTRACT

The processes of acquisition, storage, processing and representation of spatial data had a lot of changes in recent decades, which led to new possibilities in the use of spatial information, especially with 3D models generation of objects. From these models is possible to understand the dynamics of some phenomena and to define action strategies for interventions. In this way, the cadastral information also was influenced by this process, which has led many researchers to verify the demands and impacts on the cadastral system of so-called 3D Cadastre. There are projects started in Netherlands, Sweden, Norway, Israel, China and Greece, each studying proposals and models for match the structures of their cadastral systems to incorporating the 3D data. This work aims to contribute to proper procedures for the incorporation of 3D information to the Urban Cadastre from the existing structure, especially in where there isn't a cadastral model. It is proposed to use a model for the spatial parcel using a square cylinder of revolution and a cloud points with attributes. The experiments with data obtained from LASER scanning sensors (aerial and ground platforms) to assist in the incorporation of 3D information to Cadastre were satisfactory, not only for the use of cloud points attributes for Cadastre, but by the integration of the LASER point cloud air and ground. To make the studies, test areas were selected in São Paulo and Curitiba. In developing the thesis, C++ libraries were used, implemented by research groups in the area of Photogrammetry and lidar data manipulation. The results for the labeling of points with attributes using mathematical models of the cylinder show promise for the discussion of spatial Parcel model for Cadastre, and allow incorporate 3D data to Cadastre even without Cadastral Model.

Keywords: Registration, Cadastral Model, 3D Cadastre, Lidar data, Rich point cloud.

DEDICATÓRIA

*À Roberta,
esposa e melhor amiga*

*À minha família, meu
alicerce de ontem e
de sempre...*

AGRADECIMENTOS

A todos que fazem parte da minha história e da história deste trabalho, quero estender meus mais sinceros agradecimentos por tudo que fizeram. Especialmente:

Em primeiro lugar a Deus, que como Grande Engenheiro guia-me com Seus mapas em caminhos silenciosos onde palavras não são necessárias.

À Roberta, esposa, amiga e confidente, pelo valor inestimável de sua presença ao meu lado. Obrigado pela paciência, conforto e incentivo. Amo-te.

À minha família pelo amor, paciência, carinho e dedicação durante tantos anos, que de forma muito especial contribuíram para que eu seja hoje quem eu sou e onde estou, dando-me alicerces para ser melhor e chegar ainda mais longe. Elias, Ivanete, Gabriel e Daniela, eu os amo muito. Muito obrigado.

Aos membros do acampamento juvenil de minha paróquia, por sempre me lembrarem que a fé e a razão são as asas que permitem alcançar o céu, e sem elas outro caminho não há, pois se corre o risco de cair no caminho.

Ao meu orientador Amilton Amorim, pela atenção, dedicação e parceria durante este trajeto de 11 anos de amizade e muito trabalho

Aos amigos da Pós-Graduação, pelos excelentes momentos na partilha de sonhos, dificuldades, operações táticas, sistemas inerciais, risos e tantas coisas mais. Citar nomes me faria esquecer pessoas importantes e não quero ser injusto. Meu muito obrigado a todos.

Ao amigo Fazan pelo socorro nas inúmeras dificuldades na programação orientada a objetos e também ao amigo Fábio pela ajuda com a CGAL.

Ao Professor Antonio Maria Garcia Tommaselli pelo apoio e conselho perante a as dificuldades na entrada do doutorado

A todos os professores do programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas, pelo ensino, visão e dúvidas sanadas durante esses anos, contribuindo na minha formação como pesquisador.

Ao programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas, pela estrutura e apoio fornecidos.

Às empresas ESTEIO, Leica Geosystems, CPE, EGS e ao Professor Daniel Rodrigues dos Santos pela contribuição na obtenção dos dados para a pesquisa.

À professora Vanessa Avansini Botta Pirani pelas contribuições nas discussões do modelo matemático do projeto.

À FAPESP, pela bolsa concedida durante o doutorado.

EPÍGRAFE

O espaço é o objeto que o geômetra deve estudar
Poincaré

As fórmulas não explodem
Bertrand Russell

LISTA DE SIGLAS

ALS	<i>Airborne Laser Scanning</i>
B-rep	<i>Boundary Representation</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CGAL	<i>Computational Geometry Algorithms Library</i>
CSG	<i>Constructive Solid Geometry</i>
CTM	Cadastro Técnico Multifinalitário
FCT	Faculdade de Ciências e Tecnologia
FIG	Federação Internacional de Geômetras
GARDE	Grupo de Pesquisa em Aquisição e Representação de dados espaciais
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
ICP	<i>Iterative Closest Point</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
INS	<i>Inertial Navegation System</i>
INSPIRE	<i>Infrastructure for Spatial Information in Europe</i>
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
ISPRS	<i>International Society for Photogrammetry and Remote Sensing</i>
LADM	<i>Land Administration Domain Model</i>
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
RPC	<i>Rich point clouds</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD)
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SQL	<i>Structured Query Language</i>
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UNESP	Universidade Estadual Paulista
WGS	<i>World Geodetic System</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Kudurru mesopotâmico.....	15
Figura 2 - Evolução do Conceito de propriedade	17
Figura 3 - Pilares do Cadastro	20
Figura 4 - Pilares do Cadastro sob influência não servindo mais como base de apoio	20
Figura 5 - Possibilidades de abrangência de um CTM.....	21
Figura 6 - Exemplo de diagrama de banco de dados para um CTM.....	24
Figura 7 - Exemplo de multiuso do espaço.....	29
Figura 8 - Esboço da visão cadastral 2D para 3D.....	32
Figura 9– Mudança da representação espacial de dados cadastrais.....	36
Figura 10 – Representação esquemática da varredura a LASER.....	38
Figura 11 - – Geometrias de aquisição de dados LASER: a) Espelho oscilante (zig-zag), b) Polígono de rotação (linhas paralelas), c) <i>Palmer Scan</i> (Elíptica)	39
Figura 12 - Exemplo de nuvem de pontos LASER.....	40
Figura 13 - Exemplo de imagem de intensidade obtida de um sensor LASER	40
Figura 14 - Exemplo de nuvem de pontos terrestre	41
Figura 15 - Equipamento de LASER terrestre utilizado em veículo de mapeamento móvel FONTE: http://rieglusa.wordpress.com/category/uncategorized/	42
Figura 16 - Princípio de Funcionamento do LASER terrestre	42
Figura 17 - Alinhamento de Curvas via ICP.....	44
Figura 18 - Algoritmo ICP ajustando superfícies	44
Figura 19 - Ginásio da FCT – UNESP em modo <i>wireframe</i>	46
Figura 20 - Ginásio da FCT – UNESP em modo <i>Shaded</i>	47
Figura 21 - Ginásio da FCT - UNESP representado com faces de textura	47
Figura 22 – Aplicativo de visualização de dados 3D	48
Figura 23 - Representação bidimensional de um duto e uma parcela	49
Figura 24 – Representação 3D de uma parcela espacial.....	49
Figura 25 – Representação do conceito de segmentação do espaço	50
Figura 26 – Representação da análise de objetos reais e legais no espaço 3D	50
Figura 27 - Modelo de um tetraedro	51
Figura 28 - Conjunto de poliedros	52
Figura 29 - Poliedro com um cilindro e com esfera.....	52
Figura 30 - Modelo baseado em CSG formado pela subtração de dois poliedros.....	52
Figura 31 - Representação de parcelas espaciais com feições triangulares	52
Figura 32 - Critérios para a formação da parcela espacial	53
Figura 33 - Exemplo do uso do cilindro como parcela espacial.	56
Figura 34 - Posicionamento do sistema de coordenadas local em relação ao sistema original	58
Figura 35- Exemplo do funcionamento do <i>Convex_Hull</i> da CGAL.....	62
Figura 36 - Nuvem de pontos de LASER aéreo com polígono convexo definido pelos pontos.....	62
Figura 37 - Programa <i>LASEdit</i> mostrando um arquivo do tipo LAS.....	64
Figura 38 - Arquivo LAS visualizado com o auxílio da biblioteca <i>LASTools</i> pelo aplicativo <i>LASView</i>	65
Figura 39 - Procedimento metodológico para integração da nuvem de pontos	66
Figura 40 - Procedimento para a geração da nuvem de pontos RPC.....	67
Figura 41 - Imagem da região. FONTE: Google Earth.....	68

Figura 42 - Estação <i>ScanStation 2</i> fornecida pela <i>Leica Geosystems</i>	69
Figura 43 - Fachada do edifício	69
Figura 44 - Distribuição dos pontos de controle pela região do edifício	71
Figura 45 - Pontos de Controle (t01 a t04) sendo mostrados na cena 1 em amarelo.	71
Figura 46 - Ponto de controle escaneado (Leitura inicial e Leitura Fina).....	72
Figura 47 - Modelo do edifício da área teste	72
Figura 48 - Vistas da nuvem de pontos em diferentes planos	73
Figura 49 - Ilustração da estratégia adotada para a verificação da coplanaridade. Os pontos em azul indicam que eles estão dentro do intervalo predefinido e os pontos em vermelho são os que não foram classificados no mesmo plano pela primeira abordagem.....	74
Figura 50 - Seleção de pontos para experimento número 1.....	74
Figura 51 - Seleção de pontos para experimento número 2.....	75
Figura 52 - Resultado do processo para o experimento 2	75
Figura 53 - Esquema de pontos para o teste da função de consulta	76
Figura 54 – Vista frontal e lateral da sacada de onde foram selecionados pontos de interesse para o algoritmo	77
Figura 55 - Nuvem de pontos do experimento 4	77
Figura 56 - Resultados do experimento 4.....	78
Figura 57- Área de estudo — Centro Cultural Banco do Brasil.....	79
Figura 58 - Parte da nuvem de pontos obtida por LASER terrestre da área teste.....	79
Figura 59 - Nuvem de pontos da área teste fornecida pela empresa ESTEIO.....	80
Figura 60 – Visualização em perspectiva e na vertical do resultado da integração da nuvem de pontos do LASER terrestre e aéreo da área teste	81
Figura 61 - Centro Politécnico da UFPR.....	83
Figura 62 - Nuvem de pontos LASER aéreo da área teste	84
Figura 63 - Nuvem de pontos terrestre da área teste.....	84
Figura 64 - Nuvem de pontos com os planos em destaque	85
Figura 65 - Resultado da integração das nuvens de pontos.....	86
Figura 66 - Resultado do processo de rotulação dos pontos	87

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivos.....	14
2	CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO: ASPECTOS FUNDAMENTAIS E INTERFACE TECNOLÓGICA.....	15
2.1	Modelagem de dados cadastrais.....	22
2.2	Sistemas Cadastrais	25
3	O CADASTRO E A INFORMAÇÃO TRIDIMENSIONAL	28
3.1	Os diferentes tipos de uso do espaço	29
3.2	A informação tridimensional no Cadastro	31
3.2.1	Aquisição de dados das parcelas espaciais	34
3.2.2	Visualização de dados 3D	46
3.2.3	Modelo de dados espaciais 3D.....	48
3.3	Parcelas espaciais e nuvem de pontos: viabilidades e possibilidades de integração para o cadastro	51
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	56
5	EXPERIMENTOS, RESULTADOS E ANÁLISES.....	68
5.1	Área teste: Jardim Prudência – São Paulo.....	68
5.1.1	Característica da área de estudo.....	68
5.1.2	Levantamento dos dados	70
5.1.3	Testes metodológicos.....	73
5.2	Área teste: Centro Cultural Banco do Brasil, São Paulo	78
5.2.1	Característica da área de estudo.....	78
5.2.2	Testes metodológicos.....	80
5.3	Área teste 3: Centro Politécnico da UFPR, Curitiba	83
5.3.1	Característica da área de estudo.....	83
5.3.2	Levantamento de dados.....	83
5.3.3	Testes metodológicos.....	84
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
7	REFERENCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica de crescimento urbano tem ocasionado em muitas cidades um uso inadequado do espaço, principalmente no que diz respeito aos limites dos imóveis. O principal problema decorre da ausência de um modelo definido de planejamento e Cadastro urbano. Mesmo em locais onde existem modelos de Cadastro ainda ocorrem vários problemas devido à ausência de diretrizes que definam precisamente quais os direitos e restrições de uso do espaço urbano, bem como as implicações que decorrem disso.

Quando se fala de espaço urbano nos dias atuais, não se restringe apenas àquilo que está visível na superfície, mas também ao que se encontra a abaixo e acima da mesma.

As redes de dutos e tubulações estão presentes na maioria das cidades para garantir fornecimento de água, energia, telefonia, gás, e em alguns casos transporte de mercadorias nas chamadas “dutovias”. Da mesma forma, o crescimento vertical pode ser constatado, principalmente em cidades que apresentam grande densidade demográfica.

Os motivos para o crescimento vertical são vários, desde a busca por imóveis mais seguros, melhor uso do solo urbano ou projetos para desocupação de áreas de risco e favelas. Representar o espaço urbano diante desse cenário complexo é um desafio importante a ser superado, sobretudo para definir e garantir os direitos de propriedade e uso dos imóveis para a população.

A contribuição da inovação tecnológica para a representação do espaço foi e está sendo significativa nos últimos anos, principalmente na aquisição, armazenamento e visualização do espaço urbano. Novos dispositivos sensores, expansão na capacidade de armazenagem de dados, rapidez na execução de processos de computação gráfica são algumas das melhorias que podem ser citadas. Não há dúvidas de que o cenário tecnológico contribui para que se façam políticas de planejamento urbano coerentes com a realidade a partir dos modelos obtidos.

Um dos problemas do planejamento urbano, e em particular do Cadastro urbano, é a falta de um modelo básico que responda as perguntas básicas para o gestor e possibilite adequações para as necessidades futuras sem, no entanto, alterar o modelo

prévio estabelecido. É possível encontrar na literatura diversos modelos propostos de Cadastro urbano, que, ou funcionaram em muitos casos de maneira particular, ou nem mesmo chegaram a ser concretizados (LEMMEN et al (2010), FILLIN et al (2008)).

O modelo de Cadastro deve contemplar não apenas as informações sobre os imóveis no banco de dados, por exemplo, mas também como será o processo de aquisição, armazenamento, disponibilidade de acesso e representação dessas informações. Considerando que muitos modelos de Cadastro ainda não contemplam a informação tridimensional (3D), fica a pergunta: quais estratégias a serem adotadas para o gerenciamento do espaço urbano, contemplando a tridimensionalidade dos objetos?

Mesmos os mais atuais modelos de dados espaciais, como o INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in Europe*) e o LADM (*Land Administration Domain Model*) não tratam por completo essas questões, tendo em vista que a maneira como as parcelas espaciais podem ser representadas não é única. Desse modo, embora enfatizem a importância das parcelas espaciais, não são tratadas as diretrizes para aquisição dos dados nem questões relativas à precisão (LEMMEN et al, 2010).

Neste cenário, várias têm sido as pesquisas na área de aquisição, modelagem, representação e disponibilidade de dados espaciais 3D. As finalidades e aplicações encontradas e apresentadas na literatura são diversas, como planejamento urbano, turismo, guias de rotas, *geomarketing* dentre outros (ZIURIENE et al (2006); STOTER OOSTEROM(2006); NEBIKER et al (2010)). Embora a visualização 3D seja um dos principais focos de pesquisa e tópico mais visado pelo mercado de tecnologia, só ela não basta para permitir um bom plano de ação para uma cidade. É necessário um diagnóstico de como está caracterizada a região de interesse, bem como dados das edificações, equipamentos públicos, áreas verdes, mananciais, dentre outros aspectos de interesse e como incorporar tais atributos aos objetos 3D.

O estudo do contexto urbano juntamente com seus atributos tem sido a principal função do Cadastro Técnico Urbano, principalmente em sua característica multifinalitária. Embora nem todos os problemas de Cadastro tenham sido resolvidos pelas pesquisas desenvolvidas até o momento, a representação tridimensional das parcelas e seus atributos passam a ser considerados, o que leva a repensar o modelo cadastral adotado em muitos países.

Embora na época em que foi lançado, pela Federação Internacional de Geômetras (FIG), o Cadastro 2014 não abordasse a questão da tridimensionalidade, algumas iniciativas nesse aspecto foram explicitadas, principalmente no momento em que se fala da exata definição dos limites da unidade territorial (KAUFMANN; STEUDLER, 1998). Mesmo não citando explicitamente a questão da tridimensionalidade dos limites da parcela, o Cadastro 2014 antevê uma ampla reforma cadastral não apenas no aspecto de aquisição e armazenamento de dados, mas também com uma ampla reforma na legislação vigente sobre o Cadastro e o registro de imóveis, acompanhando a evolução tecnológica.

Na busca para definir uma melhor unidade territorial para o Cadastro e registro de imóveis, alguns países passaram a incorporar a altitude ortométrica como um atributo de parcela, gerando um novo conceito de unidade territorial, a parcela espacial (SHOSHANI, 2005).

Vários grupos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico têm voltado suas atenções para a questão da tridimensionalidade do Cadastro. Há projetos em desenvolvimento em países como Holanda, Suécia, Noruega, Israel, China, Austrália, Grécia entre outros, cada qual estudando propostas e modelos para adequar as estruturas dos seus sistemas cadastrais para incorporação da questão espacial. Oosterom et al (2006) apresenta uma introdução sobre o aspecto temporal no Cadastro, incluindo uma quarta dimensão ao Cadastro.

Com a introdução de novos conceitos ao Cadastro, é necessário reavaliar processos de aquisição, modelagem e representação das parcelas, contemplando os conceitos e as possibilidades e perspectivas tecnológicas. Esse processo deve ser contínuo, pois sempre haverá novas variáveis a serem contempladas pelo Cadastro, sem perder de vista a unidade fundamental que é a parcela.

A partir desse contexto, este trabalho visa contribuir com as discussões acerca da tridimensionalidade da parcela do Cadastro, discutindo meios de aquisição, modelagem e representação da parcela cadastral, exclusivamente no ambiente urbano, considerando paradigmas do Cadastro, principalmente a presença ou não de modelo de Cadastro definido.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho consiste em propor um modelo viável tecnicamente para a utilização da informação tridimensional para as parcelas cadastrais utilizando conceitos de cilindros e nuvens de pontos oriundas de sistemas de varredura a LASER, ressaltando as características dessa estrutura sobre os atuais modelos de representação das parcelas do Cadastro, verificando suas possibilidades e perspectivas principalmente para as regiões sem modelo de Cadastro definido.

Especificamente, busca-se:

- Traçar um panorama geral da estrutura cadastral e suas principais características acerca do uso da informação tridimensional;
- Verificar as potencialidades e as contribuições dos sistemas de perfilamento a LASER aéreo e terrestre para a incorporação da informação tridimensional para o Cadastro;
- Propor um modelo de representação para as parcelas espaciais do Cadastro e objetos urbanos do Cadastro;

2 CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO: ASPECTOS FUNDAMENTAIS E INTERFACE TECNOLÓGICA

Desde os primórdios da civilização, a delimitação de um território é inerente ao pensamento humano, seja por conflitos, acordos mútuos, ocupação ou simplesmente aplicação de leis estabelecidas (LARSSON, 1991). Embora a ocupação de territórios nem sempre seguisse uma lógica, era necessário estabelecer critérios para coletar dados não só da população existente, mas também de como o território estava sendo organizado. É nesse cenário que os primeiros conceitos de Cadastro se estabelecem, tendo os povos mesopotâmicos como protagonistas do uso de Cadastro para planejamento territorial. (PHILIPS, 2004). Os babilônios utilizavam pedras para redigir o direito de propriedade. Nas pedras eram descritos o nome do rei, província, nome do proprietário, medidas e demais informações de interesse. A informação era escrita duas vezes de modo que após o término da escrita, a pedra era quebrada e metade ficava com o rei e metade com o proprietário. Esse procedimento visava identificar o real proprietário da terra, visto que em teoria o encaixe entre as pedras seria único. A Figura 1 mostra um exemplo dessa pedra chamada *kudurru*.



Figura 1 - Kudurru mesopotâmico
FONTE: <http://www.larshammaren.se/bildgal.htm>

Outro marco importante na história do Cadastro, foi o chamado Cadastro do Ducado de Milão, onde utilizaram-se técnicas modernas para o levantamento das informações acerca das propriedades. Além disso, foi um dos inventários públicos mais

detalhados já encontrado na história e um dos mais longos visto que durou 30 anos (PHILIPS, 2004).

Outro período importante para o Cadastro foi na época de Napoleão Bonaparte, com o chamado Cadastro Napoleônico. Considerado como uma das bases do Cadastro Moderno, ele tinha características importantes, tais como:

- Levantamento por medições;
- Conceito de parcela;
- Referenciamento geodésico;
- Documentos necessários;
- Atualização constante.

Philips (2004) afirma que passado 200 anos, a diferença básica para o Cadastro de Napoleão é a cartografia, que hoje basicamente é digital.

Entender o histórico do Cadastro é importante para verificar os conceitos estabelecidos, principalmente a partir do feudalismo em diante. Williamson (2001) mostra que a propriedade assume diferentes significados ao longo do tempo e principalmente do período pós-guerra aos dias atuais. A Figura 2 a seguir mostra a evolução do pensamento ocidental sobre o conceito de propriedade, evidenciando as múltiplas finalidades das informações que se pode obter a partir dos dados de uma propriedade.

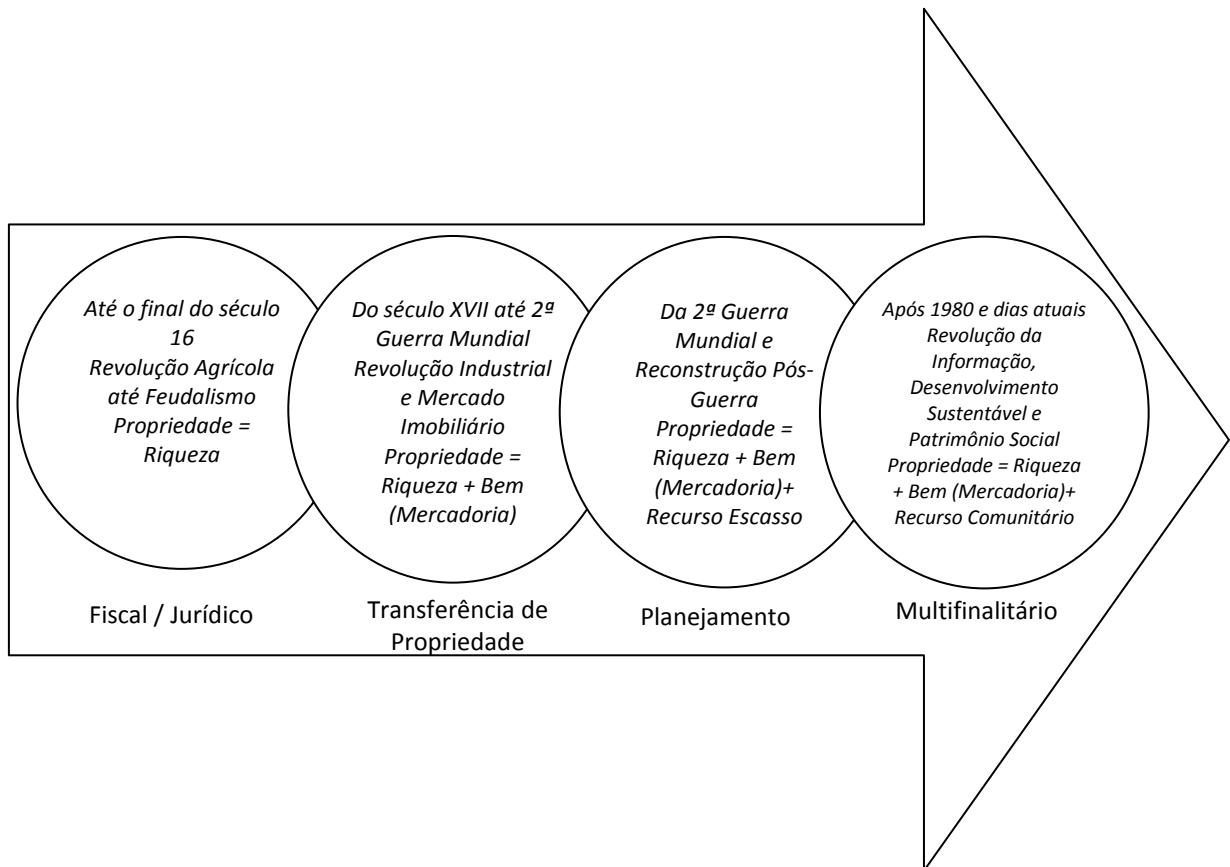


Figura 2 - Evolução do Conceito de propriedade
 FONTE: adaptado de Williamson (2001)

Como evidenciado na Figura 2, ao contrário do que talvez seja senso comum, o conceito de propriedade não está ligado apenas ao aspecto fiscal e é a partir do conceito de propriedade que se pode estabelecer o conceito de Cadastro. A terminologia de Cadastro é um tanto confusa e sua origem é obscura (LARSSON (1991)). Basicamente, o Cadastro é um inventário público metodicamente organizado, baseado nos dados referentes à propriedade imóvel de um município ou distrito, constando dos limites de propriedades e dados do proprietário (UNITED NATIONS, 1985). Com a evolução do conceito de propriedade, passou-se a considerar a terminologia Cadastro Multifinalitário, evidenciando o potencial das informações que se pode obter e utilizar sobre um imóvel. Como nos países de língua lusófona a palavra cadastro tem outros significados, costuma-se utilizar a terminologia Cadastro Técnico Multifinalitário. Para Dale e McLaughlin (1990), o Cadastro Multifinalitário pode ser definido como um sistema de informações territoriais, projetado para servir tanto aos órgãos públicos como privados, além de servir aos cidadãos, diferindo de outros sistemas territoriais por ser baseado em parcelas.

A FIG define Cadastro como um sistema de informação do território baseado em parcela, contendo informações atualizadas sobre direitos, restrições e responsabilidades relativos a esta unidade cadastral. Armazena a descrição geométrica da parcela ligado e outras informações de interesse legal, fiscal, da gestão pública do território, do mercado imobiliário, da proteção ambiental tendo uma caráter de múltiplas finalidades (FIG, 1995). Segundo Lima (1999), o Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) pode ser entendido como um conjunto de informações gráficas e descritivas de uma porção da superfície terrestre, contendo as propriedades imobiliárias corretamente georreferenciadas, possibilitando o conhecimento detalhado sobre todos os aspectos levantados, tendo em vista a Gestão Ambiental de forma racional, legal e econômica. Ainda é definido como um sistema de informações destinado a orientar e sustentar as decisões da administração municipal.

Para Philips (1996), o CTM trata-se de um sistema de banco de dados distribuídos (suplementos multifinalitários ou multifuncionais), com um núcleo que é o Cadastro básico de bens imobiliários ou base cadastral, sendo que esta base se compõe de:

- Carta de Cadastro imobiliário: base gráfica que representa a situação geométrica de uma propriedade em relação a outras propriedades em escala adequada;
- Base métrica: registro do levantamento técnico em forma de medições, cálculos, listas de coordenadas, arquivos de croquis, demarcação parcelar, amarrado à Rede de Referência Cadastral Municipal;
- Registro de parcelas: registro público das parcelas e dos lotes com os atributos mais importantes;
- Proprietários e direitos¹: registro legal de proprietários e obrigações do Registro Geral de Imóveis.

É importante salientar que o conceito de Cadastro está estabelecido sobre alguns pilares, que ajudam a entender a complexidade não apenas do tema Cadastro em si, mas de sua efetiva aplicação, já que por natureza ele é multidisciplinar.

¹ Basicamente o armazenamento de informações acerca do Direito de propriedade e responsabilidades do proprietário

Pode-se dizer que o Cadastro está sobre os seguintes pilares:

- Legal: Envolve todos os aspectos que dão seguridade jurídica ao Cadastro, como leis, decretos e normas que estabelecem o papel do Cadastro e princípios de execução;
- Econômico: Diz respeito aos recursos financeiros propiciados pelo Cadastro bem como aos recursos que financiam o Cadastro (Implantação, Atualização, Disponibilidade etc.);
- Técnico: Engloba os aspectos técnicos do Cadastro como equipamentos de levantamento em campo, computadores, aplicativos, banco de dados, imagens, mapas antigos etc.;
- Político: Neste pilar estão envolvidos os aspectos que devem ser negociados com a administração pública para a viabilidade do Cadastro, como convencimento do Poder Legislativo, trabalho informativo junto à população e outros aspectos.

Embora alguns autores estabeleçam que os recursos humanos seja um pilar do Cadastro, tal afirmação pode ser considerada dúbia. Isto porque todos os pilares são impactados pelos recursos humanos, sejam eles qualificados ou não. Assim, é adequado dizer que cada pilar, em teoria, tem suas próprias características, mas que sua consistência depende dos recursos humanos disponíveis para essa área. A Figura 3 ilustra o Cadastro como sendo um plano que se apóia nos 4 pilares descritos anteriormente. A Figura 4 evidencia os pilares do Cadastro sendo influenciados pelas diversas decisões tomadas pelas pessoas. Importante notar que dependendo da influência, o Cadastro fica sem base de apoio, não cumprindo seu objetivo de forma adequada.

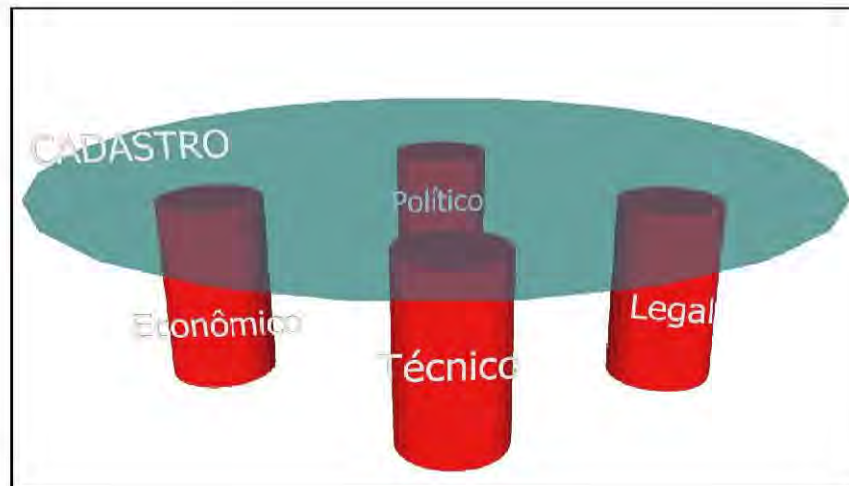


Figura 3 - Pilares do Cadastro

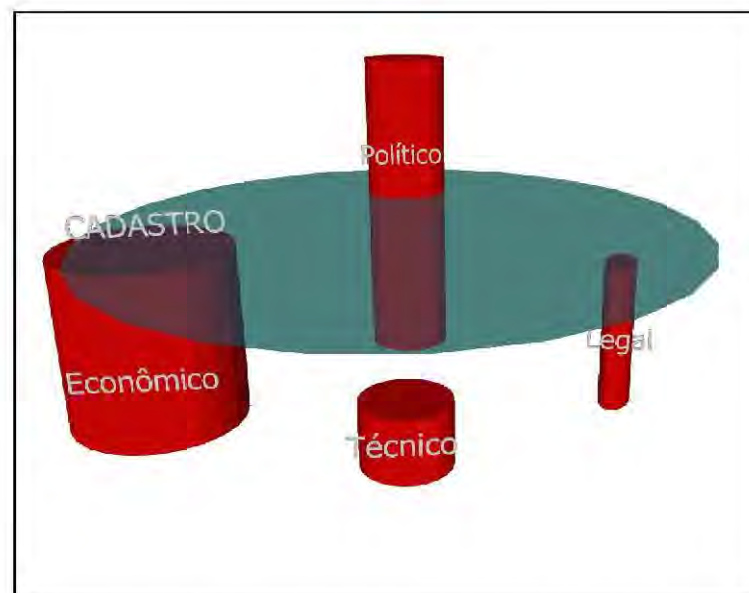


Figura 4 - Pilares do Cadastro sob influência não servindo mais como base de apoio

Segundo Carneiro e Loch (2000) poucas prefeituras possuem o Cadastro para múltiplas finalidades, sendo o principal foco a política fiscal. Também constataram que a parte cartográfica fica a desejar nos municípios estudados, sendo que poucos possuem a Rede Referência Cadastral² para referenciamento dos lotes ou exigem que novos loteamentos sejam referenciados. Mesmo passado alguns anos, essa realidade não difere muito do cenário atual.

² Rede de Referência Cadastral: é a rede de marcos geodésicos de 1ª e 2ª ordem, onde são amarrados todos os levantamentos topográficos e geodésicos de um município. A base cartográfica do município deve estar referenciada a essa rede e os marcos da rede devem estar representados na carta do município. As especificações para implantação da Rede de Referência Cadastral podem ser encontradas na NBR 14166/96.

A importância de se ter um CTM como instrumento de planejamento se dá pelo acervo de dados que é proporcionado, bem como pela potencialidade de ser um elemento fornecedor de recursos para suporte financeiro, como é o caso do IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano), nas opções de planejamento. Isto proporciona elementos para controle de zoneamento que estabelecem uma ocupação racional e desejável dos solos urbanos, desestimulando a especulação imobiliária (LOCH, 1995).

Ressalta-se ainda que o CTM, quando usado adequadamente, atende à quase todas as esferas da administração municipal, atendendo tanto aos interesses públicos quanto aos privados. A Figura 5 mostra algumas possibilidades de abrangência de um CTM.

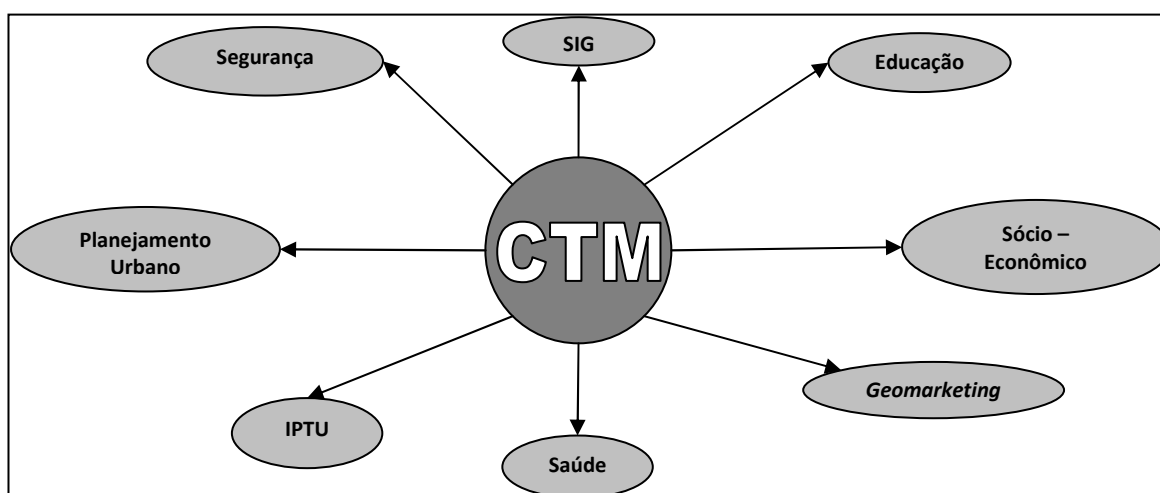


Figura 5 - Possibilidades de abrangência de um CTM

A gestão de um CTM nos dias atuais basicamente é feita através de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD). Isso porque a grande maioria das cidades possui banco de dados dos imóveis, contendo atributos como geometria, descrição física, dados sobre moradores e outras informações de interesse do município.

Independente do SGBD utilizado é necessário definir um modelo de dados para o Cadastro. Nesse modelo devem estar todas as informações necessárias sobre o imóvel, de modo que o acesso seja claro e unívoco. O tópico a seguir discute a modelagem de dados para o Cadastro.

2.1 Modelagem de dados cadastrais

A modelagem de dados é uma tarefa importante no planejamento de um banco de dados, já que ela deve retratar todos os atributos dos objetos, fenômenos e operações de interesse que serão armazenados e as relações entre eles. Uma boa modelagem evita que ocorram redundâncias desnecessárias no banco de dados, otimizando recursos e melhorando a eficácia na consulta de informações.

Uma vez que o Cadastro precisa extrair informações processadas através de diversos dados sobre a propriedade imóvel, entender o modelo de dados utilizado é fundamental para um retrato fiel da realidade urbana.

Um modelo de dados é um conjunto de conceitos que podem ser usados para se ter uma visão unificada de todos os dados da aplicação e definir os procedimentos funcionais para operar com os dados. O modelo procura sistematizar o entendimento que é desenvolvido a respeito dos objetos e fenômenos que serão representados em um sistema informatizado (COUGO, 1997).

A modelagem de dados pode ser auxiliada hoje em dia por diversos aplicativos que auxiliam a definição das tabelas, tipo de variáveis para os atributos e os relacionamentos entre as tabelas. Exemplos destes aplicativos são *ERWIN* e o *DBDesigner*. Ambos fazem uso da linguagem SQL (*Structured Query Language*) para construir as tabelas e os relacionamentos entre os dados. O SQL é uma linguagem de manipulação, de informações provenientes de um banco de dados relacional que segue um padrão mundial, sendo reconhecida pela ANSI (*American National Standards Institute/ Instituto Nacional Americano de Padrões*) e pela ISO (*International Standard Organization/ Organização Internacional de Padrões*) (CASTAGNETTO, 2001).

O modelo relacional, por exemplo, representa a associação entre os elementos do conjunto de uma entidade com outra entidade. Este é o sistema de banco de dados mais utilizado no ambiente comercial. Em bancos de dados relacionais as informações são guardadas em tabelas (que são conjuntos de objetos) que serão relacionadas com outras tabelas (KROENKE, 1999).

Após a etapa de modelagem, pode-se então criar o banco de dados que pode ser entendido como um conjunto de dados organizados de modo que o seu conteúdo

possa ser facilmente acessado e manipulado. Esta é a maneira mais viável de armazenar e manipular grandes quantidades de dados.

Segundo Elmasri (2002), uma definição mais genérica de banco de dados pode ser a de uma coleção de dados relacionados, onde os dados são fatos conhecidos que podem ser registrados e que possuem significado implícito. Silva (2002) define o termo “banco de dados” como sendo um conjunto de dados organizados de modo a atender uma determinada finalidade, ou um conjunto de finalidades integradas.

Todos os dados armazenados em um servidor podem ser disponibilizados remotamente através de rede local ou Internet. Essas bases de dados únicas suportam inclusão, alteração, exclusão e consulta de forma indistinta, tanto localmente (no próprio servidor) como remotamente, em qualquer outro computador conectado através de Internet ou rede local.

O banco de dados cadastrais, na maioria das vezes, é um banco de dados relacional onde são inseridos os dados obtidos através do Levantamento Cadastral. São armazenados os dados alfanuméricos referentes aos imóveis e seus usos (AMORIM et al., 2004).

Segundo Date (2000) um banco de dados relacional tem por características as seguintes vantagens:

- Os dados podem ser compartilhados;
- A redundância pode ser reduzida;
- Inconsistências podem ser evitadas até certo ponto;
- Pode ser oferecido suporte às transações, operações de banco de dados, principalmente para atualização;
- A integridade pode ser mantida;
- A segurança pode ser reforçada;
- Requisitos contraditórios podem ser equilibrados;
- Os padrões podem ser reforçados;
- Os dados podem ser armazenados independentemente física e logicamente.

O banco de dados relacional é formado por tabelas, sendo que as colunas referem-se aos campos ou atributos e as linhas referem-se a cada objeto do banco de dados.

As linhas têm as características de serem não ordenadas, sendo que a recuperação de dados se dá por campos específicos de identificação. Por exemplo, em um banco de dados cadastrais cada linha corresponde a uma única inscrição cadastral, sendo que os atributos da mesma são recuperados pelo seu campo de inscrição e não por ordem numérica.

Os campos específicos de identificação são chamados de chaves. A chave primária é a identificação da linha e por ela as relações com outras tabelas podem ser estabelecidas. A chave estrangeira é aquela que está presente como chave primária em uma tabela e que é usada como campo em outra. Isso permite uma melhor organização dos dados, evitando redundância (HEUSER, 2001).

A Figura 6 mostra um exemplo de diagrama de modelagem simples para um CTM. Nela podemos ver os relacionamentos entre as tabelas e as possibilidades de abrangência a partir de tabelas base, como lote, proprietários e logradouro.

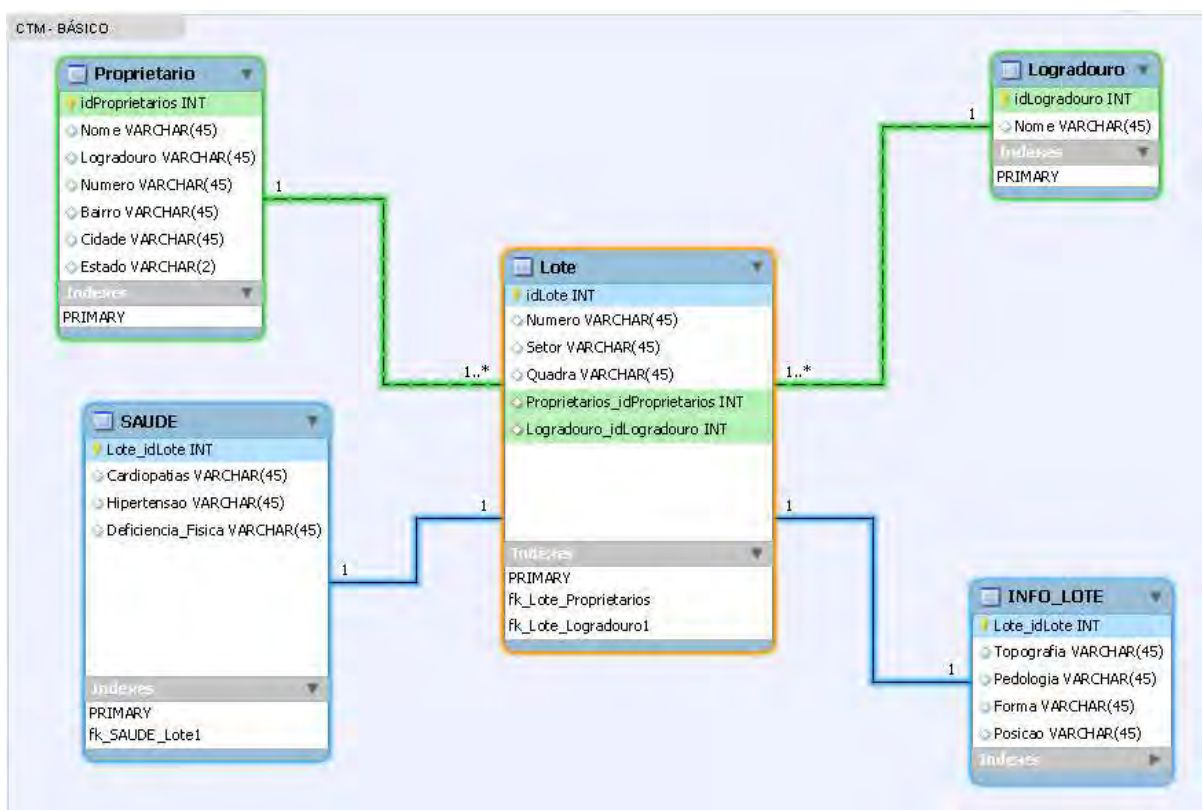


Figura 6 - Exemplo de diagrama de banco de dados para um CTM

Neste aspecto, salienta-se que o banco de dados para o Cadastro seja único, isto é, que todas as informações dos imóveis estejam no mesmo banco de dados e que todas as operações de consulta, inserção, alteração e exclusão de dados referentes aos

imóveis sejam feitas exclusivamente nesse banco de dados. A arquitetura de banco de dados único permite a execução de alterações (atualizações de dados) remotamente, sendo imediatamente alterada no servidor. Dessa forma, se algum usuário local alterar o dado, este será imediatamente disponibilizado pela rede, funcionando de maneira sincronizada e única, garantindo que os mesmos dados estejam sempre disponíveis em quaisquer das formas de acesso.

Com o armazenamento de dados cadastrais bem estabelecido, é necessário um sistema que o gerencie, não apenas nas questões inclusão, exclusão ou atualização que são atribuições do SGBD, mas gerando relatórios, gráficos, consultas e até mesmo mapas que permitam avaliar a situação do Cadastro na cidade. O sistema cadastral não é exclusivamente um software, mas sim um conjunto de procedimentos que permitem extrair dos dados cadastrais as informações de interesse. No tópico a seguir, são explicitadas as principais características dos sistemas cadastrais.

2.2 Sistemas Cadastrais

Os sistemas cadastrais têm por função primária concretizar os conceitos do Cadastro, de modo que possam fornecer os mais diversos tipos de informação de interesse ao poder público ou para a finalidade que essa informação se destina, como política fiscal, saúde, educação, meio ambiente, planejamento, segurança, turismo, entre outros.

Os conceitos de Cadastro e Sistema Cadastral em muitas situações são confundidos entre si, e isso dificulta o verdadeiro entendimento e conhecimento das atuais práticas e até mesmo pesquisas na área de Cadastro. Há diversas frentes de trabalho buscando aperfeiçoar os sistemas cadastrais, mas a falta de um bom entendimento da terminologia utilizada gera pesquisas redundantes, impedindo também o intercâmbio de idéias. Segundo Silva e Stubkjaer (2002) existem muitas definições usadas pela comunidade científica e profissional em diversos países, sendo algumas contraditórias em relação às outras. Além disso, com o desenvolvimento tecnológico são criados diversos neologismos

em áreas correlatas nas Ciências Cartográficas e Ciência da Informação que dificultam ainda mais um padrão de terminologia para o Cadastro.

O Sistema Cadastral pode ser definido então como um sistema de informação do território baseado em dados referentes à unidade fundamental do Cadastro, que é a parcela. Para Laudon e Laudon (1999) um sistema de informações pode ser definido como um conjunto de componentes inter-relacionados que armazena, recupera, processa e apresenta informações com a finalidade de facilitar o planejamento, o controle, a análise e o processo de tomada de decisão de uma empresa. Estendendo tal conceito para o Cadastro, o Sistema Cadastral contribui nos processos de tomada de decisão em relação ao planejamento urbano a partir de dados sobre a parcela.

A modernização tecnológica nos departamentos cadastrais dos municípios é essencial para que os sistemas cadastrais sejam eficientes. Porém, a falta de recursos humanos especializados torna-se um obstáculo, não só no domínio dos aspectos tecnológicos em si, mas para um amplo aproveitamento da estrutura de informações disponíveis em um CTM. Este fato deve-se a dois aspectos bem relevantes: o avanço contínuo da tecnologia e a resistência das pessoas que compõem os setores de Cadastro de se atualizarem.

Embora a inovação tecnológica reduza o tempo gasto para a busca de soluções para atualizar métodos, técnicas e produtos, essa velocidade não é acompanhada pelo processo de capacitação de especialistas para usarem tais tecnologias. Passar do gerenciamento do Cadastro analógico para um gerenciamento através de um sistema de informação para o Cadastro com banco de dados e fundamentos de análise espacial envolve uma série de fatores para a melhor capacitação de funcionários e uso do CTM (KAUFMANN, 2003; WILLIAMSOM, 2002).

Em relação ao aspecto técnico e prático, vale ressaltar ainda que as soluções de inovação tendam a buscar meios cada vez mais rápidos e práticos para a aquisição e disponibilidade de dados ou sobretudo em técnicas de atualização cadastral, de maneira que se minimize cada vez mais os custos para os órgãos públicos e empresas.

Pesquisadores têm apresentado diversas propostas para atualização cadastral, desde o uso de *palmtops*, *notebooks*, *smartphones*, *tablets*, receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System* – Sistema Global de Navegação por Satélites) RTK (*Real*

Time Kinematic – Posicionamento Cinemático em Tempo Real), imagens de alta resolução, nuvens de pontos, dentre outros. As abordagens são as mais diversas possíveis, sendo encontradas soluções práticas e eficazes, e também as que alcançam os resultados esperados, mas que ficam inutilizáveis ou sem uso por um período de tempo, gerando custos desnecessários. Além disso, algumas técnicas ficam inviabilizadas pelo alto custo inicial para uma prefeitura ou para empresa que presta o serviço.

Para aquisição de informações cadastrais e armazenamento em banco de dados, o uso de leitura óptica para a entrada de dados e posterior atualização do banco de dados é um exemplo de inovação tecnológica aplicada ao Cadastro (AMORIM ET AL, 2004). Esse procedimento mostrou-se eficaz na diminuição de tempo gasto para a construção do banco de dados, acelerando o processo de levantamento cadastral. O aproveitamento de soluções de software livre e/ou gratuito é interessante para os municípios, pois minimiza custos na aquisição de licenças de softwares consagrados, podendo o investimento ser feito em treinamento para os funcionários, o que torna o processo como um todo mais eficaz (DALAQUA, 2005; UCHOA, 2005). Ressalta-se, porém, que o desenvolvimento de tais aplicativos demanda muito tempo e em geral são procedimentos onerosos, pois os recursos humanos envolvidos são em sua maioria voluntários de diversas regiões. Além disso, o suporte técnico é escasso e caro, pois poucos profissionais estão familiarizados com tais tecnologias.

3 O CADASTRO E A INFORMAÇÃO TRIDIMENSIONAL

O estágio atual do desenvolvimento urbano tem levado a um aumento da densidade populacional. Nas últimas décadas, houve um aumento no número dos imóveis em que as edificações possuem mais do que um pavimento (STOTER; OOSTEROM, 2005). Principalmente em países que possuem pouca extensão territorial, sejam populosos, ou com grande vocação turística, a construção de edifícios passou a ser quase que um padrão.

Além disso, tem ocorrido o aumento no número de túneis, cabos e dutos para redes de infraestrutura (água, eletricidade, telefonia, gás, cabos de fibra ótica, TV a cabo) das cidades. A presença de das redes de infraestrutura é importante para o planejamento de futuras instalações de equipamentos públicos e novos loteamentos, além de ordenar o uso do subsolo.

O maior problema dos edifícios encontra-se no direito de propriedade e na representação cartográfica do mesmo. Como a parcela é representada bidimensionalmente, não é tão simples representar os diversos serviços que se encontram disponíveis em um prédio comercial, por exemplo. Além disso, o direito de propriedade incide sobre o lote. Existem as leis de condomínio que preservam o uso de todos os proprietários do lote, e direitos de propriedade sobre o apartamento, o que evidencia claramente que o registro de imóveis já tem uma abordagem tridimensional, embora isso não esteja explicitado (STOTER; OOSTEROM, 2005).

Diante desse contexto observa-se que o Cadastro deve utilizar a informação tridimensional em seus objetos de interesse, sobretudo as parcelas, estabelecendo novos paradigmas ao modelo de Cadastro estabelecido. Porém, é necessário entender a dinâmica de uso do espaço para que a informação 3D seja modelada de forma adequada, para ser utilizada de maneira eficaz. O tópico a seguir aborda os diferentes tipos de uso do espaço e suas implicações no contexto urbano.

3.1 Os diferentes tipos de uso do espaço

Em vários lugares do mundo, há o incentivo do chamado multiuso do solo urbano. Esse conceito engloba diferentes usos para o espaço físico, tanto na superfície como acima e abaixo dela (MOLEN, 2003; STOTER, OOSTEROM, 2006). Muito comum nos países europeus, essa é uma tendência que aos poucos começa a chegar às cidades brasileiras, graças ao avanço tecnológico que demanda novas estruturas, bem como um novo arranjo espacial de alguns equipamentos públicos e estabelecimento de serviços. A Figura 7 mostra essa situação no centro de Estocolmo, Suécia. Pode-se perceber uma via sobre a outra e estabelecimentos comerciais abaixo dela.



Figura 7 - Exemplo de multiuso do espaço
FONTE: Guilherme Henrique Barros de Souza (2008)

Em São Paulo e outras capitais que possuem sistema metroviário, há também situações de multiuso do espaço como lojas, terminais de táxi dentre outros, que precisam ser representados nos sistemas cadastrais, porém isso ainda não acontece. A alternativa de representação 3D do espaço permite que essas estruturas possam ser cadastradas e assim devidamente registradas no futuro.

O multiuso do solo urbano como estimulado, por exemplo, pelo governo da Holanda dificilmente tem algum impacto no Cadastro, no sentido do direito de propriedade propriamente dito. Somente o uso do solo urbano é intensificado: um estacionamento de escritório é usado como estacionamento de um estádio em um fim de semana, as casas residenciais poderiam ser usadas para pequenas atividades de negócios,

um parque municipal é usado como o mercado comercial em parte do dia etc. (MOLEN, 2003).

Estas formas de multiuso do solo urbano estão dentro do domínio de direitos pessoais e não dentro do verdadeiro direito de domínio. Contudo, logo que esses direitos de uso tornem-se direitos reais, por exemplo, um direito de arrendamento que só poderia ser executado em certos momentos do dia, como os exemplos de estacionamento já citados,, são introduzidos os planos de tempo partilhado, que são elegíveis para registro em Cadastro Legal.

O multiuso da superfície acima do nível do solo ocorre, por exemplo, na situação da existência de edifícios e prédios de apartamentos. Se como citado antes, a propriedade do edifício é separada da propriedade do lote (parcela), a representação dos limites da parcela é necessária. A respeito dos prédios de apartamentos, depende do direito de propriedade que é aplicado.

O direito de apartamento como aplicado na Holanda basicamente é uma ação em uma propriedade conjunta, compreendendo o uso exclusivo de certa parte do edifício. Isto é chamado de sistema monístico. Por exemplo, a Bélgica e a Alemanha, contudo, aplicam o assim chamado sistema dual, porque há propriedade legal do apartamento mais propriedade conjunta de espaços comuns. No Reino Unido o nome *commonhold* foi adotado para o conceito de propriedades comuns em prédios de apartamentos, conhecido em outros lugares como condomínio (MOLEN, 2003). O Brasil adota lei de condomínio muito semelhante a Bélgica e Alemanha.

Se a propriedade de construções subsuperficiais (lojas subterrâneas, caminhos, túneis, oleodutos, etc.) é separada da propriedade ao nível do solo, esses objetos devem ser representados no mapa cadastral, possivelmente com um identificador próprio. Se há apenas uma construção subsuperficial, a representação poderia ser 2D como uma projeção na superfície. Contudo, se a construção subsuperficial também pode ser separada em vários objetos legais (centros de compras e armazenamento, dutos em diversos níveis e com diversos produtos, transportes, comunicação, etc.), com todos eles possuindo direitos de propriedade, a representação 3D se faz adequada e necessária (MOLEN, 2003)

Nesse aspecto uma questão relevante é a definição da extensão dos direitos de propriedade no sistema de registro de imóveis, que seja apropriado para as parcelas espaciais. Um fato relevante é que, se o princípio da especialidade não estiver

explícito pela representação em um mapa cadastral, a especificação do direito de propriedade em questão deve seguir da sua descrição da parcela.

Por consequência, a decisão de visualizar a descrição verbal do registro por uma representação geométrica, é muito adequada a objetos 3D. Em outras palavras: devido à corrente capacidade de representar objetos 3D, os sistemas atuais de registro poderiam incorporar objetos legais 3D (MOLEN, 2003).

3.2 A informação tridimensional no Cadastro

Antes de tratar diretamente da informação tridimensional no Cadastro, vale ressaltar um aspecto importante quanto à terminologia usada para o Cadastro na questão tridimensional. Embora a literatura e até mesmo o autor deste trabalho tenha utilizado a expressão Cadastro 3D, algumas vezes ela não é correta. Isso porque o Cadastro é um conceito abstrato, portanto adimensional. É diferente da parcela cadastral, que é um objeto e tem dimensões. Não é o Cadastro que é 3D, mas sim a parcela cadastral, seja ela denominada lote, terreno ou imóvel. É interessante diferenciar isso porque algumas terminologias usadas tornam-se inadequadas, como por exemplo, o chamado Cadastro 4D. Não existe uma quarta dimensão no Cadastro, mas sim uma análise sobre o comportamento da parcela cadastral ao longo do tempo. Além disso, 3D não necessariamente quer dizer que está sendo considerada a coordenada (X, Y, Z) ou (E, N, h), pois cada dimensão pode receber o atributo de interesse. Se a terminologia for adotada como 3D, 4D etc., deve-se considerar o Cadastro nD, pois cada tema que for aplicado ao Cadastro como saúde, educação entre outros, será uma dimensão. Neste trabalho, o objeto de estudo é a parcela cadastral, que ao longo do texto será denominada parcela espacial com três dimensões referentes ao sistema de coordenadas (X, Y, Z).

Diante desse contexto, o grande desafio é incorporar a noção de tridimensionalidade ao Cadastro convencional. Não é simplesmente colocar a coordenada de altura das feições representadas no Cadastro, mas modelar o armazenamento de dados e verificar os métodos de aquisição adequados para este fim (STOTER; OOSTEROM, 2005; FILIN; KULAKOV, DOYTSHER, 2005).

A necessidade da informação tridimensional leva a criação de novos conceitos como, por exemplo, a parcela espacial. Esta pode ser definida como uma unidade volumétrica de registro, com limites bem definidos abaixo e/ou acima da superfície, inserida dentro de um bloco de registro, ou seja, uma área definida com coordenadas que servirá de base para o Cadastro e o registro (SHOSHANI et al, 2005).

É necessária uma nova modelagem de dados para que o Cadastro atenda às demandas das mais diversas áreas sobre a informação tridimensional. Todos os atributos cadastrados devem estar referenciados a uma parcela espacial e essa parcela a um bloco de registro, ou seja, em um lote. Isso permite que os procedimentos de representação dos dados sejam otimizados, e a situação de uma região possa ser entendida de uma maneira mais ampla. A Figura 8 mostra um esboço da nova abordagem para a representação cadastral.

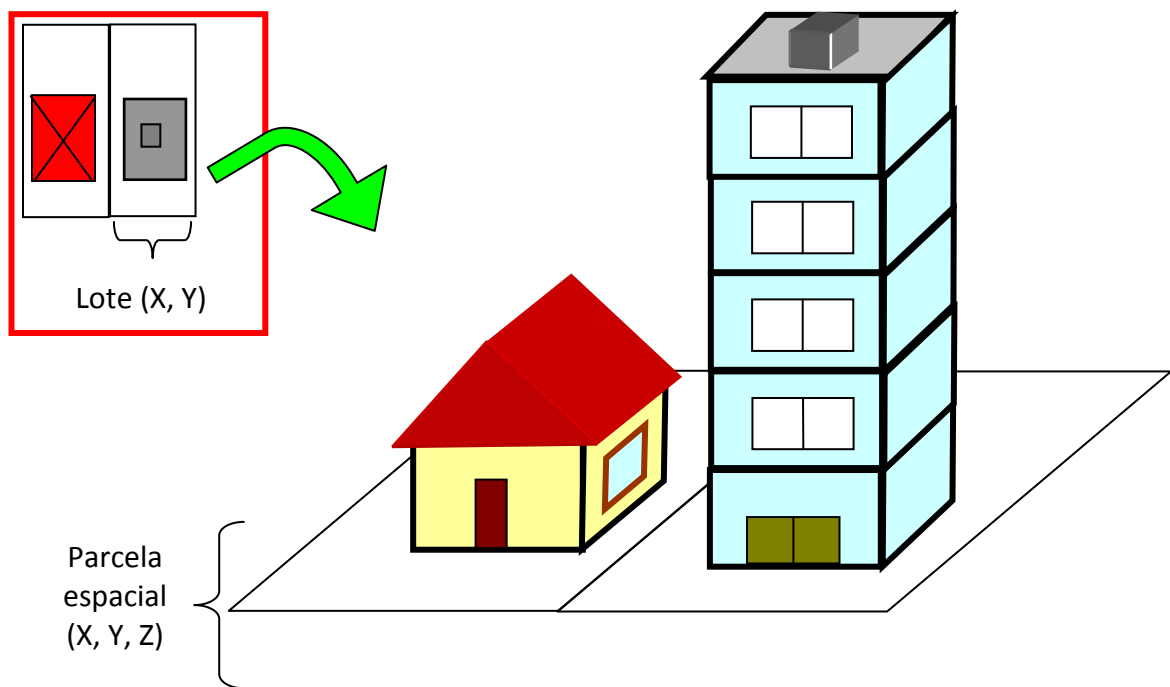


Figura 8 - Esboço da visão cadastral 2D para 3D

As informações obtidas pelo Cadastro são utilizadas para diversos fins, principalmente para auxiliar em modelos tridimensionais de cidades, sejam eles realísticos ou não. Atualmente, os modelos tridimensionais de cidades estão sendo usados para diversas aplicações, tendo em vista a capacidade de representação de informações que esses modelos possuem. Ziuriene et al (2006) destacam as seguintes áreas de aplicações:

- *Planejamento Urbano e Projeto Urbanístico.* O planejamento e o projeto detalhado revêm problemas de locação, planejamento comunitário e participação pública. Todos eles requerem visualização 3D, porque é a melhor maneira de fornecer a informação do objeto analisado de modo mais apropriado. O foco é nas considerações estéticas de paisagens. A representação visual de um impacto ambiental também é auxiliada por modelos tridimensionais. Isto permite a análise de várias espécies de riscos, e os modos de visualizar o impacto de futuros desastres bem como poluentes locais em uma escala perfeita. Também é possível verificar como se dará a circulação do ar nas cidades e aspectos como clima urbano e conforto térmico.
- *Infraestruturas e Equipamentos Públicos.* Infra-estrutura urbana como água, canalização, e eletricidade bem como as redes rodoviária e ferroviária – todos necessitam de dados bi e tridimensionais detalhados para sua melhoria e manutenção. A análise de linhas de visibilidade para telecomunicações móveis e fixas é fundamental em ambientes caracterizados pela presença de altos edifícios, pois assegura uma recepção clara de sinais. Finalmente, a análise e a visualização de rotas de acesso para vários pontos para ações de policiais, bombeiros, ambulâncias e outros serviços de emergência são importantes para manter um ambiente seguro.
- *Setor Comercial e Marketing.* Os modelos de visualização de dados 2D e 3D são eficazes para visualizar os locais de usos cognatos, a distribuição espacial dos clientes, as demandas de mercado para atividades econômicas específicas bem como a disponibilidade de espaço para desenvolvimento. Eles também permitem o cômputo de dados detalhados acerca do espaço e disponibilidade de imóveis bem como estudos de valores dos imóveis e desenvolvimento da região. Finalmente, os modelos de cidade virtuais fornecem subsídios aos

portais de comércio virtual com abordagem semi-realística para comércio eletrônico e outros domínios comerciais.

- *Promoção do Turismo.* A visualização 3D oferece um rol de informações urbanas onde os usuários de níveis diferentes de instrução podem informar-se sobre a cidade. Especialmente, fornece métodos para expor as atrações turísticas das cidades, guias, vídeos e outros meios pelos quais os turistas e outros recém-chegados podem aprender sobre a topografia, história e principais aspectos da cidade.

Vale destacar que os dados cadastrais sempre servem a um público bem amplo, sendo o Cadastro então de interesse público. Isso significa que o financiamento e manutenção do Cadastro não precisam ser de responsabilidade governamental, mas sim sua administração. Esse é um dos aspectos básicos proposto pelo Cadastro 2014, que vem sendo adotado em outros países, principalmente na Europa. No Brasil, o financiamento e administração dos dados do Cadastro são públicos, não aplicando os conceitos propostos pelo Cadastro 2014. Somente os dados referentes aos Registro de Imóveis tem administração privada.

A aquisição de dados é, portanto, responsabilidade do poder público visando atender aos interesses públicos e privados. No que tange ao aspecto da aquisição de dados geométricos das parcelas espaciais, há diversos métodos possíveis, sendo alguns deles explicitados no tópico a seguir.

3.2.1 *Aquisição de dados das parcelas espaciais*

As fontes de dados para o Cadastro podem ser diversas, pois estes possuem diferentes formatos (geométricos, textuais, numéricos etc.). Tunc et al (2004) afirma que para geração de modelos tridimensionais de cidades, pode-se recorrer a dois métodos:

- Método fotogramétrico: esse método é vantajoso sob o aspecto da identificação visual das feições, permitindo uma interpretação visual acurada da superfície.

- Método por sensores de varredura a LASER aerotransportados: a varredura a LASER propicia grande quantidade de elementos pontuais, não permitindo uma interpretação visual imediata da área de interesse, porém após processamento pode-se obter um modelo aproximado dos volumes sobre a superfície.

Neste aspecto, para a aquisição de dados geométricos das parcelas e edificações, podem-se citar mais alguns métodos como o imageamento por sensores orbitais de alta resolução espacial, métodos de fotogrametria terrestre, mapeamento móvel, levantamento topográfico e sensores de varredura a LASER terrestre. Cada método possui suas limitações, características e vantagens, o que evidencia que para aquisição de dados para o Cadastro vários métodos podem ser combinados para que o resultado alcançado retrate com fidelidade a região de interesse a ser representada. Assim, a integração de dados de diferentes fontes é tema importante de pesquisa nas sociedades científicas e seus resultados auxiliam fortemente a implantação, manutenção, atualização e avaliação do sistema cadastral.

Como o Cadastro faz uso intensivo de banco de dados, não basta que se tenham apenas atributos geométricos armazenados, mas sim outras características que são importantes nesse processo. Portanto, a aquisição de dados não-geométricos continua sendo objetivo do Cadastro, sendo que nesse trabalho a metodologia de aquisição considerada é a proposta por Amorim et al (2004) que prevê o uso de formulários de leitura óptica para os dados coletados em campo. Nessa metodologia, o BIC é estruturado de modo que seja preenchido com marcas que sejam processadas por leitura óptica. Após o procedimento de leitura os arquivos gerados são processados de modo a atualizar o banco de dados do sistema cadastral.

Esses dados permitirão que novas formas de representação espacial possam ser utilizadas, permitindo que diversas análises e consultas possam ser feitas. A Figura 9 apresenta a mudança de paradigma da representação da informação espacial dos dados cadastrais.



Figura 9– Mudança da representação espacial de dados cadastrais
FONTE: FILIN, KULAKOV; DOYTSHER (2005)

Nesse trabalho, a principal forma de aquisição de dados para as parcelas espaciais serão os sensores de varredura LASER tanto aéreo quanto o terrestre. Outras formas de aquisição como a imagens de fotogrametria terrestre, mapeamento móvel poderiam ser utilizadas.

3.2.1.1 Sensores de varredura a LASER

Com o avanço tecnológico, novos sensores para a coleta de dados da superfície terrestre têm sido desenvolvidos. Nesse cenário, destacam-se os sistemas sensores de varredura por LASER, que podem ser aéreos ou terrestres. Basicamente, têm-se sistemas que obtém os valores por meio de triangulação e por medidas de distância. Para medidas de curta distância (até 10 m), o de técnicas de luz estruturada é mais adequado, obtendo precisões submilimétricas com baixa coleta de pontos. Os sensores que usam medidas de distância se subdividem em outros dois subgrupos, conhecidos por comparação de fase e tempo de percurso e são intrinsecamente ligados à aplicação desejada.

Os sistemas baseados em tempo de percurso são indicados para distâncias maiores que 50 m, e seus equipamentos têm uma taxa relativamente baixa de coleta de pontos. Já os que usam comparação de fase são indicados para curtas distâncias, de até 30 m aproximadamente, pois a precisão sofre degradação em distâncias maiores. Alguns equipamentos chegam a coletar 700.000 pontos por segundo.

Para aplicações em Fotogrametria Aérea e Sensoriamento Remoto, o sistema sensor utiliza o sistema de medida de tempo de percurso, sendo com o tempo chamada de tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*). A tecnologia LiDAR, graças ao desenvolvimento e aos avanços alcançados por outras áreas da ciência, vem ampliando substancialmente o conjunto de técnicas e sistemas de medição específicos de suas áreas de aplicação (BRANDALIZE; PHILIPS, 2004).

O LIDAR teve seu desenvolvimento iniciado nas décadas de 70 e 80 nos Estados Unidos e Canadá (ACKERMAN, 1999). Tem sido aplicado principalmente na geração de modelos digitais de terreno e de superfície. Ele recebe a denominação ALS (*Airborne LASER Scanning*) quando usado a bordo de aeronaves, helicópteros e satélites para a coleta dos pontos.

O sistema que utiliza LiDAR permite obter coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma dada superfície, em um curto espaço de tempo, calculadas a partir da distância obtida entre o tempo de emissão e retorno de um pulso de LASER (TOMMASELLI, 2004), e normalmente os pulsos são gerados com luz do espectro infravermelho próximo. Essa distância pode ser obtida através da equação 1 seguir:

$$D = \frac{1}{2} c \Delta t \quad (1)$$

Onde

D é a distância entre o sistema sensor e o ponto sobre a superfície

c é a velocidade da luz no vácuo (300.000 km/s)

Δt é o intervalo de tempo de ida e volta do pulso LASER ao sensor.

Para que as coordenadas tridimensionais sejam determinadas, é necessário conhecer a posição e a atitude do sensor com alta precisão. É possível obter essas informações por meio da integração entre os sistemas de posicionamento por satélites (GNSS) e os sistemas de navegação inercial (INS – *Inertial Navigation System*).

Fundamentalmente, o GNSS é usado a bordo da aeronave e em uma estação base no terreno para a determinação das coordenadas da posição dos sensores (câmaras digitais, sensores de varredura ou ambos). No caso dos sistemas inerciais, a Unidade de Medida Inercial (IMU – *Inertial Measurement Unit*), composta por acelerômetros, giroscópios e sensores auxiliares de calibração, é responsável por fornecer continuamente a atitude do sensor ao longo da trajetória de voo. A representação do processo de varredura a LASER pode ser vista na Figura 10.

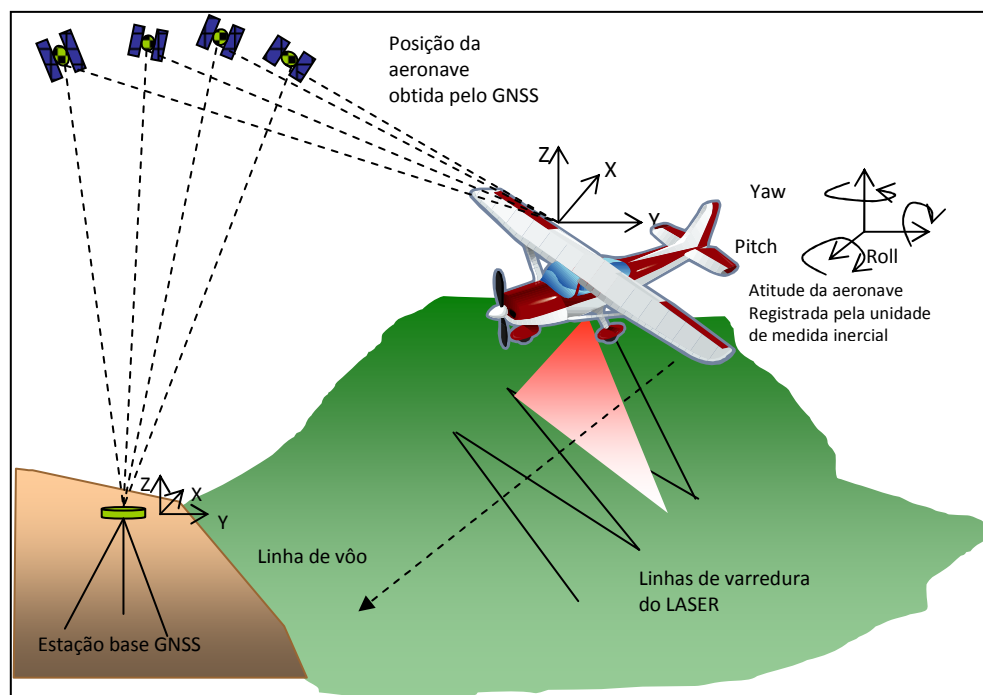


Figura 10 – Representação esquemática da varredura a LASER

Neste contexto, a integração GNSS/INS pode ser uma ferramenta poderosa. O sistema inercial pode complementar o GNSS, fornecendo as informações de posição inicial e de velocidade após a perda de sinal do receptor. Mesmo quando a disponibilidade dos satélites é insuficiente, o INS pode fornecer informações contínuas de trajetória. Por outro lado, o bom desempenho do sistema GNSS pode suplementar o sistema de navegação inercial por meio da estimação acurada do comportamento de seus erros ao longo do tempo.

Estes erros estão relacionados ao problema de deriva das informações de trajetória inerente aos sistemas inerciais usados para mapeamento. Os erros internos do INS são modelados como desvios nos giroscópios e deslocamentos nos acelerômetros, e são

corrigidos pelo método de filtragem Kalman, a partir das informações de posição provenientes do GNSS (CRAMER & STALLMANN, 2002).

Os pontos seguem o padrão de varredura que podem ser em zig-zag, linhas paralelas, ou na forma elíptica como mostrado na Figura 11. Outras formas podem ser alcançadas, porém essas são as mais comuns encontradas nas referências e trabalhos técnicos. Todas elas dependem de como os espelhos estão posicionados no sensor.

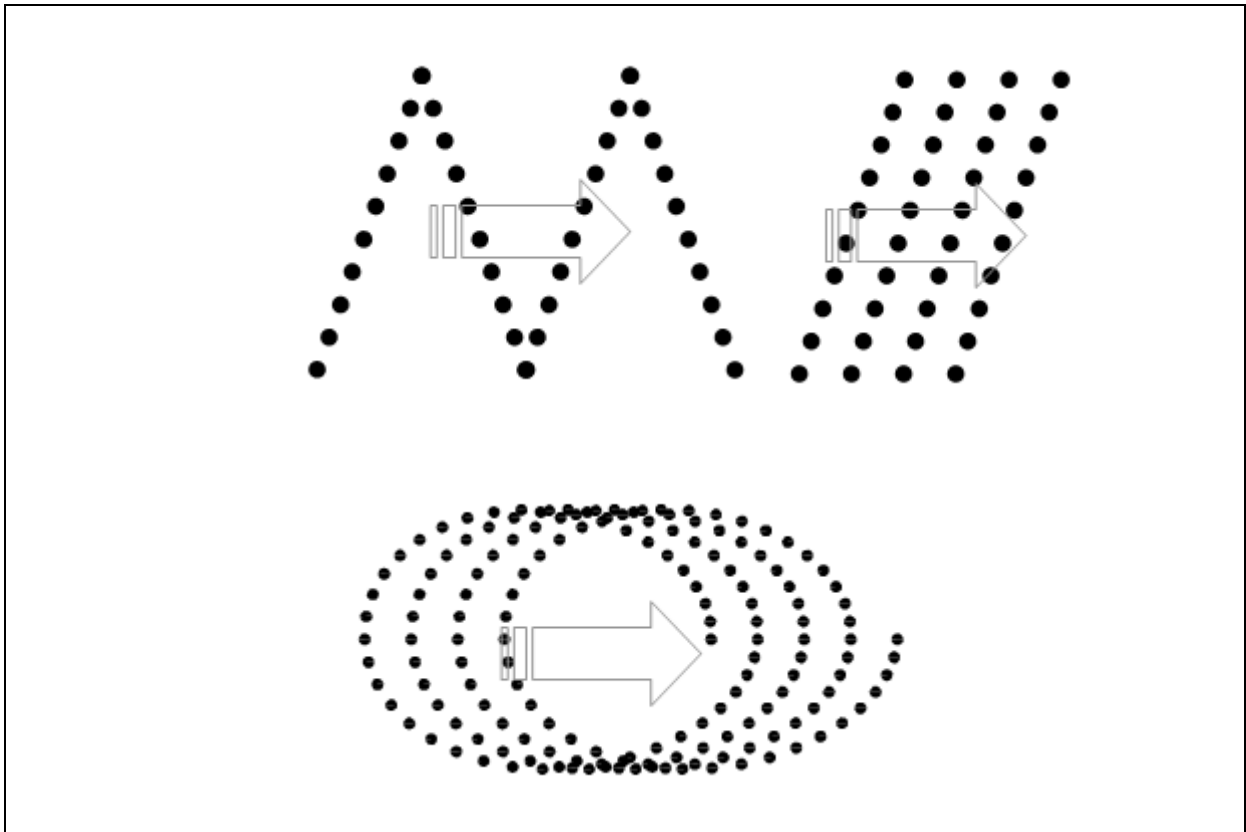


Figura 11 -- Geometrias de aquisição de dados LASER: a) Espelho oscilante (zig-zag), b) Polígono de rotação (linhas paralelas), c) *Palmer Scan* (Elíptica)

FONTE: www.leica-geosystems.com

Os principais produtos dos sensores LASER são a nuvem de pontos e a imagem de intensidade. Essa nuvem é constituída de pontos com dados de latitude, longitude e elevação, no referencial WGS (*World Geodetic System*) 84. Pontos adicionais resultam da reflexão múltipla de um mesmo pulso. A partir desses dados, podem ser gerados os modelos digitais de terreno e superfície. É possível, também, integrar estes dados com produtos fotogramétricos, melhorando o resultado dos processos, sobretudo na geração de ortoimagens. A Figura 12 mostra um exemplo da nuvem de pontos do LASER e a Figura 13 um exemplo da imagem de intensidade. Salienta-se que imagem de intensidade não é muito utilizada devido à sua baixa qualidade em resolução espacial. Além disso, ela

obtida por interpolação, nem sempre um pixel representando realmente o ponto obtido pelo sensor.

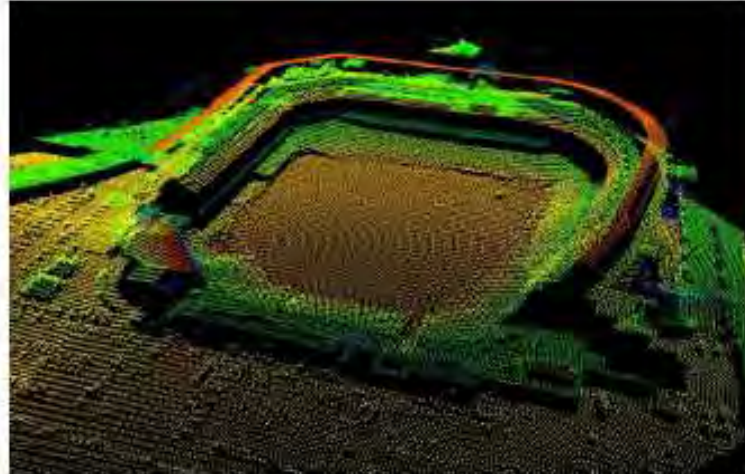


Figura 12 - Exemplo de nuvem de pontos LASER
FONTE: www.leica-geosystems.com



Figura 13 - Exemplo de imagem de intensidade obtida de um sensor LASER
FONTE: www.leica-geosystems.com

Graças aos dados oriundos de novos sensores, cada vez mais é necessária, a interoperabilidade entre os diversos formatos de imagens, de banco de dados, de estruturas vetoriais e outros. Grande parte das estações fotogramétricas, por exemplo, interage com softwares de SIG, como *ArcGIS* e *Geomedia PROFESIONAL* por exemplo, gerando arquivos vetoriais no formato usado pelos softwares de SIG.

Heipke (2004) apresenta um esquema de processo fotogramétrico, focalizando desde o levantamento até a produção do SIG, mostrando a importância e os

meios de integração entre cada etapa. A integração facilitaria na geração de topologias, o que poderia facilitar o processo de extração de feições com estratégias de correlação e topologia.

Como o Cadastro envolve a integração de dados oriundos de diversas fontes, a questão da interoperabilidade é importante, sobretudo na representação geométrica das feições de interesse.

Além da varredura a LASER em sistemas aerotransportados, há também a chamada varredura terrestre. Estes equipamentos são semelhantes a estações totais e usam o princípio semelhante aos sensores aéreos, porém a densidade de pontos da nuvem é maior e é possível utilizar o sensor de modo estático ou em movimento, como é o caso do mapeamento móvel. Outro fato importante a se destacar é que a riqueza de detalhes é maior no LASER terrestre, possibilitando diversas aplicações. A Figura 14 mostra um exemplo da nuvem de pontos do LASER terrestre e a Figura 15 mostra um automóvel com sensor terrestre acoplado. No caso do mapeamento móvel, também é necessário que se utilize a integração GNSS/INS para obter a nuvem de pontos com precisão adequada.

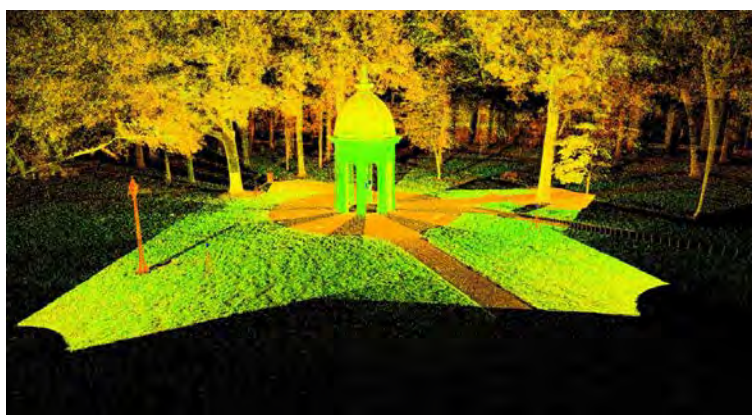


Figura 14 - Exemplo de nuvem de pontos terrestre

FONTE: <http://www.thadwester.com/point-cloud-modeling.html>



Figura 15 - Equipamento de LASER terrestre utilizado em veículo de mapeamento móvel FONTE: <http://rieglusa.wordpress.com/category/uncategorized/>

Embora os princípios de varredura sejam semelhantes, a varredura terrestre apresenta mecanismos diferentes, sobretudo quando o sensor está em modo estático. Kraus (2007) apresenta um esquema sobre o princípio de funcionamento do LASER terrestre, mostrado na Figura 16 a seguir. O pulso do LASER (1) é enviado da unidade eletrônica (1) e encontra um sistema de espelhos (3) com movimento de rotação em alta velocidade. O pulso LASER (2) é refletido de volta pela superfície que é escaneada através do ângulo vertical ζ . Depois do perfil determinado pelo ângulo ζ ser armazenado, a parte superior do instrumento (4) gira através de um ângulo $\Delta\alpha$ para escanear a vizinhança da região determinada por ζ , terminando um ciclo completo na horizontal, caso seja de interesse um perfil horizontal completo.

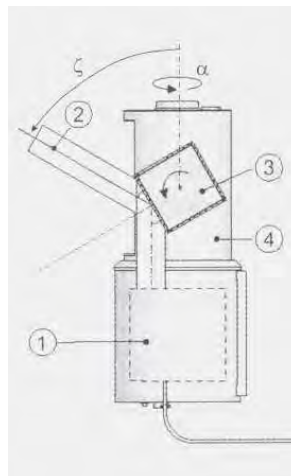


Figura 16 - Princípio de Funcionamento do LASER terrestre
FONTE: KRAUS (2007)

Como já citado, uma das grandes vantagens dos sensores de LASER terrestre é riqueza de detalhes dos objetos escaneados. Também é possível realizar o

levantamento de diversos pontos de vista, tendo que ser realizada a integração das nuvens *a posteriori*. Em geral, os sistemas comerciais e alguns de código aberto trabalham com alguns algoritmos desenvolvidos da área de Visão Computacional para registrar as nuvens de pontos entre si.

Uma das principais contribuições nessa área foi o algoritmo *Iterative Closest Point* (ICP), apresentado por Besl e McKay (1992). Nesse algoritmo, dois conjuntos de dados são estabelecidos como entrada, sendo que um deles é assumido como “modelo” para que outro conjunto possa então ser mapeado. Segundo os autores, os seguintes conjuntos de dados podem ser utilizados por esse algoritmo:

- Conjuntos de pontos;
- Conjuntos de segmentos de linhas (polilinhas);
- Curvas implícitas: $\vec{g}(x, y, z) = 0$;
- Curvas paramétricas: $(x(u), y(u), z(u))$;
- Conjuntos de triângulos (superfícies facetadas);
- Superfícies implícitas: $g(x, y, z) = 0$;
- Superfícies paramétricas: $(x(u, v), y(u, v), z(u, v))$;

Embora a natureza geométrica dos conjuntos de dados seja distinta, o ICP trabalha diretamente com pontos, decompondo os dados que não estejam nessa forma (BESL, MCKAY, 1992).

O princípio básico do algoritmo é que, dado um conjunto de dados P , este é movido para o melhor alinhamento com o outro conjunto de dados X assumido como modelo. Pode-se descrever N_p como número de pontos dos dados P e N_x o número de pontos dos dados X . Com os dados definidos, calcula-se a distância euclidiana entre um ponto do conjunto P para o conjunto X , que pode ser denotado pela equação 2:

$$d(\vec{p}, X) = \min_{\vec{x} \in X} \|\vec{x} - \vec{p}\|. \quad (2)$$

Com a distância obtida entre os dois conjuntos de pontos, é definido por uma translação a partir do valor de distância um novo conjunto de pontos Y mais próximos de X , de modo que cada ponto de Y pertence ao conjunto X . Com os dados de Y , é calculado o registro entre os conjuntos de pontos P e Y por mínimos quadrados, a partir da função da equação 3:

$$f(R, q) = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} \|\vec{y}_i - R\vec{p}_i - q\|^2 \quad (3)$$

onde: R e q são respectivamente a matriz de rotação e o vetor de translação entre os conjuntos de pontos, Y_i ponto do conjunto Y e p_i ponto do conjunto P .

Após esse cálculo, o conjunto de pontos P é atualizado, gerando um conjunto denominado P' . A partir de P' , um novo conjunto Y é calculado, e depois se verificam os valores comparando com o conjunto P e não com P' . Esses passos devem ser seguidos até que o erro médio quadrático seja menor que o limiar desejado. Ao fim do processo, os resultados são os ilustrados pelas Figura 17 e Figura 18, exemplificando como o algoritmo trabalha para pontos e também para superfícies.

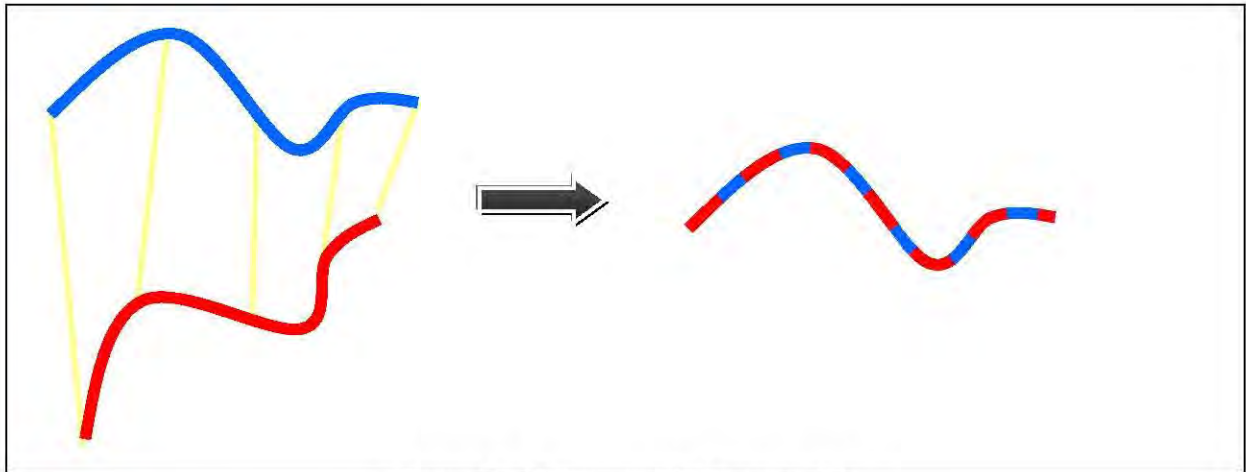


Figura 17 - Alinhamento de Curvas via ICP

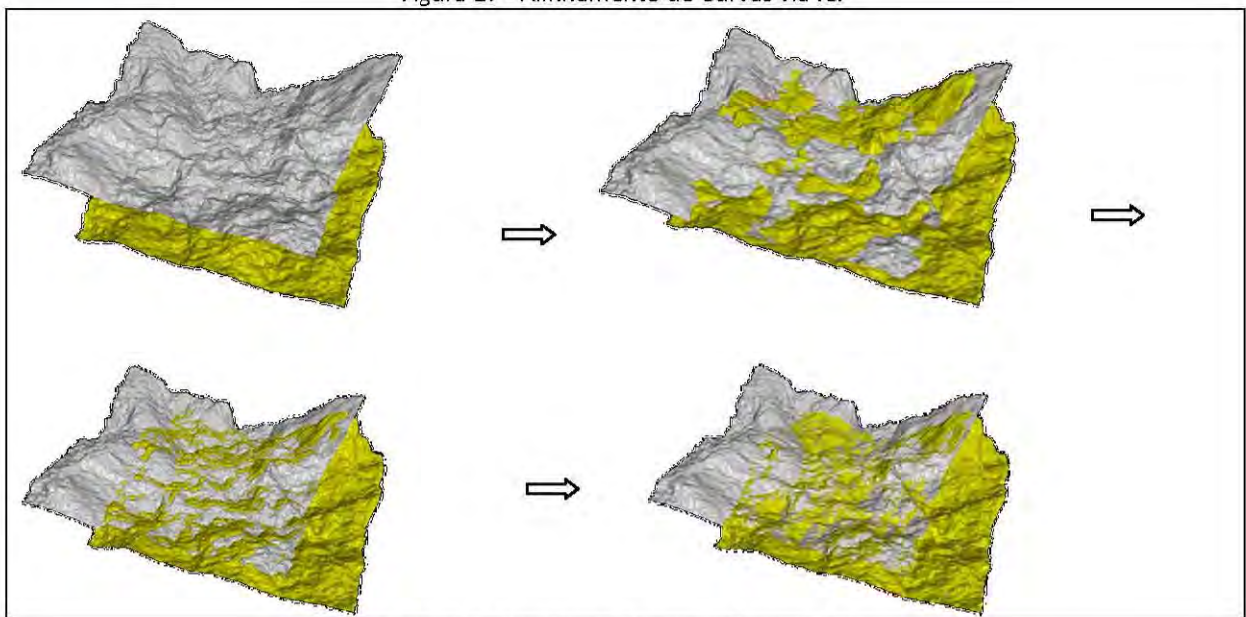


Figura 18 - Algoritmo ICP ajustando superfícies

O algoritmo ICP foi sendo modificado ao longo dos anos para melhor atender aos diversos problemas da integração de estruturas tridimensionais, como por exemplo, a adoção de chamados pontos de controle por Chen e Medoni (1992) para minimizar o problema da presença de *outliers*³ nos dados. Outra limitação do algoritmo ICP é que ele necessita de bons registros iniciais, caso contrário a convergência não pode ser garantida.

Dentre as variações do ICP, Rusinkiewicz e Levoy (2001) classificam as variações de acordo com quais dos seis estágios do algoritmo cada variação contempla, a saber:

- **Seleção:** seleção de alguns pontos em um dos conjuntos de pontos ou em ambos;
- **Correspondência:** análise da correspondência dos pontos de amostras com outros conjuntos de pontos;
- **Ajuste de Pesos:** análise da influência dos pesos em pares de pontos correspondentes;
- **Rejeição:** Análise dos critérios de rejeição de pontos, fortemente relacionados com o ajuste de pesos;
- **Erro métrico:** Análise dos parâmetros de erro adotados para a parada do algoritmo;
- **Ajustamento:** Técnicas de ajustamento a partir dos parâmetros de erro utilizados;

Segundo Rusinkiewicz e Levoy (2001), percebe-se que a busca no caso do ICP é de algoritmos que permitam uma rápida convergência no resultado, olhando para a variação que atende melhor os seis estágios do algoritmo. Vale ressaltar que outras variações de foram propostas depois do trabalho desses autores, porém os critérios de classificação dos algoritmos permanecem válidos.

Dentro do escopo da tese, o trabalho de Bohm e Haala (2005) é o que mais se assemelha, pois eles usam LASER terrestre e aéreo para refinar modelos de elevação e reconstruir realisticamente fachadas. O algoritmo base deles também é o ICP, com

³ Outliers: são dados que estão fora de um limiar padrão que os demais dados seguem

modificações. O intuito do trabalho era melhorar a reconstrução realística do modelo digital de elevação, sem, contudo, promover a integração de fato das nuvens de pontos LASER.

3.2.2 Visualização de dados 3D

Os dados 3D podem ser visualizados por recursos de computação gráfica. Basicamente três tipos de representação são utilizados:

- *Modelagem por arames (Wireframe)*: Representação mais simplista, e conseqüentemente mais fácil de ser implementada. Consiste em representar os objetos com o uso de linhas, pontos e curvas em um desenho transparente. Essa técnica é bastante difundida em sistemas de CAD. A Figura 19 exemplifica esse tipo de representação.

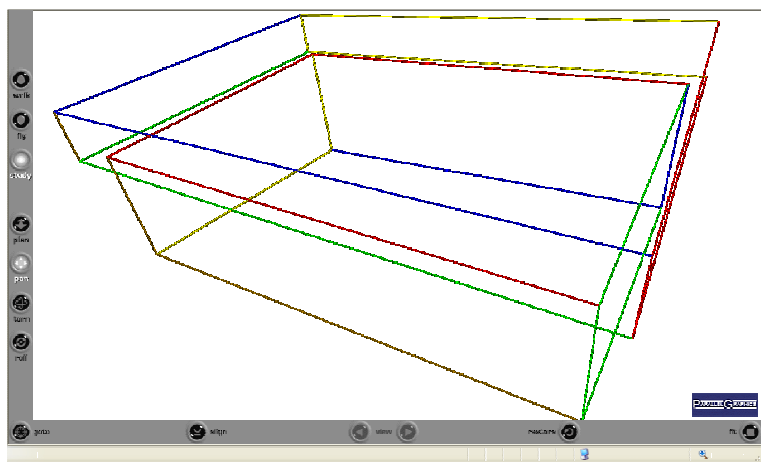


Figura 19 - Ginásio da FCT – UNESP em modo wireframe

- *Modelagem de Sólidos (Shaded mode)*: baseado na teoria óptica de que o estado de brilho de uma pequena área de uma superfície perfeitamente difusa decresce como o cosseno do ângulo da luz incidente. Um exemplo é mostrado na Figura 20.

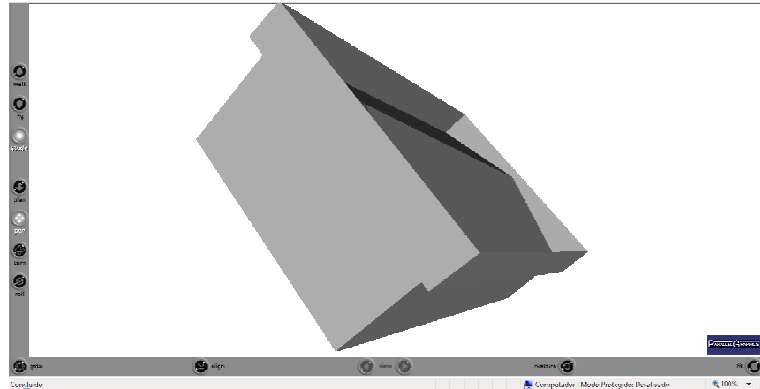


Figura 20 - Ginásio da FCT – UNESP em modo *Shaded*

- **Textura:** é usada para uma visualização realística do modelo 3D. Faz uso de imagens como textura de cada face do objeto a ser representado. Requer o uso de computadores com configurações gráficas avançadas. A Figura 21 mostra uma representação com aplicação de textura.



Figura 21 - Ginásio da FCT - UNESP representado com faces de textura

A representação de dados 3D utiliza as bibliotecas gráficas disponíveis como *DirectX* e *OpenGL*. É possível obter representações aproximadas com uso de ambientes de programação em C++. Na seqüência, a Figura 22 mostra algumas representações de uma área fictícia implementada em *OpenGL* e no *C++ Builder*.

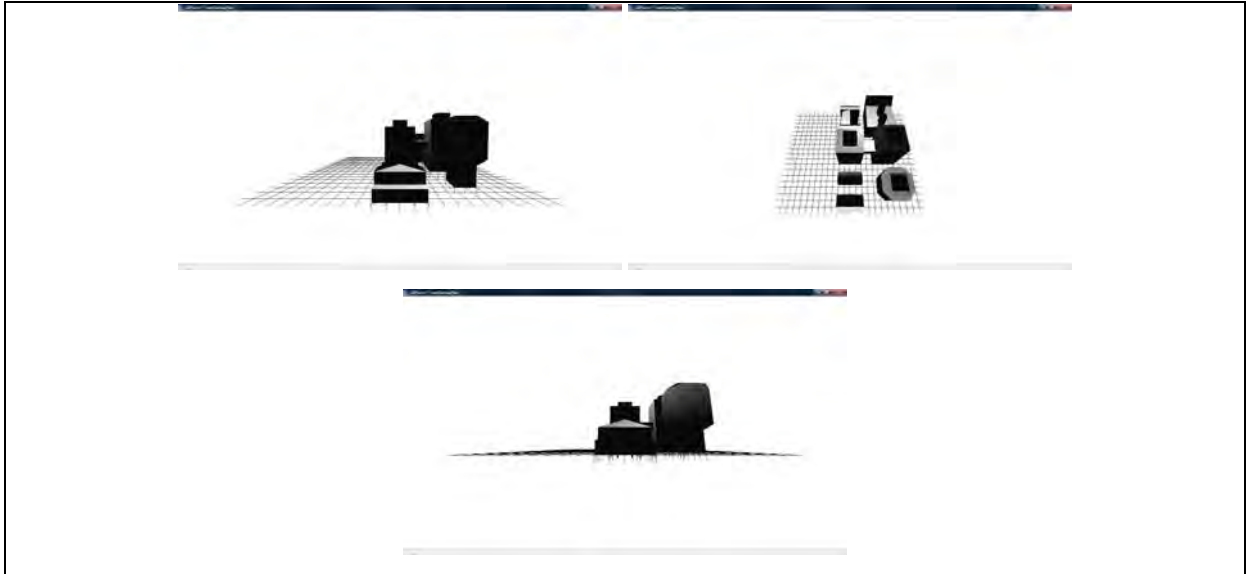


Figura 22 – Aplicativo de visualização de dados 3D
Fonte: George Deroco Martins

3.2.3 Modelo de dados espaciais 3D

Embora o modelo 3D seja na maioria dos casos relacionado apenas com a visualização, as relações espaciais entre os objetos são importantes para aperfeiçoar os processos de consulta espacial utilizados pelos SIG's 3D. Uma consulta comum em planejamento urbano é entender o impacto de um fenômeno sobre uma região, quer esse fenômeno seja de ordem natural, ou produzido pela ação humana. Em uma consulta bidimensional, o mais comum é sobrepor o nível que contém a área geográfica com o fenômeno.

Um exemplo disso é a instalação de um novo duto que tenha que passar embaixo de um lote. Para avaliar o impacto deste, pode-se recorrer ao uso de um SIG com a representação do lote e do duto a ser implantado. No entanto, quando se faz uma consulta espacial, obtemos uma representação como mostrado na Figura 23.

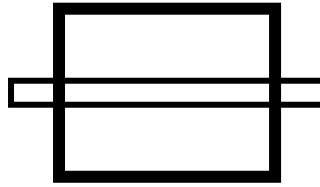


Figura 23 - Representação bidimensional de um duto e uma parcela

Pode se perceber que não há como saber os detalhes e consequências da construção do duto somente por essa visualização. Outras informações são importantes como a profundidade do duto, estratificação do solo, tipo de material do qual o duto será construído, qual a substância que será transportada pelo duto, dentre outros aspectos. Billen e Zlatanova (2003) apresentam alternativas nesse sentido, criando uma parcela 3D e não simplesmente uma parcela bidimensional que não permite visualizar melhor o impacto dessa construção. Isso é importante no contexto urbano atual, no qual se percebe o crescimento no número de dutos e principalmente na construção de sistemas metroviários. A Figura 24 mostra o modelo de representação proposto por Billen e Zlatanova (2003).

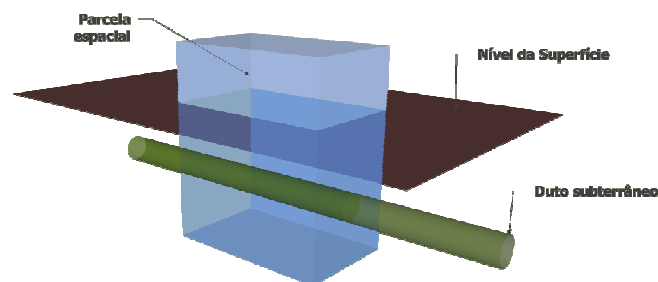


Figura 24 – Representação 3D de uma parcela espacial
 FONTE: adaptado de Billen e Zlatanova (2003)

Outra forma de representação é a segmentação do espaço em unidades dimensionais, como mostra a Figura 25. Em um edifício, por exemplo, temos muitas unidades cadastrais em uma única construção, o que permite diferentes atributos para cada uma delas. Isso impacta os Sistemas de Informações Geográficas que precisam de novas implementações para suportar essa nova realidade topológica.

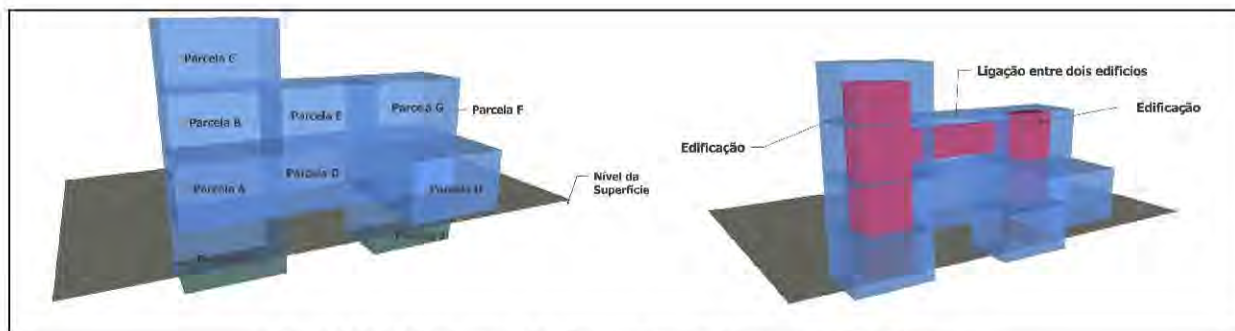


Figura 25 – Representação do conceito de segmentação do espaço
 FONTE: adaptado de Billen e Zlatanova (2003)

A partir da representação tridimensional, também é possível detectar através de análise espacial os limites legais e reais das parcelas espaciais. Com os direitos legais bem definidos é possível, especialmente, atender ao princípio registral da especialidade⁴ e unitariedade⁵ do Cadastro e registro de imóveis. A Figura 26 mostra um exemplo onde a edificação excede seu limite espacial definido. É possível ver também que a parcela definida não se restringe apenas ao nível do solo, mas contempla uma porção do espaço abaixo do solo.

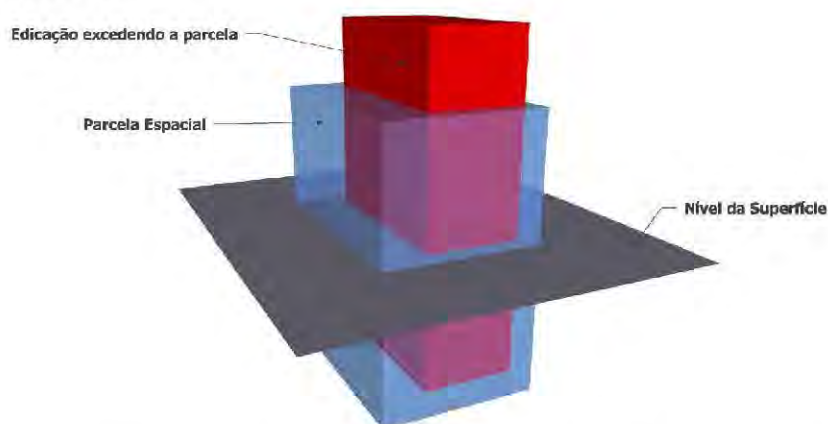


Figura 26 – Representação da análise de objetos reais e legais no espaço 3D
 FONTE: adaptado de Billen e Zlatanova (2003)

Os modelos de dados espaciais 3D ainda estão sendo estudados visto que nem todas as suas particularidades para implementação estão bem resolvidas. As relações topológicas e tipos de variáveis para armazenamento de dados ainda precisam ser bem

⁴ (Princípio da Especialidade: Exige a plena e perfeita identificação do imóvel (urbano ou rural) e do titular do direito real nos documentos, através da indicação precisa das medidas, características e confrontações objetivas), bem como da qualificação completa (subjéctiva).

⁵ Princípio da unitariedade: O princípio da unitariedade da matrícula, consagrado no artigo 176, da Lei de Registros Públicos, consiste resumidamente no seguinte: a todo imóvel deve corresponder uma única matrícula (ou seja, um imóvel não pode ser matriculado mais de uma vez) e a cada matrícula deve corresponder um único imóvel (isto é, não é possível que a matrícula descreva e se refira a mais de um imóvel)

delineadas para que as aplicações possam ter um bom desempenho. Banco de dados comerciais, como o *Oracle Spatial*, começam a ter suporte para dados 3D (RAVADA, KAZAR, KOTHURI, 2009). Algumas pesquisas e trabalhos estão sendo desenvolvidos para que banco de dados *OpenSource*, como o *PostgreSQL* também tenha suporte a dados 3D.

3.3 Parcelas espaciais e nuvem de pontos: viabilidades e possibilidades de integração para o cadastro

Um modelo de parcela espacial que atenda à incorporação da informação tridimensional deve levar em conta alguns aspectos importantes. O principal é que nem todos os países possuem um modelo de Cadastro bem estabelecido. No caso do Brasil, por exemplo, há diversos padrões de parcela, também chamado de lote. A ausência de um padrão para a parcela faz com que o gerenciamento do Cadastro seja problemático em uma cidade, sem possibilitar o uso de soluções para vários lugares.

Trabalhar com uma estratégia de aquisição de dados e parcelas espaciais para locais sem modelo cadastral definido torna-se vantajoso, uma vez que não se prende a um padrão pré-estabelecido e também não será um problema a inclusão desses mesmos dados em um modelo posterior a ser adotado. Grande parte dos países não possuem um modelo de Cadastro estabelecido e portanto, usar uma estratégia que não se prenda a um modelo é interessante para manter os dados atualizados sem que haja prejuízo em relação à observância de modelos.

Os modelos de parcelas espaciais propostos por Stoter e Oosterom (2006) compreendiam 4 estruturas básicas: tetraedro (Figura 27), poliedros (Figura 28), poliedro com partes cilíndricas e esféricas (Figura 29) e modelos oriundos de CAD a partir de CSG (*Constructive Solid Geometry*), decomposição em células e objetos curvos (Figura 30).

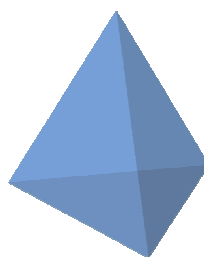


Figura 27 - Modelo de um tetraedro

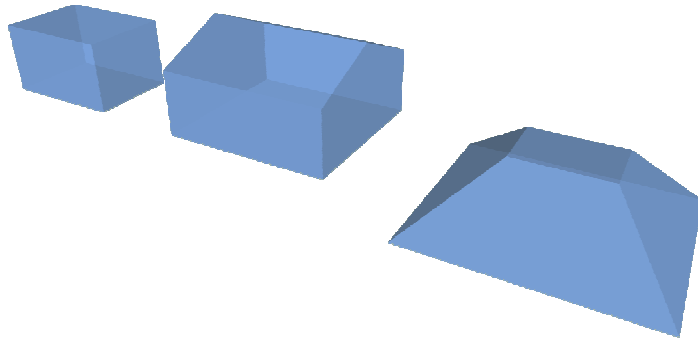


Figura 28 - Conjunto de poliedros

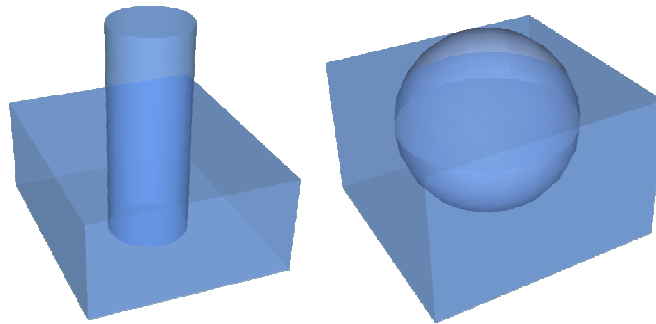


Figura 29 - Poliedro com um cilindro e com esfera

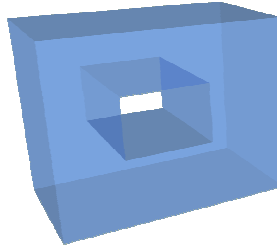


Figura 30 - Modelo baseado em CSG formado pela subtração de dois poliedros

Ekberg (2007) propõe o uso de feições triangulares para recompor os objetos em 3D como os poliedros por exemplo. . Ele decompõe as feições espaciais em triângulos para melhorar as consultas topológicas. A Figura 31 ilustra esse conceito.

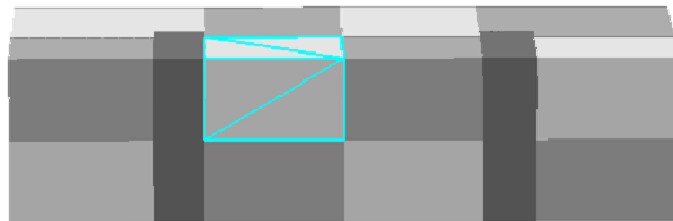


Figura 31 - Representação de parcelas espaciais com feições triangulares

Todas essas alternativas de modelo de parcelas espaciais levaram em conta a viabilidade técnica de implementação em banco de dados, CAD e SIG. Desse modo, ainda

que não idealmente, esses modelos tem norteado o uso da informação tridimensional tanto para o SIG quanto para o Cadastro. O poliedro é o modelo que mais se destaca devido à sua facilidade de implementação, porém as relações de topologia com objetos que estejam contidos dentro dele não são tão triviais (ARENS et al, 2005).

Uma das dificuldades de estabelecer primitivas geométricas para o Cadastro é a irregularidade dos limites das parcelas na superfície terrestre. Em muitas regiões não existe um padrão estabelecido, podendo gerar inconsistências nas informações. Desse modo, sempre haverá sobreposição de parcelas espaciais ou espaços em uma quadra que legalmente não pertencem a nenhum imóvel.

A indefinição dos limites da parcela prejudica o uso de volumes para o modelo cadastral, pois esses precisam de ao menos dois ternos de coordenadas e uma altura para estabelecer quais são os limites acima e abaixo da superfície em questão. A Figura 32 mostra um esquema da construção de um poliedro a partir desses parâmetros para representar uma superfície espacial.

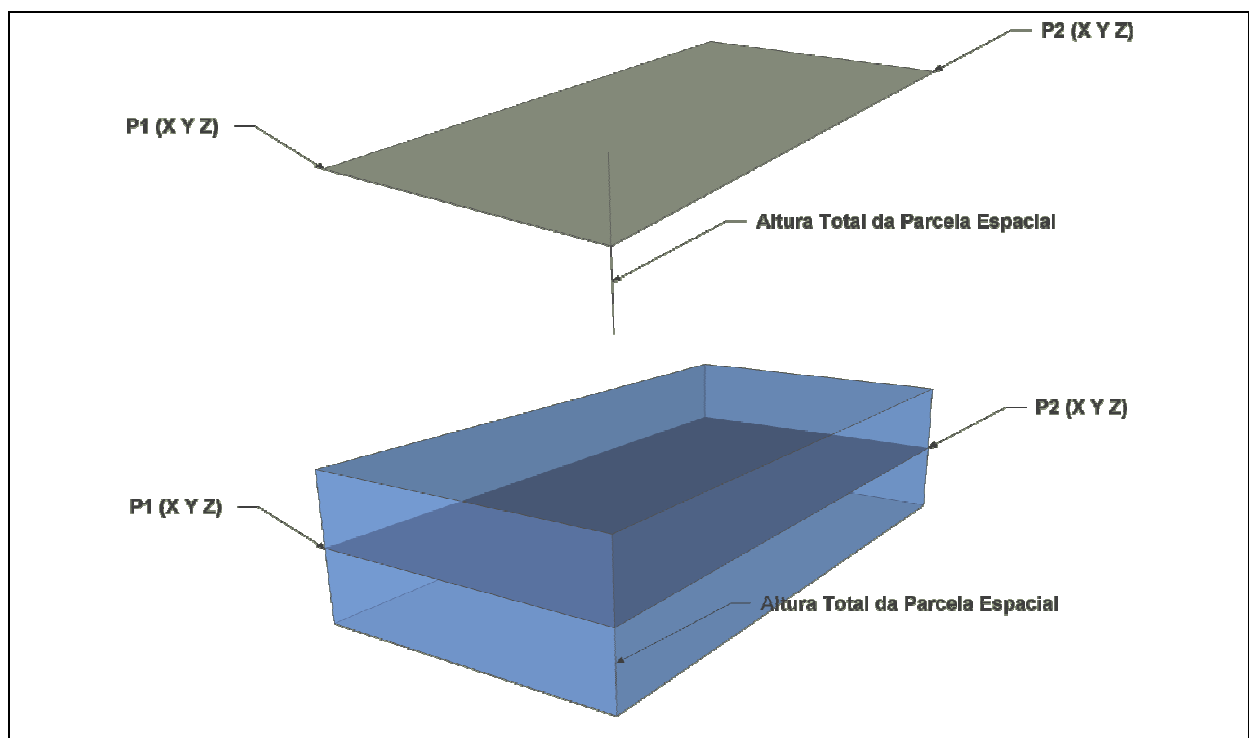


Figura 32 - Critérios para a formação da parcela espacial

Ressalta-se nesse caso que o poliedro considerado é regular, o que nem sempre ocorrerá na realidade. Desse modo, a definição da parcela espacial é dependente de sete parâmetros, considerando o nível do terreno como plano de partida. Considerando as edificações existentes dentro da parcela espacial como subparcelas, essas também dependeriam de outros parâmetros para serem reconstruídas. No caso das subparcelas espaciais, é possível reconstruir os poliedros a partir de arquivos de Cadastro que possuam a planta baixa do imóvel e informações de banco de dados sobre o número de pavimentos (FILLIN et al (2008)). Ainda assim, essa modelagem não será fidedigna à realidade, pois as formas utilizadas podem não corresponder à geometria das edificações.

Encontrar um modelo adequado para representar e utilizar as parcelas espaciais é importante para o Cadastro. Porém, não se deve confundir com modelagem de cidades virtuais, cuja finalidade é diferente. Embora ambos aproveitem conceitos um do outro, eles se diferem no uso.

Os paradigmas de modelagem virtual de cidades baseiam-se em dois principais aspectos: modelagem geométrica 3D e modelagem baseada em imagens. (NEBIKER et al., 2010). Ambos possuem características que ajudam a entender o uso da tridimensionalidade para o Cadastro e auxiliam na incorporação da mesma aos sistemas cadastrais.

A modelagem geométrica possui a vantagem de ser baseada em conceitos de CAD e SIG, utilizando os mesmos padrões, formatos e ferramentas. Isso permite uma grande interoperabilidade entre diversos sistemas para edição e visualização de modelos. Outra grande vantagem é a flexibilidade da modelagem que permite que qualquer coisa seja modelada com uso de princípios de B-rep (*Boundary Representation* – Representação de Fronteira) e CSG. A desvantagem nesse caso não é o método em si, mas a complexidade dos ambientes urbanos. A decomposição de algumas estruturas complexas em primitivas geométricas demanda um grande tempo de edição, o que ocasiona algumas inconsistências entre o que o usuário espera do modelo e o que o produtor realizou (NEBIKER et al., 2010).

Por outro lado, a modelagem baseada em imagens possui a vantagem de permitir uma construção realística da paisagem, mas limitada ao ponto de vista de aquisição da cena. É necessário também efetuar a compatibilização dos valores de brilho dos pixels. O *Google Street View* é um exemplo dessa abordagem. Em geral, usa-se uma combinação das duas abordagens nos sistemas de cidades virtuais mais consolidados, aplicando os valores de

brilho obtidos nas imagens como elementos de texturas nos objetos geométricos modelados.

Ambas as abordagens ilustram o problema da obtenção de modelos 3D dos objetos do cenário urbano. Para o Cadastro, é necessário estabelecer a parcela espacial como um objeto, embora ela não seja materializada de fato. Além disso, as informações para o Cadastro devem ser atuais, o que exige maior rapidez na aquisição dos dados e conseqüentemente uma construção rápida dos modelos. Nesse aspecto, as duas abordagens não são tão rápidas, dado o tempo de edição necessário para a construção do modelo. Para o Cadastro não é necessária uma modelagem tão realística, somente para temas específicos como para Cadastro de Patrimônio Histórico.

Diante desse contexto, neste trabalho utilizaram-se conceitos de um novo paradigma da modelagem de cidades, chamado *Rich point clouds (RPC)* (NEBIKER et al., 2010). A tradução do termo em português não daria o sentido que ela tem para a língua inglesa, que é uma nuvem de pontos com diversos atributos, como intensidade, valor RGB, classificação e outros de interesse. Em linhas gerais, os pontos de LASER possuem informações de posição, pulso de retorno, tempo, dentre outros.

Com esses novos conceitos, pode-se atribuir para cada ponto da nuvem informações diversas, como por exemplo, o tipo de edificação do qual ele faz parte ou até mesmo a inscrição cadastral do imóvel. Além disso, RAVADA et al (2009) afirma que a estrutura de nuvem de pontos pode ser suportada em banco de dados, dando como o exemplo o *Oracle Spatial 11g*.

A partir dos conceitos apresentados, a seção a seguir explana a proposta metodológica adotada nesse trabalho e sua contribuição para incorporar a informação tridimensional ao Cadastro.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para atender aos objetivos da tese, propõe-se para incorporação da informação tridimensional ao Cadastro um modelo híbrido de parcela espacial, utilizando conceitos e paradigmas de Modelagem de Cidades e primitivas geométricas que podem ser representados no banco de dados. Assim, cada parcela espacial será representada por uma estrutura geométrica e os objetos por nuvem de pontos.

Algo importante a ser destacado é que a parcela espacial é um objeto abstrato. Ela não pode ser mensurada por completo, somente a parte que está na superfície terrestre, que em geral corresponde ao plano que secciona a parcela espacial em duas partes iguais. Já as subparcelas, que neste caso são as edificações ou estruturas contidas na parcela espacial, são objetos físicos.

A estrutura geométrica proposta para a parcela espacial é o cilindro ao invés do poliedro. Embora Stoter e Oosterom (2006) tenham colocado as limitações de implementação quanto ao uso de cilindros para o banco de dados, os avanços tecnológicos permitem que essa estrutura seja utilizada. Em relação ao poliedro, o cilindro possui 5 (terno de coordenadas (X,Y,Z) , profundidade e testada) parâmetros para a determinação da parcela ao invés de 7 (dois ternos de coordenadas (X,Y,Z) e altura da parcela espacial), salientando que ambos tem como plano de partida o nível do terreno, ou seja, esses parâmetros são comuns a ambos. A Figura 33 ilustra o uso do cilindro como parcela espacial, com o cilindro contínuo ou multifacetado em regiões planas.

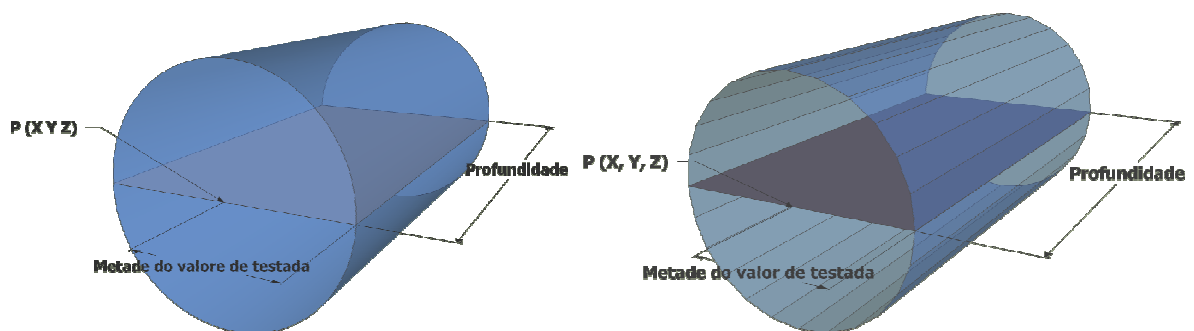


Figura 33 - Exemplo do uso do cilindro como parcela espacial.

Em relação ao poliedro, o cilindro possui vantagens como menor número de parâmetros e mais facilidade na aquisição dos parâmetros uma vez que as principais medidas são feitas na testada da parcela. Além disso, a altura da parcela espacial, tanto acima quanto abaixo da superfície é determinada pela testada, o que padroniza os limites de parcela espacial.

Embora o cilindro tenha menos parâmetros que o poliedro, a implementação matemática da verificação de estruturas em seu interior não é tão simples. Pela proposta metodológica o cilindro é composto por um centro, raio e a geratriz. Para o modelo proposto, o centro do cilindro é a representado pelas coordenadas obtidas no ponto médio da testada do lote, a geratriz é a profundidade do lote e o raio é a metade do valor da testada. Definidos tais parâmetros para a construção do cilindro, a próxima etapa foi garantir matematicamente que um objeto esteja fora ou dentro da parcela espacial.

Qualquer que seja o modelo de objeto inserido dentro da parcela espacial, as consultas sobre sua topologia são feitas em relação aos vértices, sejam esses objetos poliedros, tetraedros, objetos CSG entre outros. Portanto, uma vez que as consultas se referem a pontos, utilizar o conceito RPC torna-se válido já que a verificação e rotulação dos pontos independem do número total de pontos de entrada.

Para que o modelo matemático usado no processo de rotulação dos pontos atendesse aos objetivos propostos, algumas considerações iniciais foram necessárias. A primeira abordagem usada utilizava o conceito de distâncias dentro do cilindro, mas o processo de rotulação gerou uma esfera devido às inúmeras direções que a o vetor de distância poderia assumir o que inviabilizou tal uso.

A partir de então, a abordagem utilizada foi definir um sistema de coordenadas local $X'Y'$ no plano XY com origem fixada no ponto médio da testada na frente da parcela, que coincide com o centro do círculo do cilindro. O sistema foi definido de modo que o eixo Y' coincidisse com o alinhamento da testada do lote. A Figura 34 ilustra a posição do novo sistema de coordenadas em relação à parcela espacial. Em linha continua está o sistema de coordenadas original, em azul a translação dos eixos para o centro de projeção do cilindro e em vermelho o sistema resultante da rotação θ , com o eixo X' coincidindo com o eixo do cilindro. Os valores de X e Y também podem assumir os valores de E e N do sistema UTM.

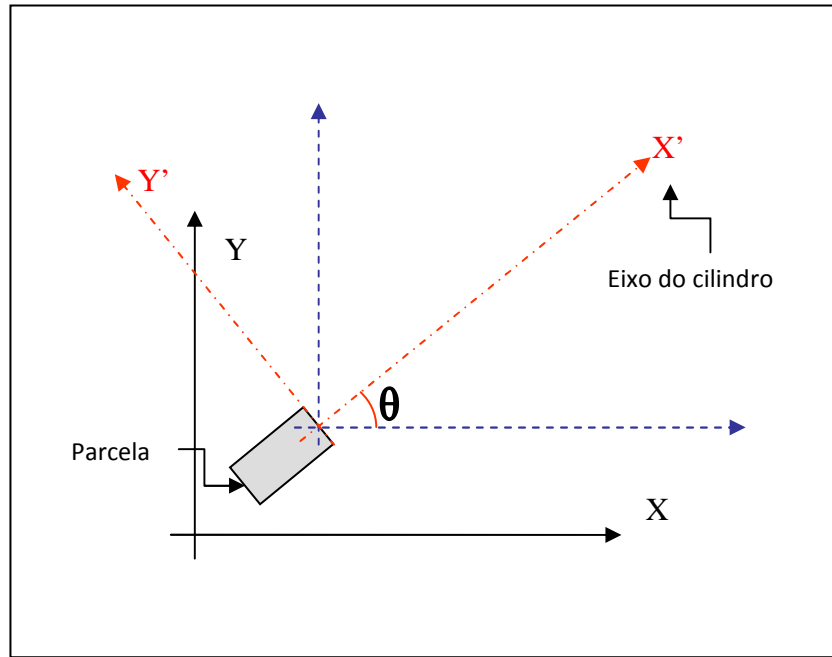


Figura 34 - Posicionamento do sistema de coordenadas local em relação ao sistema original

Os parâmetros de translação para o novo sistema de coordenadas se dariam pela subtração do ponto origem do cilindro do ponto de interesse que estivesse sendo testado. Já o parâmetro de rotação necessita de mais um ponto além do ponto de origem da parcela espacial. Isso se deve ao fato de que o parâmetro de rotação é obtido do fator de inclinação da equação da reta que passa pelo ponto origem do cilindro.

Para resolver esse problema, é necessário obter o ponto central da parcela espacial mais próxima que esteja no mesmo alinhamento. Com dois pontos, determina-se então a equação da reta e encontra-se o ângulo de rotação θ do novo sistema de coordenadas em relação ao sistema de origem. É importante estudar o sinal do ângulo de rotação, pois ele é obtido através da função arco tangente e tem impacto na orientação do sistema de coordenadas. É necessário fazer a redução do ângulo ao primeiro quadrante, utilizando os cálculos parciais da diferença entre as coordenadas planimétricas dos pontos utilizados para a determinação do ângulo de rotação. As considerações para a redução ao 1º quadrante são estabelecidas pelo Quadro 1 com valores em radianos.

Quadro 1 - Formulário para redução do ângulo de rotação ao primeiro quadrante

	Redução ao 1º quadrante
Se $\Delta x > 0$ e $\Delta y > 0$	θ
Se $\Delta x < 0$ e $\Delta y > 0$	$\pi + \theta$
Se $\Delta x < 0$ e $\Delta y < 0$	$\pi + \theta$
Se $\Delta x < 0$ e $\Delta y > 0$	$2\pi + \theta$

Com os parâmetros de translação e rotação definidos, as equações para o novo sistema de coordenadas são dadas pelas equações 4 e 5.

$$X' = (X - X_C) \times \cos \theta + (Y - Y_C) \times \sin \theta \quad (4)$$

$$Y' = -(X - X_C) \times \sin \theta + (Y - Y_C) \times \cos \theta \quad (5)$$

Onde

$X' Y'$ são as coordenadas dos pontos no novo sistema;

$X_C Y_C$ são as coordenadas do centro do cilindro;

$X Y$ são as coordenadas dos pontos que estão sendo testados;

θ é o ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas.

As condições de consulta para saber se planimetricamente o ponto está dentro do cilindro são dadas pelas equações 6, 7 e 8.

$$X' < 0 \quad (6)$$

$$|X'| < \textit{profundidade} \quad (7)$$

$$|Y'| < \textit{raio} \quad (8)$$

As informações sobre profundidade e testada são obtidas no banco de dados ou podem ser medidas em campo também, lembrando que o valor do raio do cilindro é obtido através do valor da testada.

Para a verificação altimétrica do ponto que está sendo testado em relação ao cilindro, foi utilizada a equação do círculo no plano $Y'Z$. Caso o resultado da equação fosse

menor ou igual ao valor do raio estabelecido, os pontos estariam inseridos na parcela espacial cilíndrica. A equação 9 mostra a condição de consulta para os pontos.

$$(Y')^2 + (Z - Z_c)^2 \leq \text{raio}^2 \quad (9)$$

Onde

Z é a coordenada do ponto que está sendo testado;

Y' é a coordenada do ponto testado no sistema local;

Z_c é a coordenada do ponto central do cilindro.

Portanto, o ponto que está sendo testado deve satisfazer as condições das equações 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6 para ser rotulado com o atributo desejado, nesse caso com a inscrição cadastral. Como já citado, seja o ponto oriundo de uma nuvem de pontos ou de poliedros, o modelo matemático é consistente e pode ser utilizado.

As edificações nessa proposta podem ser representadas por um cilindro vertical ou a própria nuvem de pontos da edificação. Quando for o caso pode-se optar por um modelo híbrido entre essas duas abordagens. Embora o cilindro tenha problemas quanto aos limites assim como o poliedro, ressalta-se que nenhum modelo representa a realidade e, portanto, deve-se optar pelo que seja melhor para a aplicação de interesse. Para o Cadastro, uma representação realística ou geometricamente fidedigna, nem sempre é a melhor solução, pois não se podem executar medidas para o Registro de imóveis em modelos pela legislação vigente. A informação tridimensional no Cadastro contribui principalmente para a área de planejamento urbano e área jurídica. Ela pode ser utilizada também para o Cadastro imobiliário, exceto nos limites da parcela espacial, pois esses não são materializados. Além disso, os dados do Cadastro poderão ser utilizados nos chamados SIGs 3D, para aplicações turísticas e de geomarketing.

A escolha pela nuvem de pontos se deu para facilitar a topologia das estruturas dentro das parcelas. Com a utilização do conceito *RPC*, os pontos podem ter diversos atributos. Além disso, é muito mais fácil encontrar um ponto dentro de um cilindro do que outro volume. A idéia é usar o leque dos atributos para facilitar a topologia e a identificação dos imóveis. Embora a aquisição dos pontos seja um tanto onerosa, a evolução

tecnológica tende a minimizar esses custos com o passar do tempo. O modelo proposto faz uso das nuvens de pontos obtidas por LASER aéreo e terrestre, com a integração das duas.

Um dos principais problemas da integração de dados LASER é a diferença nos sistemas de referências de coordenadas. Na maioria dos casos, os dados de LASER terrestre não são georreferenciados, o que não permite a integração com os dados de LASER aéreo de maneira automática, já que os dados de LASER aéreo estão em um sistema de coordenadas geodésico, graças ao conjunto de dispositivos de posicionamento presentes na aeronave no instante de aquisição dos dados.

Quando se faz uso de sistemas de mapeamento móvel terrestre, que proporcionam nuvens de pontos estão em sistema de coordenadas geodésicos, mesmo assim é necessário um maior cuidado na integração das nuvens de pontos, pois a densidade de pontos e a precisão são diferentes. Deve-se salientar também que para uma aplicação cadastral, os sistemas de mapeamento móvel terrestre devem ser configurados de modo que as edificações estejam nas nuvens de pontos, ou seja, as faces da edificação devem ser levantadas pelo sensor.

Em alguns casos parecidos com esse, por exemplo, quando se faz a transformação entre o sistema de coordenadas de uma imagem na tela do computador e o sistema de coordenadas de uma câmara fotogramétrica, basta encontrar os parâmetros de transformação entre os dois sistemas, usando a coleta de pontos nos dois sistemas de coordenadas e realizar o ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).

Quando se trata de coleta de pontos com LASER, é impossível determinar pontos homólogos, pois não é garantido que no momento da coleta um ponto possa ser coletado pelos dois sensores. Além disso, a precisão dos pontos obtidos pelos dois sistemas é diferente, uma vez que o LASER aéreo, na maioria das situações, alcança precisão centimétrica e o LASER terrestre precisão milimétrica.

Por isso, uma das estratégias adotadas foi determinar um polígono convexo de locais de interesse da nuvem de pontos, principalmente no LASER aéreo, usando um algoritmo chamado *Convex_Hull*⁶ da biblioteca CGAL (*Computational Geometry Algorithms Library*). A Figura 35 apresenta o resultado do funcionamento deste algoritmo.

⁶ O algoritmo *Convex_Hull* traça um polígono convexo em torno de um dado conjunto de pontos.



Figura 35- Exemplo do funcionamento do *Convex_Hull* da CGAL
FONTE: CGAL PROJECT (2009)

Com alguns pontos detectados pelo algoritmo *Convex_Hull* da biblioteca CGAL, foram encontradas as equações das retas dos segmentos que definem o contorno aproximado dos telhados, de modo que o resultado tenha uma configuração semelhante à da Figura 36. As intersecções de retas geraram pontos que permitiram a determinação de parâmetros para a transformação dos pontos entre as nuvens de LASER aéreo e terrestre.



Figura 36 - Nuvem de pontos de LASER aéreo com polígono convexo definido pelos pontos

Para a nuvem de pontos do LASER terrestre a estratégia adotada foi a extração de planos, com seus respectivos vetores normais. Os planos foram obtidos a partir de coleta de três ternos de pontos das paredes. Utilizando a intersecção de planos, foram determinados os pontos que coincidem com os pontos da nuvem do LASER aéreo, o que facilitou a determinação de parâmetros de transformação entre as duas nuvens de pontos. Além disso, algumas intersecções de planos para gerarem retas também foram utilizadas.

Com a definição dos pontos comuns, passou-se a fase da determinação dos parâmetros de transformação. A transformação escolhida foi a de Similaridade de Helmert, ou Isogonal 3D. Essa transformação possui 7 parâmetros a serem encontrados, que significa que 3 pontos bastariam para se encontrar os mesmos. A forma matemática da transformação é dada pela equação 10:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \lambda R_{\alpha, \theta, \zeta} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (10)$$

Onde:

X, Y, Z é a saída dos pontos de LASER terrestre no sistema de coordenadas geodésico;

λ é o fator de escala;

$R_{\alpha, \theta, \zeta}$ é a matriz de rotação entre as nuvens de pontos.

x, y, z são os pontos de LASER terrestre

$X_0 Y_0 Z_0$ origem aproximada para o sistema de transformação.

Para se chegar aos valores dos parâmetros, foi utilizado ajustamento pelo MMQ. O algoritmo da transformação foi implementado em C++, pois as classes necessárias para a execução dos experimentos foram implementadas nessa linguagem. Posteriormente é feita a integração das duas nuvens, gerando um arquivo de saída único para a visualização.

Com a integração dos dados efetuada, a detecção das subparcelas espaciais é feita de forma semi-automática através da observação da não-coplanaridade dos pontos nas faces das nuvens de pontos. Esse procedimento é utilizado baseado em estudos

preliminares que indicaram que a presença de janelas e sacadas são indícios de ocorrência de subparcelas em edifícios.

Foram implementadas diversas classes em C++ para este trabalho. Todo o desenvolvimento foi realizado no *Microsoft Visual Studio 2010*. As classes utilizadas tiveram auxílio da biblioteca *LASlib*, desenvolvida por Martin Isenburg e Jonathan Shewchuk, da Universidade da Carolina do Norte, EUA. Essa biblioteca inclui diversos protótipos de funções e alguns executáveis com códigos fonte chamados *LASTools* que permitem a manipulação não só da nuvem de pontos como de imagens de intensidade, modelos de elevação e arquivos de SIG (ISENBURG, 2011).

A *LASlib* trabalha com os dados provenientes de sensores de varredura LASER no formato *LAS* e, portanto, foi necessário adaptar algumas funcionalidades às classes implementadas para que pudesse haver a conversão para arquivos ASCII. Com algumas características próprias, o arquivo no formato *LAS* pode ser transformado para um arquivo ASCII com proto-funções⁷ da própria biblioteca, bastando entender o formato *LAS* dos arquivos, segundo as especificações da ASPRS (www.lidar.com.br/arquivos/LAS_format.pdf). Os arquivos do tipo *LAS* são lidos por softwares específicos, como o *LASEdit* da Figura 37. A Figura 38 mostra a mesma nuvem de pontos sendo visualizada pelo aplicativo *LASView*, da biblioteca *LASlib*.

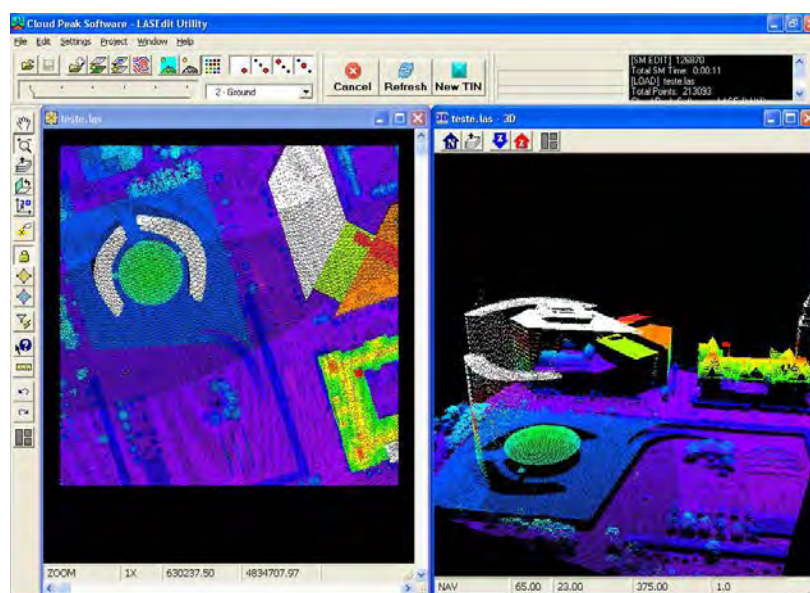


Figura 37 - Programa *LASEdit* mostrando um arquivo do tipo *LAS*

⁷ Proto-funções: São funções protótipos que podem ser adequadas para a aplicação de interesse

Algumas funções utilizadas dessas duas bibliotecas estão sendo customizadas para que o resultado alcançado atenda melhor aos objetivos deste trabalho.



Figura 38 - Arquivo LAS visualizado com o auxílio da biblioteca *LASTools* pelo aplicativo *LASView*.

Uma das ferramentas implementadas foi a transformação da nuvem de pontos terrestre para arquivos no formato LAS, pois esse é específico para nuvens de pontos de LASER aéreo. Originalmente, as nuvens de pontos terrestres são utilizadas em formato PTX ou TXT ou ainda XYZ. Esse procedimento foi adotado para que a integração das nuvens *a posteriori* tivessem o mesmo arquivo de saída e também para utilizar os procedimentos da biblioteca *LASlib* e das classes implementadas.

O fluxograma da Figura 39 apresenta o procedimento relacionado à integração da nuvem de pontos descrevendo os processos intermediários até o arquivo de saída com as nuvens integradas.

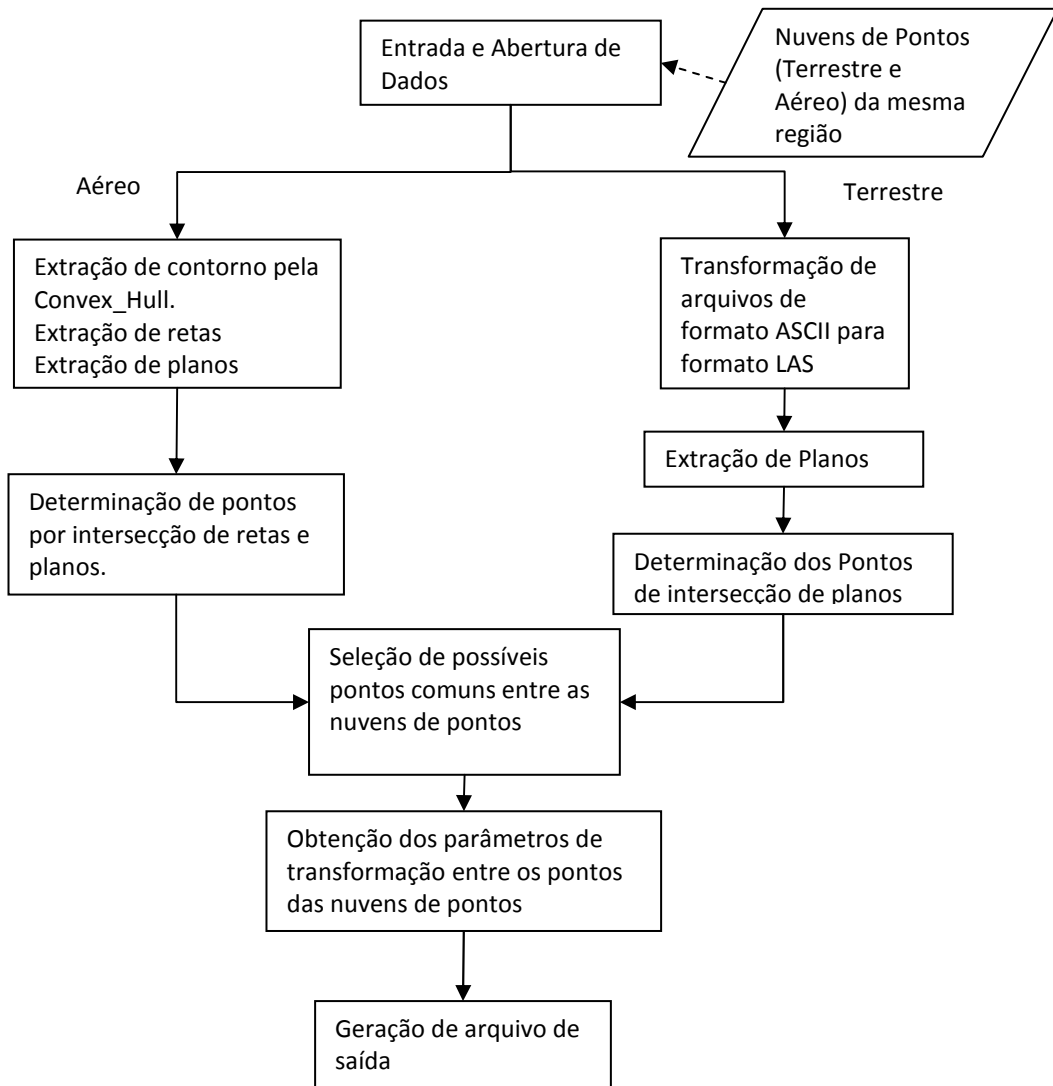


Figura 39 - Procedimento metodológico para integração da nuvem de pontos

A Figura 40 mostra o fluxograma para a geração da nuvem de pontos baseado no conceito *RPC*, mostrando os processos necessários para a adoção do conceito de parcela espacial integrada à nuvem de pontos.

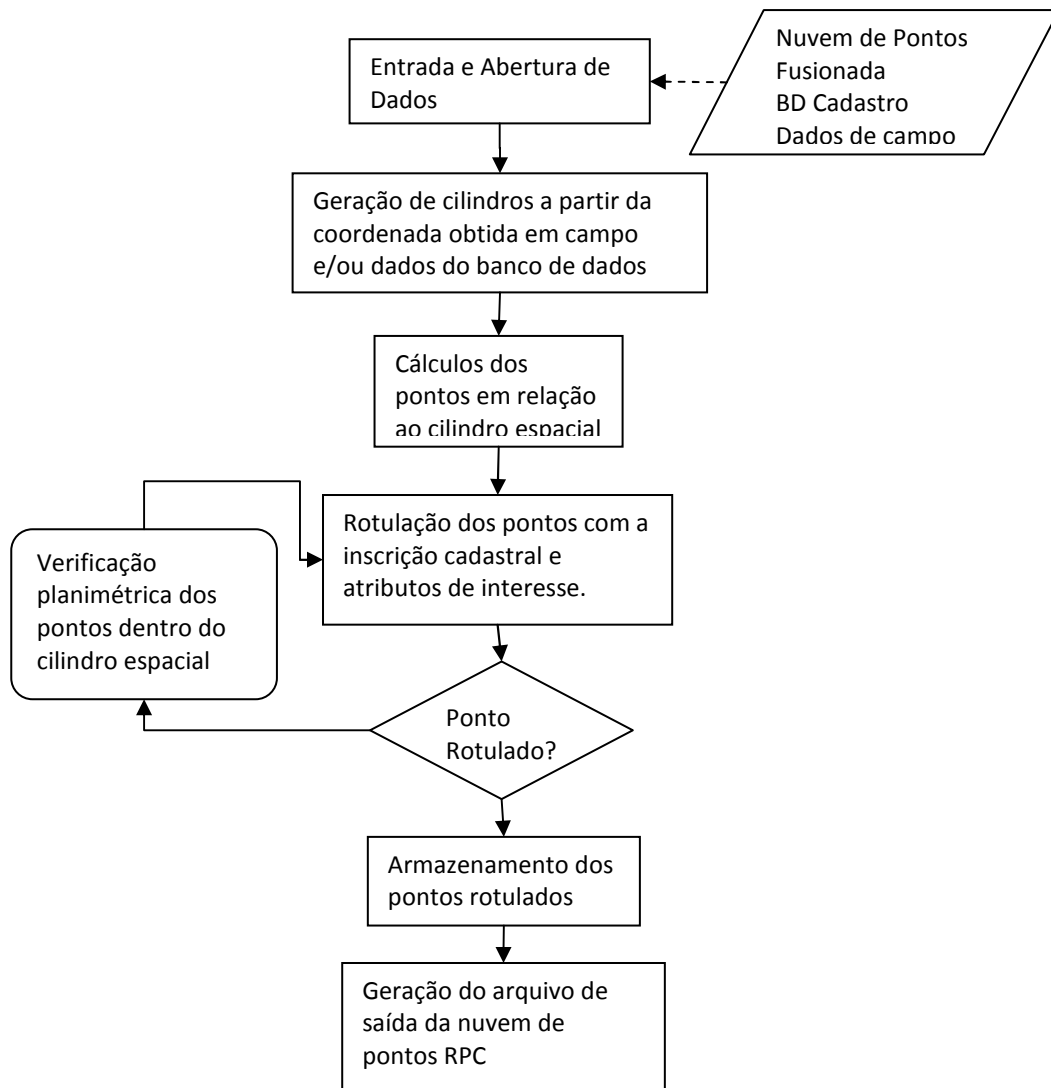


Figura 40 - Procedimento para a geração da nuvem de pontos RPC

5 EXPERIMENTOS, RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção são apresentados os resultados e as análises dos experimentos executados conforme a proposta metodológica apresentada no capítulo anterior. A aquisição dos dados para os experimentos tiveram alguns problemas, que são detalhados dentro de cada área teste, o que inviabilizou o teste de todos os procedimentos metodológicos em todas as áreas testes do trabalho.

5.1 Área teste: Jardim Prudência – São Paulo

5.1.1 *Característica da área de estudo*

A primeira área teste, mostrada na Figura 41, está localizada na cidade de São Paulo – SP, na Rua Dr. Gentil Leite Martins, Jardim Prudência. A escolha da área teste teve como base uma localidade onde fosse possível obter dados de LASER aéreo, bem como realizar um levantamento com LASER terrestre.



Figura 41 - Imagem da região. FONTE: Google Earth

O levantamento com LASER terrestre foi efetuado com um equipamento cedido, gentilmente, pela *Leica Geosystems*, dentro de um condomínio com dois edifícios. Um dos edifícios teve todas as faces levantadas, bem como algumas cenas de seu entorno. A Figura 42 e a Figura 43 mostram o equipamento utilizado e uma das fachadas do prédio respectivamente.



Figura 42 - Estação *ScanStation 2* fornecida pela *Leica Geosystems*



Figura 43 - Fachada do edifício

5.1.2 Levantamento dos dados

O levantamento de dados com o equipamento *ScanStation 2* ocorreu no dia 12 de novembro de 2008. Para a montagem do projeto e configuração da execução em campo usou-se o software *Cyclone*. O banco de dados criado teve por nome UNESP e o projeto também teve o mesmo nome.

O equipamento possui um campo de visada horizontal de 360° e de visada vertical de 135°. Podem-se estabelecer ângulos específicos através do programa, dependendo da aplicação de interesse. As faces do edifício foram escaneadas com grades de 1 cm e de 2 cm. Essa diferença ocorreu para que as regiões próximas ao topo do edifício tivessem precisão adequada. Acima de 30 m as grades estabelecidas devem ser maiores que 1 cm e o prédio tem aproximadamente 34 m de altura.

Também foram espalhados pontos de controle para fazer a concatenação das cenas. Cada cena deve ter 3 pontos de controle que não estejam no mesmo plano horizontal e que estejam bem espaçados, de modo que cenas consecutivas devem ter pelo menos 1 ponto de controle em comum. Os alvos dos pontos de controle são contrastantes e o próprio sistema faz duas leituras para estabelecer o centro de massa do alvo. A Figura 44 mostra a distribuição dos pontos de controle na região do edifício. A Figura 45 mostra a cena 1 do levantamento com os pontos de controle em destaque e a Figura 46 mostra as leituras dos pontos no modo inicial e no ajuste fino.



Figura 44 - Distribuição dos pontos de controle pela região do edifício

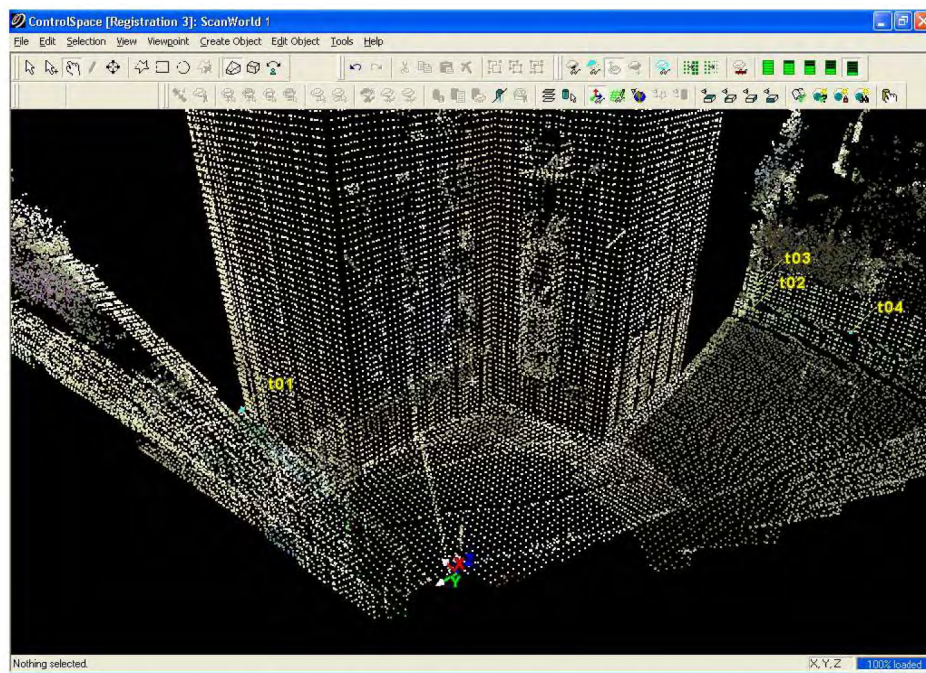


Figura 45 - Pontos de Controle (t01 a t04) sendo mostrados na cena 1 em amarelo.

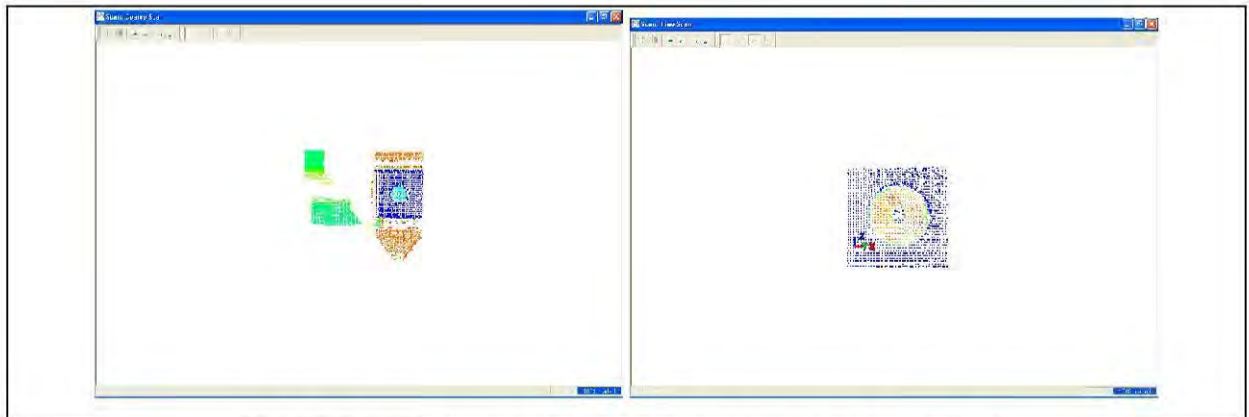


Figura 46 - Ponto de controle escaneado (Leitura inicial e Leitura Fina)

A Figura 47 mostra todas as cenas do edifício concatenadas, dando uma idéia do modelo da edificação. Além da nuvem de pontos, o equipamento coleta imagens para atribuir valores RGB aos pontos escaneados.

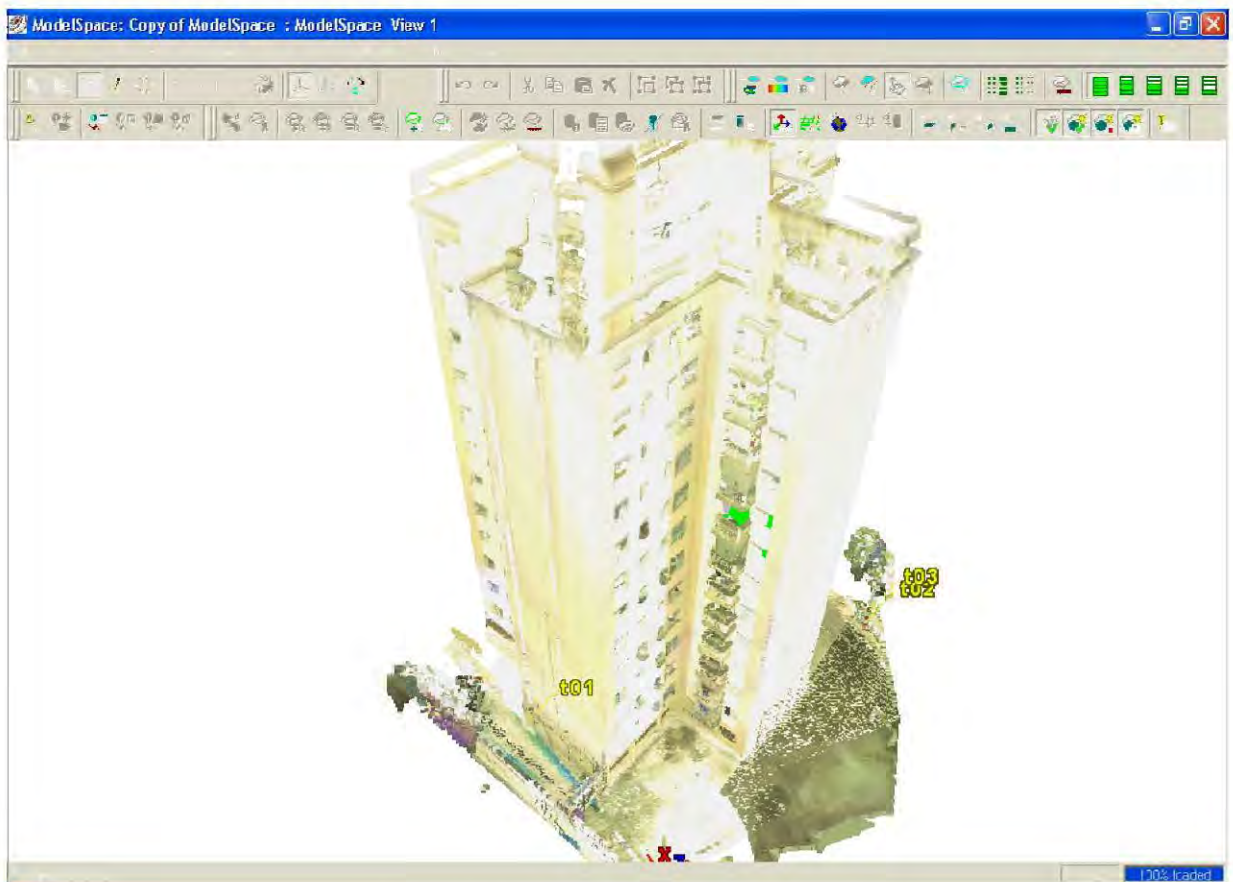


Figura 47 - Modelo do edifício da área teste

5.1.3 Testes metodológicos

A área teste foi planejada de modo a conseguir as condições ideais para o trabalho. Contudo, verificou-se depois que não havia a disponibilidade de LASER aéreo da região. Assim, a nuvem de pontos passou a ser utilizada para testes dos algoritmos desenvolvidos e para mostrar o potencial de detecção de subparcelas espaciais através da nuvem de pontos, através da coplanaridade dos pontos. Além disso, a oportunidade de realizar o levantamento e a experiência para o autor foram extremamente relevantes.

O parâmetro de coplanaridade é importante porque, se todos os pontos do LASER terrestre estiverem no mesmo plano, pode-se ter uma redução do número de pontos em que se está trabalhando. Além disso, quando um ponto está em outro plano, pode ser um indicativo de divisão da parcela espacial ou outra face da mesma propriedade. As janelas, por exemplo, sempre estão em outro plano que o da parede, e quando o padrão se repete é um indício de edifício com vários apartamentos. A Figura 48 exemplifica esse processo, mostrando uma vista frontal de uma fachada com janelas e uma vista em perspectiva destacando pontos em planos diferentes da nuvem de pontos.

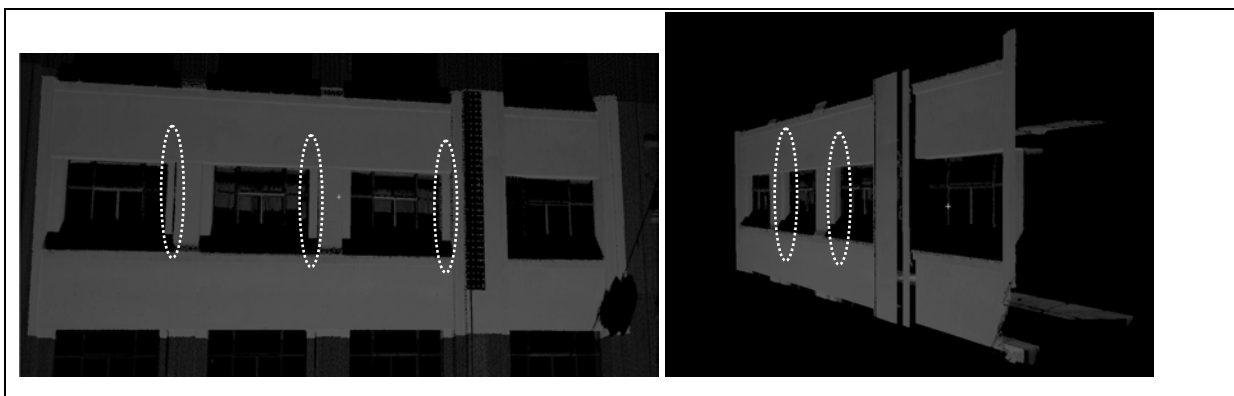


Figura 48 - Vistas da nuvem de pontos em diferentes planos

Foram feitos experimentos para teste de coplanaridade, usando a rotina de coplanaridade da CGAL, porém os resultados não eram claros, gerando vários planos em uma mesma parede. Ao efetuar a depuração, observou-se que o problema era que os pontos de LASER são armazenados em escala submilimétrica e os planos gerados pelos pontos não conseguiam ser “encaixados” no mesmo plano devido a essa escala de medida. Para resolver o problema, gerou-se um Box 3D considerando a escala centimétrica para efetuar as consultas dos pontos. Após esse procedimento, todos os experimentos foram satisfatórios. A Figura 49 mostra a estratégia adotada, onde os pontos em azul indicam que

eles estão dentro do intervalo predefinido e os pontos em vermelho os pontos que pertenciam ao plano mas não eram considerados pelo algoritmo na primeira abordagem.

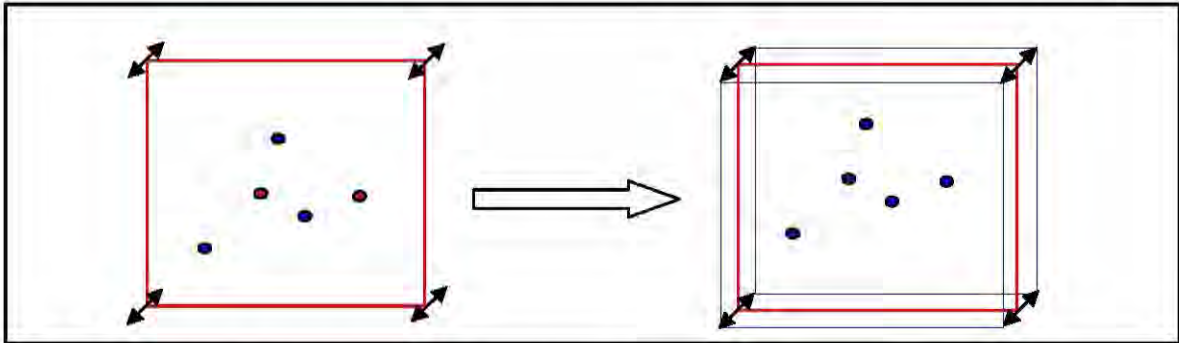


Figura 49 - Ilustração da estratégia adotada para a verificação da coplanaridade. Os pontos em azul indicam que eles estão dentro do intervalo predefinido e os pontos em vermelho são os que não foram classificados no mesmo plano pela primeira abordagem

Os experimentos a seguir mostram as potencialidades das rotinas testadas. Na primeira situação, tem-se um conjunto em torno de 6000 pontos, dos quais 4514 estão no mesmo Box. A Figura 50 mostra em destaque a seleção de pontos que foi feita para teste da rotina. Os pontos que definiram o Box 3D nesse primeiro experimento foram Ponto A (7.80, -2.00, 31.86), Ponto B (8.60, -5.18, 31.86) e Ponto C (8.7, -5.18, 28.60).

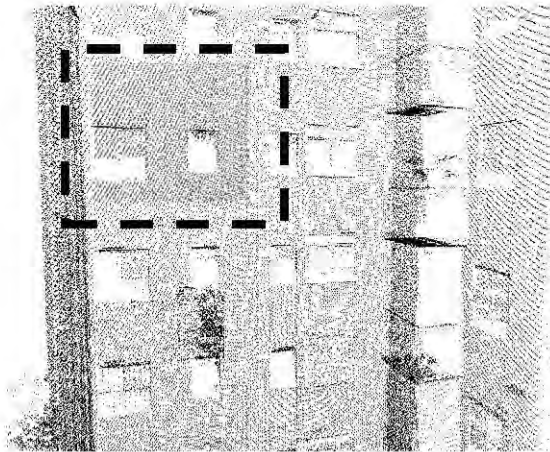


Figura 50 - Seleção de pontos para experimento número 1

Para o segundo experimento utilizou-se de um conjunto de pontos maior, no total de 69350 pontos. Destes, 47574 estavam no Box 3D definido pelos pontos Ponto A (8.7,-9.2,12.6) Ponto B (4.56,-10.2,12.6) Ponto C (4.56,-10.2,6.0) e 21776 estavam fora do

box 3D. A Figura 51 mostra em destaque os pontos para o experimento na nuvem de pontos e a Figura 52 mostra o resultado do processo.

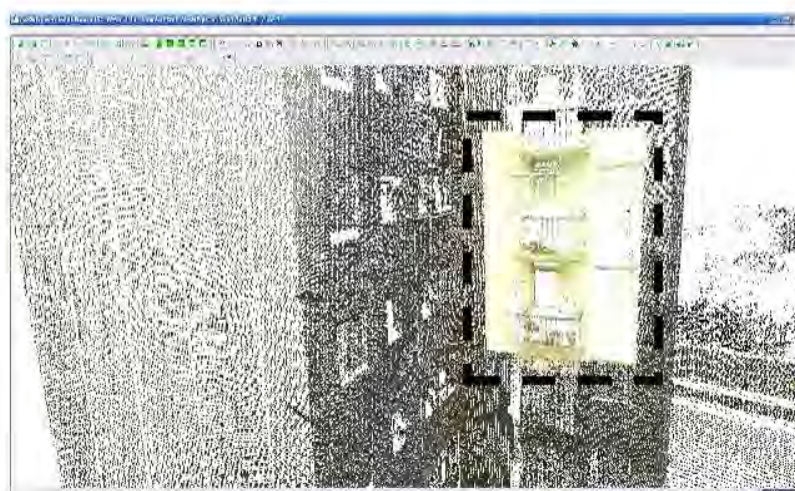


Figura 51 - Seleção de pontos para experimento número 2

```

c:\Documents and Settings\usuario\Meus documentos\Visual Studio 2008\Projects\TESTE\...
EXPERIMENTO: TESTE DE COPLANARIDADE DOS PONTOS
Lendo Pontos
Leitura terminada
Foram processados 69350 pontos
47574 pontos estao no mesmo plano
21776 pontos nao estao no mesmo plano
Pressione qualquer tecla para continuar. . .
  
```

Figura 52 - Resultado do processo para o experimento 2

Outro experimento efetuado foi a consulta das parcelas espaciais dentro do *PostGIS*. Foram selecionados alguns pontos que definiam os limites dos andares do edifício. As alturas estabelecidas nas consultas estavam no intervalo entre 2,70 a 3,00 m, com testes comparativos na nuvem de pontos de modo visual.

Para os experimentos foram selecionadas duas faces do edifício levantado com a estação *ScanStation 2*. A Figura 53 mostra o esquema de pontos das faces escolhidas para o teste com o banco de dados e com o algoritmo do teste da coplanaridade.

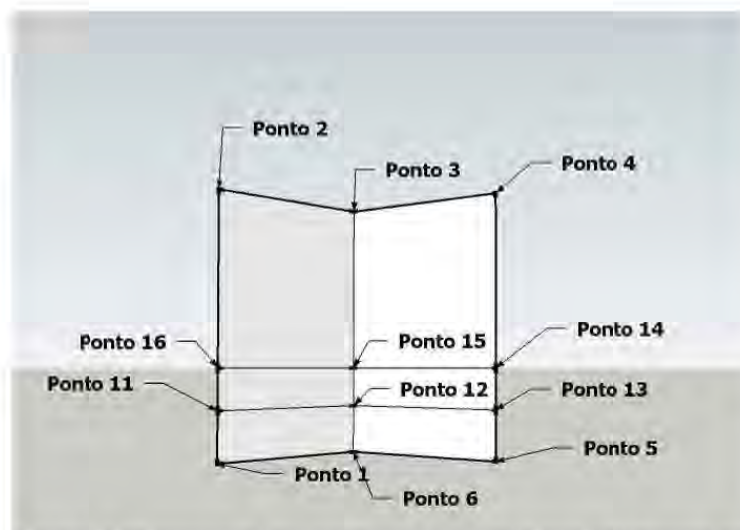


Figura 53 - Esquema de pontos para o teste da função de consulta

Foram obtidas as parcelas espaciais via consulta SQL sendo o resultado mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da determinação da subparcela espacial

Banco de dados e altura de definição do BOX	Parcelas encontradas	Parcelas corretas	Grau de acerto
BD – 2,70	7	6	86%
BD – 2,80	5	2	40%
BD – 3,00	0	0	100%

Percebe-se que é possível, a partir de limiares definidos, conseguir a determinação das parcelas espaciais via consulta ao banco de dados. Foi utilizada a entidade BOX3D do *PostGIS* para se chegar ao resultado. Isso é importante, pois é possível confrontar as informações que eventualmente tenham sido armazenadas no banco de dados com as medidas obtidas em campo. Considerando o 3º caso, com altura de 3 m, percebe-se um acerto de 100% no método, pois não há parcelas espaciais com essa altura.

O quarto experimento testou a busca de pontos definidos no poliedro que contém os pontos de sacada do edifício da área teste, diferenciando-os do plano que define a parede. A Figura 54 ilustra a configuração das sacadas destacadas pela linha tracejada.

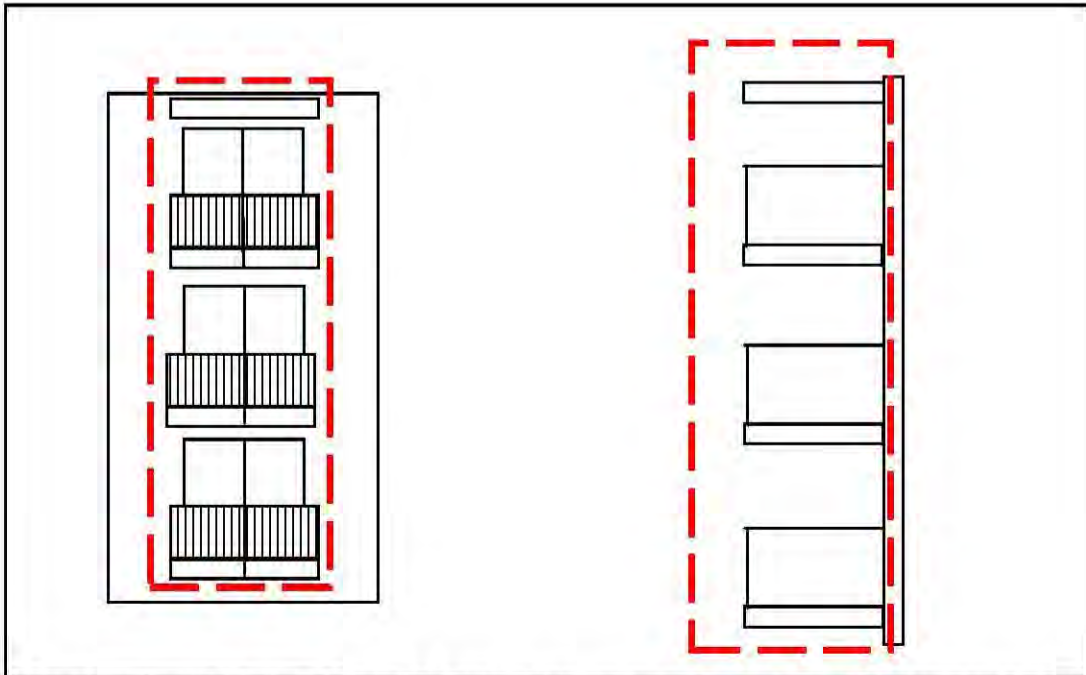


Figura 54 – Vista frontal e lateral da sacada de onde foram selecionados pontos de interesse para o algoritmo

Para este experimento, os pontos selecionados para a determinação dos parâmetros do plano foram Ponto A (8.5,-9.3,20.0), Ponto B (4.7, -10.15, 20.0) e Ponto C (4.7, -10.15, 11.45). Para definir o box que contém as sacadas foram utilizados os pontos Ponto S(7.1,-9.4,20), Ponto R (5.5,-9.9,20.0), Ponto Q(5.5,-8.9,11.45) e Ponto U (7.1,-8.4,11.45). A Figura 55 mostra a seleção dos pontos para o experimento e a Figura 56 mostra os resultados de saída.



Figura 55 - Nuvem de pontos do experimento 4

```

c:\Documents and Settings\usuario\Meus documentos\Visual Studio 2008\Projects\TESTEAD...
EXPERIMENTO: TESTE DE COPLANARIDADE DOS PONTOS
Lendo Pontos
Leitura terminada
Foram processados 55598 pontos
30313 pontos estao no plano da parede
6051 pontos estao no plano das sacadas
19234 pontos nao estao em nenhum dos planos
Pressione qualquer tecla para continuar. . . _

```

Figura 56 - Resultados do experimento 4

Pode-se perceber, pelos resultados, que dos 55598 pontos utilizados, 54,5% estão no plano da parede, 10,9 % estão no poliedro que contém os pontos de sacada e 34,6% não foram classificados em nenhum local. Este último dado evidencia que o algoritmo precisa ser melhorado para que possa ser feita uma melhor rotulação dos pontos. Outro fato interessante aqui é que na cena selecionada há vários pontos de janela que não estão rotulados, mas que também são pontos que dão indício da existência de subparcelas espaciais.

5.2 Área teste: Centro Cultural Banco do Brasil, São Paulo

5.2.1 *Característica da área de estudo*

A área teste 2 está localizada na Rua Álvares Penteado, em São Paulo. A região compreende parte do centro financeiro de São Paulo, como mostrado na Figura 57. Essa área teste foi escolhida por estar inserida dentro dos limites de coordenadas da nuvem de pontos de LASER aéreo que a empresa ESTEIO possuía.

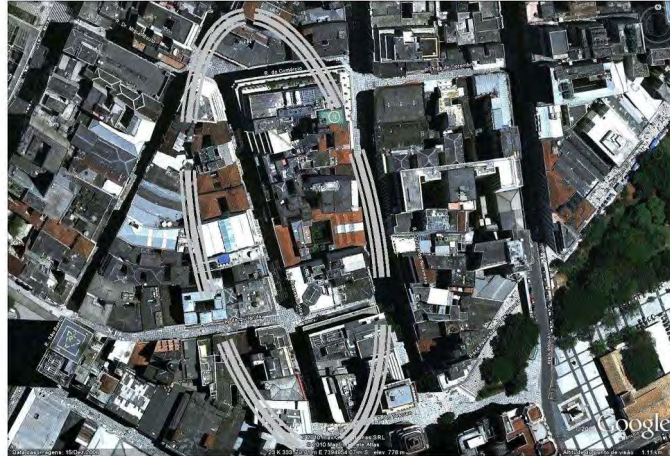


Figura 57- Área de estudo — Centro Cultural Banco do Brasil

Os dados de LASER terrestre foram cedidos pela empresa CPE Equipamentos Topográficos Ltda. A Figura 58 mostra uma das cenas levantadas da área teste.

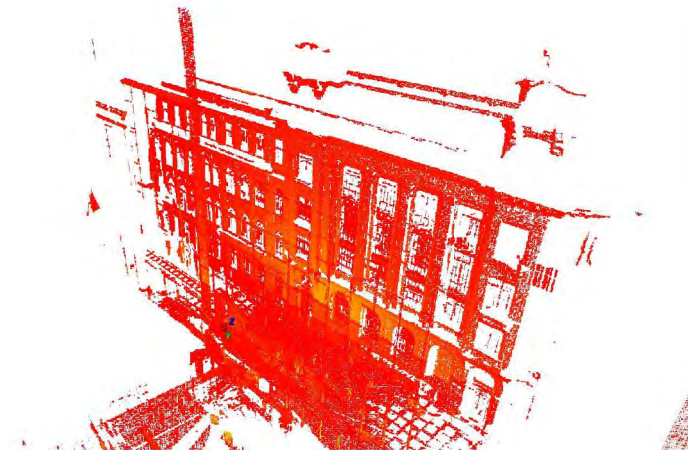


Figura 58 - Parte da nuvem de pontos obtida por LASER terrestre da área teste

Os dados de LASER aéreo foram fornecidos pela empresa de aerolevantamento ESTEIO, de Curitiba – PR. A nuvem de pontos pode ser visualizada na Figura 59.

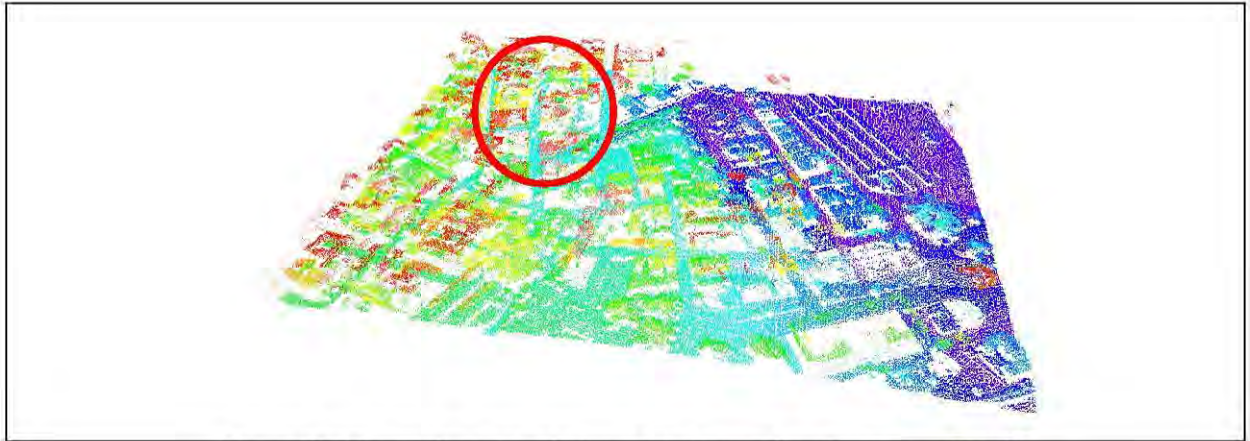


Figura 59 - Nuvem de pontos da área teste fornecida pela empresa ESTEIO

5.2.2 Testes metodológicos

Foi efetuada uma filtragem da nuvem de pontos do LASER aéreo para delimitar apenas a área de interesse do trabalho com o objetivo de reduzir a quantidade de pontos. Essa tarefa foi efetuada usando o módulo *Las2Las* do *Lastools*. Após esse processo, foram extraídos alguns contornos aproximados utilizando o *Convex_Hull* da CGAL. Deve-se ressaltar que a intenção não é utilizar o contorno, mas sim os pontos extraídos pelo algoritmo para achar as equações das retas de interesse para determinar pontos que possivelmente também estejam na nuvem de pontos do LASER terrestre.

Mesmo com a extração de pontos pelo algoritmo *Convex_Hull*, as retas definidas por eles foram muitas, o que a priori ocasionou uma indeterminação na escolha dos pontos. Da mesma forma a extração de planos da nuvem de pontos do LASER terrestre não foi satisfatória devido à presença de feições arquitetônicas complexas. Portanto, foram extraídos alguns planos de interesse a partir de pontos específicos.

Foi realizada uma checagem no local em dezembro de 2010 para tirar fotos que auxiliassem no processo de reconhecimento das feições, para que a integração das nuvens de pontos não fosse comprometida. A Figura 60 mostra o resultado da integração da nuvem de pontos e a Tabela 2 os parâmetros de transformação entre as nuvens.

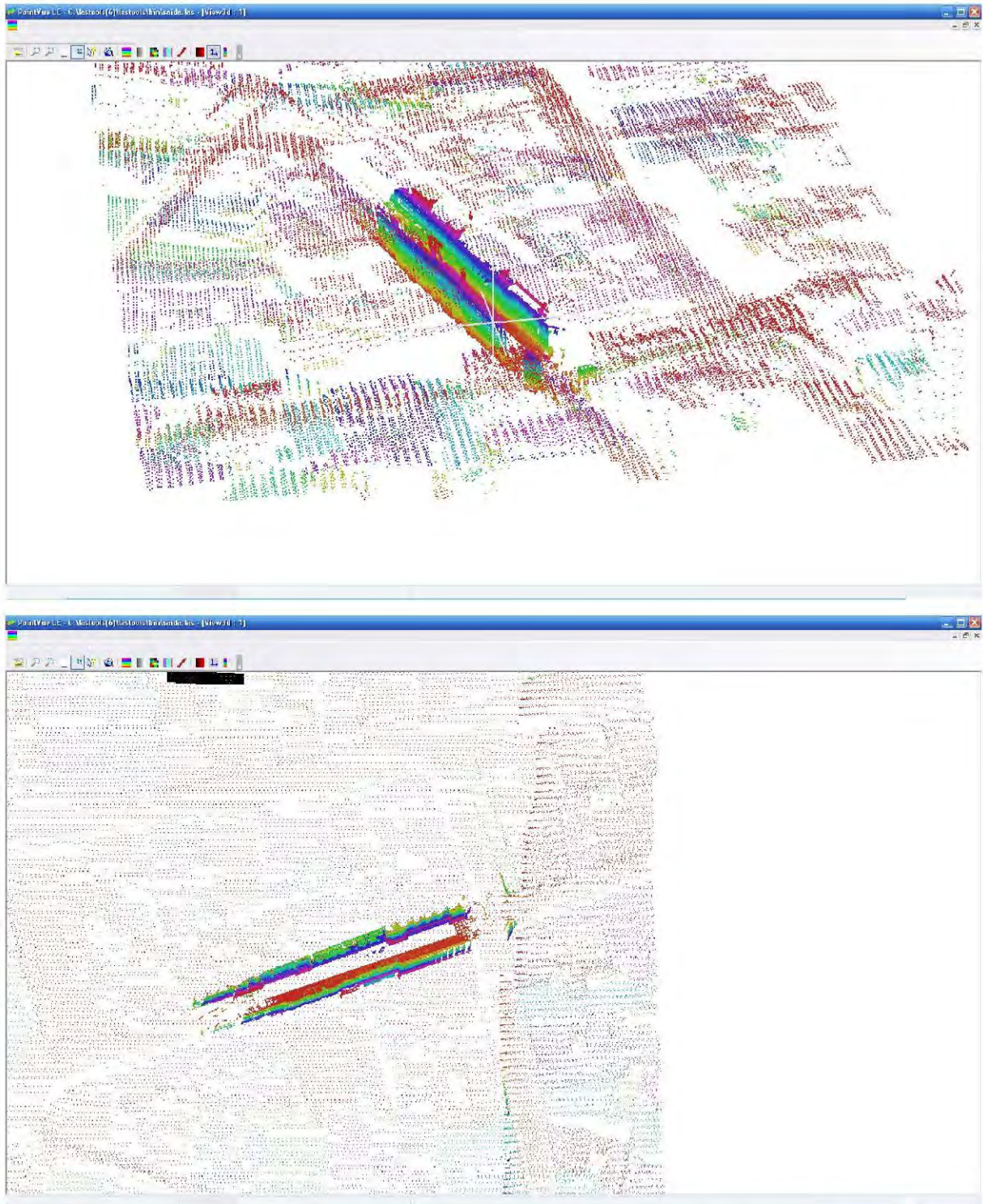


Figura 60 – Visualização em perspectiva e na vertical do resultado da integração da nuvem de pontos do LASER terrestre e aéreo da área teste

Tabela 2 - Parâmetros de transformação entre as nuvens de pontos

Parâmetro	Valor do parâmetro	Desvio-padrão
Rotação X (em radianos)	-113,937159	0.033520
Rotação Y (em radianos)	-53,399004	0.057876
Rotação Z (em radianos)	147,643085	0.030063
E (em metros)	333173,542752	1.606881
N (em metros)	7394976,820650	0.977077
h (em metros)	750,920019	0.815448
Escala	1,016169	0.023773

Conforme os resultados apresentados pode-se perceber que a integração dos pontos foi satisfatória, porém algumas inconsistências podem ser observadas. Os valores de desvio-padrão dos parâmetros de transformação de posição mostram uma precisão abaixo do valor esperado. Isso ocorre devido às diferentes densidades de pontos nas duas nuvens de pontos. A nuvem de pontos do LASER aéreo tem 80000 pontos aproximadamente nessa área e uma densidade de 2,39 pontos por metro quadrado. Já o LASER terrestre tem aproximadamente 19 milhões de pontos e uma densidade variável ao longo das cenas. Desde o principio do trabalho, era de conhecimento que isso poderia acarretar um problema, pois a intenção era georreferenciar a nuvem de pontos do LASER terrestre a partir de parâmetros do LASER aéreo com uma densidade e precisão diferente.

Mesmo com os problemas apresentados, a inspeção visual na nuvem de pontos mostra uma boa coesão entre ambas. Um problema a ser considerado também é a falta de controle de como o levantamento dos dados foi efetuado. Em comparação a área teste 3, próximo tópico, essa é uma situação de levantamento real, onde havia pessoas passando próximas ao equipamento e ocorreu multicaminhamento do pulso LASER. Com a indeterminação de alguns planos devido à alta densidade da nuvem de laser terrestre, pode ter ocorrido dos pontos escolhidos não estejam adequados para serem usados na transformação.

5.3 Área teste 3: Centro Politécnico da UFPR, Curitiba

5.3.1 *Característica da área de estudo*

A área teste localiza-se no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), de Curitiba - PR. Essa área foi escolhida pela disponibilidade da nuvem de pontos de LASER aéreo e a possibilidade de efetuar um levantamento em campo com o LASER terrestre. A Figura 61 mostra uma imagem da área teste.



Figura 61 - Centro Politécnico da UFPR
FONTE: www.googlemaps.com

5.3.2 *Levantamento de dados*

Os dados de LASER aéreo da área teste foram fornecidos pelo Prof. Dr. Daniel Rodrigues dos Santos, do Departamento de Geomática da UFPR. Essa nuvem de pontos foi feita pelo Instituto LACTEC do Paraná. A Figura 62 a seguir mostra a nuvem de pontos do LASER aéreo.

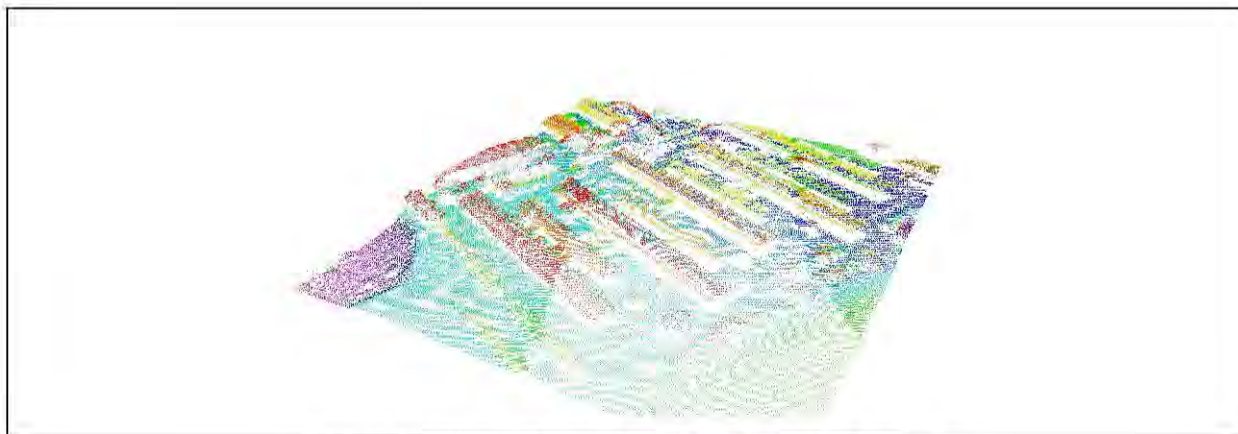


Figura 62 - Nuvem de pontos LASER aéreo da área teste

O levantamento de dados com LASER terrestre foi feito em dezembro de 2010, utilizando um equipamento cedido pelo Departamento de Geologia da UFPR. A idéia inicial era coletar uma nuvem de pontos reunindo diversas cenas que modelassem várias paredes, especialmente quinas das edificações. Porém, no dia programado para o levantamento ocorreram chuvas, inviabilizando o levantamento. No dia seguinte foram coletadas as cenas, mas não na configuração previamente estabelecida devido às condições do tempo e a disponibilidade do equipamento. A Figura 63 mostra a nuvem de pontos coletada.

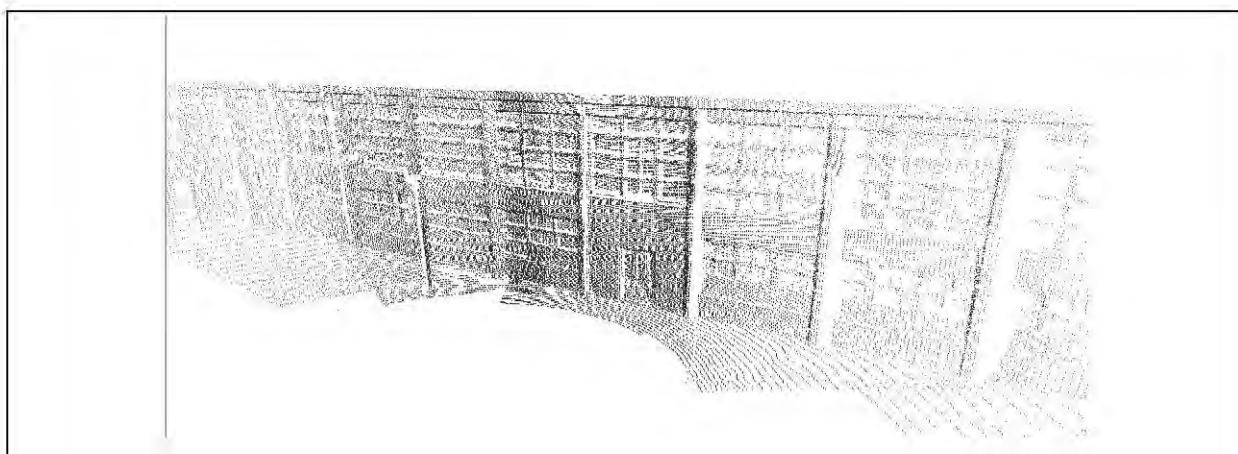


Figura 63 - Nuvem de pontos terrestre da área teste

5.3.3 Testes metodológicos

O primeiro passo para integrar as duas nuvens de pontos foi traçar as estratégias para a verificação de pontos comuns entre as duas nuvens. Como já dito

anteriormente, não é possível saber a priori se um ponto está presente ou não na nuvem de pontos do LASER aéreo e terrestre ao mesmo tempo.

Para determinar pontos que poderiam ser comuns nas duas nuvens pontos, foi aplicado ao algoritmo *convex_hull* na nuvem de pontos do LASER aéreo. O interesse nesse caso não é no contorno da edificação, mas sim nos pontos que definem os segmentos de reta que definem o contorno. A partir das equações das retas desses pontos foram definidos os pontos de intersecção das mesmas.

Após a determinação dos pontos de interesse na nuvem de pontos do LASER aéreo, partiu-se para a extração de planos na nuvem de pontos do LASER terrestre. Foram coletados pontos manualmente por meio do software *Cyclone* para a definição dos planos. Como a densidade dos pontos é alta, optou-se por um limiar de 5 cm para a separação dos planos, diferenciando planos de janelas, colunas, chão e paredes. A Figura 64 ilustra o resultado desse processo, mostrando o plano das paredes (vermelho), das colunas em verde claro, do chão em verde e de uma parede lateral em laranja.

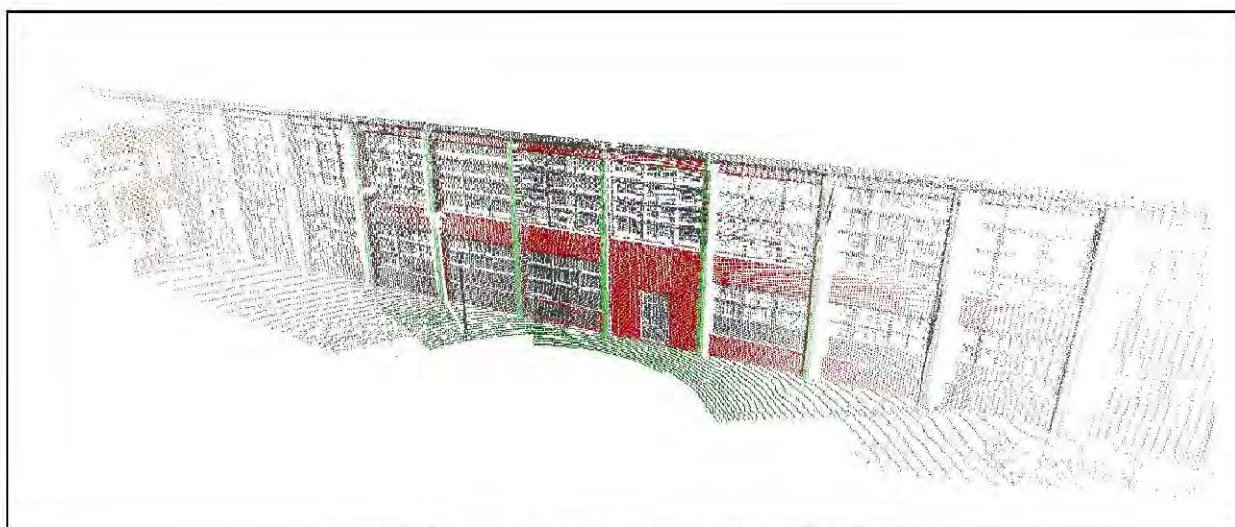


Figura 64 - Nuvem de pontos com os planos em destaque

Utilizando o resultado da intersecção dos planos, foram encontrados 3 pontos correspondentes com o LASER aéreo. Com os pontos escolhidos, realizou-se a obtenção dos parâmetros de transformação entre as nuvens de pontos utilizando a transformação de similaridade. A Tabela 3 a seguir mostra os parâmetros de transformação e o desvio padrão.

Tabela 3 - Parâmetros de transformação entre as nuvens de pontos

Parâmetro	Valor do parâmetro	Desvio-padrão
Rotação X (em radianos)	0,553341	0,002804
Rotação Y (em radianos)	-0,052737	0,006131
Rotação Z (em radianos)	0,111036	0,013127
E (em metros)	677670,487342	0,059906
N (em metros)	7183789,101412	0,068592
h (em metros)	915,478115	0,104128
Escala	1,009331	0,002765

A partir dos parâmetros encontrados, aplicou-se a transformação inversa nos pontos da nuvem terrestre, colocando ambas no mesmo referencial, no caso o geodésico. Em relação área teste 2, pode-se perceber que o desvio-padrão dos pontos foram melhores, ou seja, a correspondência dos pontos encontrados pela intersecção de planos e retas foi mais adequada, mesmo com densidade de pontos diferentes. A Figura 65 a seguir mostra o resultado da integração.

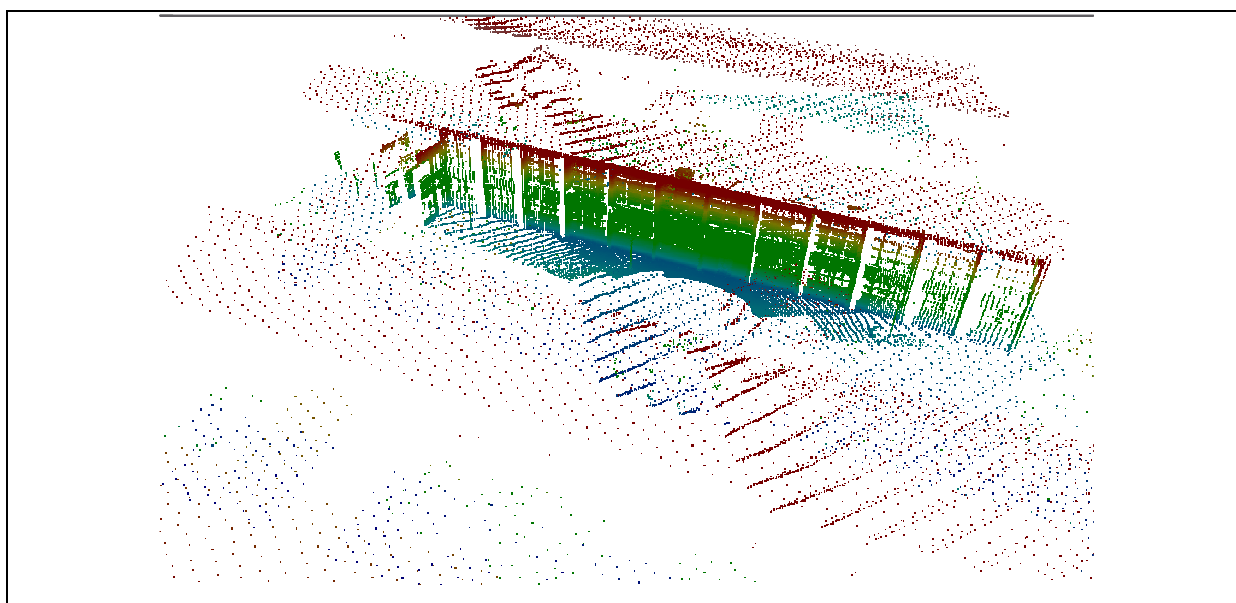


Figura 65 - Resultado da integração das nuvens de pontos

Após a integração da nuvem de pontos, foi feita a rotulação dos pontos a partir do conceito estabelecido para as parcelas espaciais. Como a situação não é a ideal, foram estabelecidos dois cilindros para o teste metodológico, dividindo a região da área de

estudo em duas parcelas espaciais cilíndricas. A intenção neste caso foi simular dois lotes adjacentes, dividindo a nuvem de pontos. O raio utilizado para o cilindro foi de 11,5 metros, oriundo de uma testada de 23 metros. A profundidade utilizada foi de 20 metros. Os centros geradores dos cilindros são definidos pelos pontos da Tabela 4.

Tabela 4 - Paramtros dos cilindros utilizados na área teste 3

Cilindro	E(m)	N(m)	h(m)	Raio(m)	Profundidade(m)
Cilindro 1	677658,26	7183788,28	913,42	11,5	20
Cilindro 2	677679,35	7183778,44	913,44	11,5	20

A Figura 66 mostra o resultado da rotulação dos pontos em duas parcelas cilíndricas em vermelho e em azul. Nesse caso, utilizou-se o aplicativo *LASEdit* para a visualização das nuvens rotuladas.

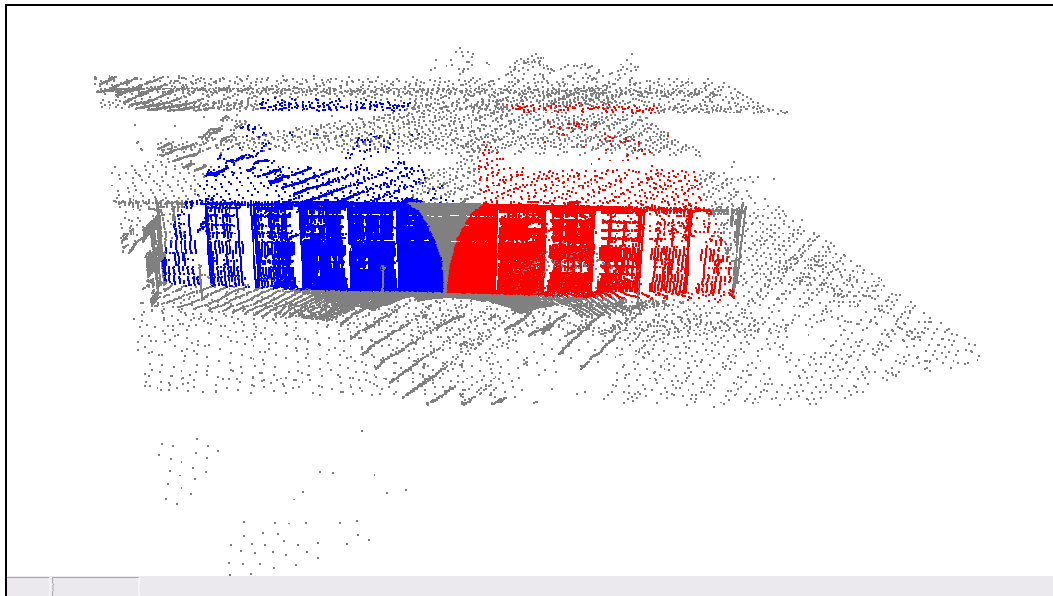


Figura 66 - Resultado do processo de rotulação dos pontos

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A incorporação da informação tridimensional ao Cadastro não é uma tarefa trivial e, portanto, exige uma cuidadosa análise sobre quais os objetivos que se procuram alcançar e as finalidades dessa informação. Não basta simplesmente acrescentar um dado sobre a altimetria de parcelas ou edificações. É necessário que os objetos tridimensionais estejam inseridos dentro de um modelo de Cadastro bem definido, onde sistemas de referência utilizados estejam claros.

Esse trabalho propôs-se trabalhar com a informação tridimensional mesmo em situações onde o modelo de Cadastro não existe ou ainda não contempla a tridimensionalidade dos objetos, principalmente no contexto urbano. Nesse aspecto, os resultados apresentados foram satisfatórios, incorporando de fato a informação tridimensional às parcelas existentes no banco de dados, já que o algoritmo classifica a nuvem de pontos com os atributos de interesse, principalmente a inscrição cadastral. Embora o Brasil ainda não possua um modelo de Cadastro urbano bem definido, as diretrizes gerais de Cadastro do Ministério das Cidades lançadas em 2009 norteiam os princípios básicos da organização do Cadastro e suas informações básicas, mas ainda não contempla de modo claro o uso da informação tridimensional para o Cadastro urbano. Ressalta-se, contudo, que essa situação não é exclusiva do Brasil, pois encontrar um modelo de Cadastro para as mais diversas situações não é tarefa das mais triviais. Portanto, os resultados desse trabalho contribuem para a discussão do modelo básico de Cadastro, em discussão de grupos de trabalho da FIG (Comissões 3 e 7).

O uso do cilindro como parcela espacial é uma contribuição importante para o Cadastro, pois abre um leque de possibilidades não apenas para representação de objetos no espaço, mas também novas possibilidades de relacionamentos topológicos. A característica do cilindro proposto nesse trabalho faz uso de informações presentes no Cadastro ou que podem ser adquiridos em campo, e estabelece com base no valor de testada os limites de uso parcela espacial acima e abaixo da superfície. É evidente que o limite de uso da parcela acima e\ou abaixo da superfície não depende apenas de um critério,

mas utilizar o valor da testada pode contribuir para o estudo de impacto do uso da parcela espacial.

Outro aspecto importante a se ressaltar é a questão dos limites da parcela. O modelo proposto nesse trabalho não é um modelo para o Cadastro Legal ou Registro de Imóveis, pois para esses, todos os limites devem ser materializados. Mesmos os poliedros utilizados na literatura não possuem seus limites materializados, o que também não ocorre com o cilindro. A única vantagem do cilindro nesse aspecto, é que como ele é um sólido de revolução, sua face tangencia os limites planimétricos da parcela.

O modelo matemático proposto para o uso do cilindro e as condições para seu uso são consistentes, demonstrando que matematicamente é possível o uso do cilindro quadrático de revolução como parcela espacial. Os procedimentos de rotulação dos pontos dependem de parâmetros mínimos para sua execução e os pontos levantados em campo para o procedimento são de fácil acesso, não sendo necessário adentrar a parcela para levantar os pontos limites.

As verificações topológicas dos objetos 3D dentro do cilindro também são possíveis, e como demonstradas matematicamente no trabalho, independem do formato dos objetos, já que o modelo trabalha exclusivamente com pontos, sejam eles oriundos das nuvens de pontos ou vértices de sólidos como tetraedro, poliedro e outros. O procedimento de rotulação também é satisfatório, sendo possível não apenas utilizar informações do banco de dados como também incluí-las.

O conceito RPC abre uma excelente oportunidade para o uso da nuvem de pontos para diversas aplicações. Nesse trabalho, o atributo de interesse utilizado foi a inscrição cadastral, mas muitos outros podem ser incorporados. A visualização da nuvem de pontos ainda é uma questão pertinente, porém com o uso da biblioteca *LAStools* e softwares comerciais é possível visualizar os pontos em formato LAS exibindo alguns atributos inclusive.

Os resultados desse trabalho também corroboram as premissas de que os sensores de varredura a LASER são importantes meios para a aquisição dos dados tridimensionais para o Cadastro, mostrando que a integração das nuvens de pontos de LASER aéreo e terrestre modelam de maneira eficiente os objetos urbanos. Os procedimentos para a integração das nuvens de pontos também foram satisfatórios, principalmente em condições não ideais como foi demonstrado na área teste 2. Mais uma

vez ressalta-se que nesse trabalho utilizaram-se apenas as nuvens de pontos e feições extraídas a partir das mesmas, sem o auxílio de imagens ou arquivos vetoriais, o que aumenta ainda mais a importância dos resultados em relação aos procedimentos mais usuais da literatura.

Os modelos propostos nesse trabalho servem de base para trabalhos futuros que tratam do uso da informação tridimensional no Cadastro, principalmente em trabalhos correlatos dentro do Grupo de Pesquisa em Aquisição e Representação de Dados Espaciais (GARDE) da FCT/ UNESP. Com o uso da informação tridimensional no Cadastro é possível tratar temporalmente alguns dados sobre as parcelas e as edificações. Um dos objetivos da Comissão IV da *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS) é o uso da informação 3D para o gerenciamento de áreas de risco e desastres. Informações como variação na posição das edificações ou do terreno ao longo do tempo permite ações de prevenção e controle, evitando problemas futuros.

Para a continuidade nos estudos dos temas aqui tratados e melhoria dos resultados, algumas recomendações são dadas. A primeira delas trata do uso da nuvem de pontos do LASER aéreo. Todos os dados fornecidos foram informações do último pulso LASER, o que inviabilizou alguns tratamentos conhecidos na literatura para a eliminação da vegetação. Com as informações do primeiro e último pulso, seria possível obter uma melhor qualidade na integração das nuvens de pontos.

Quanto à aquisição da nuvem de pontos do LASER terrestre, o ideal é que ela seja menos densa, pois podem ocorrer problemas de alocação de memória para os algoritmos e também porque há a intenção de não realizar uma reconstrução foto-realística no caso do Cadastro Imobiliário. O ideal é que o levantamento das extremidades da edificação tenha uma densidade de pontos maior, para melhorar a integração das nuvens de pontos. Quando o levantamento for efetuado em plataformas móveis ou com dispositivos de georreferenciamento, a densidade pode ser padrão para todo o levantamento. Para verificar a qualidade da integração da nuvem de pontos, é interessante levantar alvos que possam ser georreferenciados para comparar com os resultados obtidos de pontos gerados pela intersecção de retas e planos.

Uma importante recomendação é testar o uso do cilindro como estrutura de armazenamento da parcela espacial em banco de dados e a possível implementação das consultas topológicas. Com isso, será possível contrapor os resultados com estruturas

propostas por Stoter e Oosterom(2006), como o poliedro. Nesse sentido, existem trabalhos correlatos a esse sendo desenvolvidos para a organização da informação tridimensional do Cadastro em Banco de Dados.

Para encontrar o ângulo de rotação para a determinação do sistema de coordenadas local para cada parcela espacial, pode-se fazer uso da regressão linear de todos os pontos de uma face de quadra. Com isso, os resultados podem ser mais satisfatórios do que adotando pontos muito próximos ou que não estejam em um alinhamento favorável.

Uma alternativa interessante é utilizar os cilindros elipsticos, principalmente quando as parcelas contiverem edifícios, pois nesses casos o cilindro possui limitações já que ele usa o valor da testada como parâmetro limítrofe e os edifícios excedem esse valor. Também é possível usar cilindros verticais para compor um estrutura geométrica apropriada. A aquisição dos parâmetros mesmos nesses casos é melhor do que com a utilização de poliedros por exemplo.

7 REFERENCIAS

ACKERMANN ,F. Airborne LASER scanning—present status and future expectations. *ISPRS J. Photogramm. Rem. Sens.* 54 2/3 (1999), pp. 64–67.

AMORIM, A., SOUZA, G. H. B., DALAQUA, R. R. Uma metodologia alternativa para a otimização da entrada de dados em sistemas cadastrais. *Revista Brasileira de Cartografia.* , v.5, p.47 - 54, 2004.

AMORIM, A., SOUZA, G. H. B., DALAQUA, R. R., OLIVEIRA, R. F. Q. Utilização de formulários para leitura óptica na informatização de recadastramentos e levantamentos censitários.. *Revista Eletrônica Memórias de Geoinfo.* ISSN-1028-8961. Havana - Cuba.: , v.VI, p.1 - 13, 2003.

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.

BESL, P.J.; MCKAY, N.D., 1992. A method for registration of 3-D shape, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.14, No. 2, pp. 239-256.

BILLEN, R; ZLATANOVA, S. 3D spatial relationships model: a useful concept for 3D cadastre?. *Computers, Environment and Urban Systems*, Volume 27, Number 4, July 2003 , pp. 411-425(15).

BÖHM, J.; HAALA, N., 2005. Efficient Integration of Aerial and Terrestrial LASER Data for Virtual City Modeling Using LASERMAPS. *IAPRS* Vol. 36 Part 3/W19 ISPRS Workshop LASER scanning, pp.192-197.

BRANDALIZE, M. C. B.; PHILIPS, J. Referências para a Técnica 'Airborne LASER Scanning' ALS: Principais Autores e Trabalhos Publicados por Área de Aplicação. In *Geodésia online* 03/2004. Disponível em <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/2004/03.1/BP-2004.htm>. Acesso em 06 de novembro de 2006.

CARNEIRO, A. F. T., LOCH, C. Análise do Cadastro imobiliário urbano de algumas cidades brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2000, Florianópolis-SC. *Anais do COBRAC 2000* – IV Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário.

CARNEIRO, A.. *Integração entre Cadastro Imobiliário e Registro de Imóveis*. In. Seminário de Cadastro Territorial Multifinalitário. 2005. Brasília, Ministério das Cidades.

CASTAGNETTO, J. et al. *Professional php programming*. Wrox. Tradução de L. Pareschi et al. São Paulo: Makron. 770p. 2001

CGAL Project. *CGAL User and Reference Manual*. CGAL Editorial Board, 3.5 edition, 2009

CHEN, Y.; MEDIONI, G., 1992. Object Modeling by Registration of Multiple Range Images, *Image and Vision Computing*, Vol. 10, No. 3, pp. 145-155.

COUGO, P. *Modelagem conceitual e projeto de banco de dados*. Rio de Janeiro, Editora Campus, 1997, 284 p.

CRAMER, M. STALLMANN, D. On the use of GPS/inertial Exterior Orientation Parameters in Airborne Photogrammetry. *OEEPE – Integrated Sensor Orientation. Test Report and Workshop Proceedings*. Frankfurt, Kartographie und Geodaise, 2002.

DALAQUA, R. R. A Informatização do Sistema Cadastral de Uma Prefeitura Utilizando um Software Gratuito. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA. Macaé, RJ, Brasil. 2005. *Anais em CD-ROM*, Sociedade Brasileira de Cartografia, 2005.

DALE, P, F, & MCLAUGHLIN, J, D. *Land information management, an introduction with special reference to cadastral problems in third world countries*, Oxford, Oxford University Press, 1990, 259p

DATE, C. J.: *Introdução a sistemas de bancos de dados*. Rio de Janeiro : Campus, 2000. 803 p.

DÜTSCHLER, P. Cadastre 2014 in Practice – Activities of the Swiss Private Sector. In: FIG XXII International Congress. Washington, DC, EUA, 2002. *Anais eletrônicos*. Disponível em: <http://www.fig.net>. Acessado em 10 de Dezembro de 2005.

EKBERG F. *An approach for representing complex 3D objects in GIS applied to 3D properties*. Thesis for Master of Geomatics, Department of Technology and Built Environment, University of Gävle, Sweden; 2007.

ELMASRI, R., NAVATHE, S. B. *Sistema de Banco de Dados – Fundamentos e Aplicações*. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2002.

FILIN, S. BORKA, A.; DOYTSHER, Y. From 2D to 3D Land Parcelation: Fusion of LiDAR Data and Cadastral Maps. *Surveying and Land Information Science*, Vol. 68, No. 2, 2008, pp. 81-91.

FILIN, S; KULAKOV, Y; DOYTSHER, Y. Application of Airborne LASER Technology to 3D Cadastre. FIG Working Week 2005 and GSDI-8. *Anais Eletrônicos*. Cayro, Egypt, 2005.

GEOKOSMOS Mapping in real time Disponível em <http://www.geokosmos.com/technologies/>. Acessado em 06 de novembro de 2006.

HEIPKE, C. Digital Photogrammetric Workstations - A review of the state-of-the-art for topographic applications, *GIM International*, (15) 4, 2004 pp.35-37.

HEUSER, C. A.: *Projeto de banco de dados*. Porto Alegre : Sagra Luzzatto, 2001., 204 p.

ISENBURG, M. *LAStools: converting, filtering, viewing, processing, and compressing LIDAR data*. Disponível em <http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/>. Acesso em 01/01/2011.

KAUFMANN, J. Assesment of the Core Cadastral Domain Model from a Cadastre 2014 point of view. In: Workshop on Standardization in the Cadastral Domain. Bamberg, Alemanha, 2004. Anais eletrônicos. Disponível em: <http://www.fig.net>. Acessado em 10 de Dezembro de 2005.

KAUFMANN, J. Cadastre as the Basic Tool Land Administration – Need for a Big Leap Forward. In: FIG WORKING WEEK 2003. Paris, França, 2003. Anais eletrônicos. Paris, FIG, 2003.

KAUFMANN, J.; STEUDLER, D. Cadastre 2014: A Vision for a Future Cadastral System. 1998 (Rheinfall, Switzerland: FIG).

KRAUS, K. Photogrammetry – Geometry from Images and LASER Scans. de Gruyter, 2nd edition, Vienna, Austria, 2007.

KROENKE, D. M., Banco de Dados - Fundamentos, Projeto e Implantação. Rio de Janeiro, RJ. Editora LTC, 1999.

LARSSON, G. Land registration and cadastral systems. London: Longman Group UK. 1991.

LAUDON C. K; LAUDON J. P. Information systems and the internet. Tradução de D. C. de Alencar. Rio de Janeiro: LTC. 1999

LEMMEN, C.; VAN OOSTEROM, P.; THOMPSON, R.; HESPANHA, J.; UITERMARK, H. The Modelling of Spatial Units (Parcels) in the Land Administration Domain Model (LADM). FIG Congress 2010 Facing the Challenges – Building the Capacity. Anais Eletrônicos. Sydney, Australia, 11-16 April 2010.

LIMA, O. P. Proposta metodológica para o uso do Cadastro Técnico Multifinalitário na Avaliação de Impactos Ambientais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, SC. p. 147. 1999.

LOCH, C.; Importância do cadastro técnico multifinalitário para instrumentação de prefeituras. In: COMBRAFT, 1995, CACHOEIRA DO SUL - RS.

LOCH, C. A Realidade do Cadastro Técnico Urbano No Brasil. Anais Eletrônicos. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 2007, INPE, p. 5357-5364.

MINISTERIO DAS CIDADES. Portaria 511, de 7 de Dezembro de 2009.

MOLEN, P. v.d Institutional aspects of 3D cadastres Computers, Environment and Urban Systems. Volume 27, Issue 4, July 2003, Pages 383-394.

MUNIZ, D. P. et al., Implantação do Cadastro Técnico Multifinalitário em uma Área Teste. 1996. 80p. Relatório de Trabalho de Graduação - Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Presidente Prudente, SP.

NEBIKER, S.; BLEISCH, S.; CHRISTEN, M. “Rich point clouds in virtual globes – A new paradigm in city modeling?,” Computers, Environment and Urban Systems. Elsevier. . ISSN: 0198- 9715. 2010

OOSTEROM, P. et al. Aspects of a 4D Cadastre: A First Exploration. XXIII FIG Congress. Anais Eletrônicos. Munich. Germany, 2006.

PHILIPS, J.; Os dez mandamentos para um Cadastro moderno de bens imobiliários. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2. Florianópolis, 1996. Anais.p .170 -183.

_____. Breve histórico do cadastro de imóveis no mundo . Boletim do IRIB em Revista, São Paulo, v. 317, p. 14-19, 2004.

POTSIOU, C. A.; IOANNIDIS, C. Low Cost Technologies and Techniques in Implementing Cadastral and Spatial Information Management Infrastructure. In: FIG REGIONAL CONFERENCE, 2, 2003, Marrakech, Marrocos. Anais eletrônicos. Disponível em: <http://www.fig.net>. Acessado em 09 de Dezembro de 2005.

RAVADA, S.; KAZAR, B. M.; KOTHURI, R. Query processing in 3d spatial databases: Experiences with oracle spatial 11g. In J. Lee and S. Zlatanova, editors, 3D Geo-Information Sciences, pages 153–173. Springer, 2009.

RUSINKIEWICZ, S.; LEVOY, M. Efficient variants of the icp algorithm. Proceedings of the International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling (3DIM), May (2001), pp. 145–152.

RUTZINGER, M., OUDE ELBERINK, S., PU, S. AND VOSELMAN, G., 2009. Automatic Extraction of vertical walls from mobile and airborne LASER scanning data. In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences/LASER09, Vol. 38, pp. 7–11.

SHOSHANI, U.; BENHAMU, M.; GOSHEN, E.; DENEKAMP, S.; BAR, R. A multilayers 3D Cadastre in Israel: a research and development project recommendations. FIG Working Week 2005 and GSDI-8. Anais Eletrônicos. Cayro, Egypt, 2005.

SILVA, M. A.; STUBKJÆR, E. A review of methodologies used in research on cadastral development. Computers, Environment and Urban Systems, Londres, n. 26, p.403-423, 2002.

SILVA, R., Banco de Dados Geográfico: uma análise das arquiteturas dual (SPRING) e integradas (ORACLE SPATIAL). São Paulo, SP, 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

STOTER, J. E.; OOSTEROM, P. J. M. Technological aspects of a full 3D cadastral registration. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 19, n. 6, 2005. p 669 – 696.

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

TOMMASELLI, A. M. G. Um Estudo sobre as Técnicas de Varredura a LASER e Fotogrametria para Levantamentos 3D a curta Distância. In *Geodésia online* 04.1/2003.

TUNC, E.; KARSLI, F.; AYHAN, A. 3D city reconstruction by different technologies to manage and reorganize the current situation XXTH ISPRS CONGRESS, 2004, Istanbul, Turkey, PS ICWG II/IV Change Detection and Updating for Geodatabase. *Anais Eletrônicos.*, 2004.

UCHOA, H. N. et al. Análise do módulo PostGIS (OpenGIS®) para armazenamento e tratamento de dados geográficos com alta performance e baixo custo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 22, 2005, Macaé, RJ, Brasil. *Anais em CD-ROM*. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Cartografia, 2005.

UNITED NATIONS. *Report of the Ad Hoc Group of Experts on Cadastral Surveying and Land Informations Systems*. New York, 1985.

VAZ, J. C.; *Geoprocessamento*. DICAS. 1997. Disponível em <<http://federativo.bndes.gov.br>> Acessado em: 19 de Dezembro de 2005.

WILLIAMSON, I. P. The Evolution of Modern Cadastres. New Technology for a New Century Conference, FWW2001 *CD-ROM* Seoul, South Korea, 2001.

WILLIAMSON, I. P. The Cadastral “Tool Box” – A Framework for Reform. In: FIG INTERNATIONAL CONGRESS, 22, 2002, Washington, DC, EUA. *Anais eletrônicos*. Disponível em: <http://www.fig.net>. Acessado em 10 de Dezembro de 2005.

ŽIŪRIENĖ, R.; MEŠLIŪTĖ, R.; MAKUTĖNIENĖ, D. Development of 3D city model applying cadastral information. *Geodesy and Cartography*, 2006, Vol XXXII, No 2 51 – 56.