

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N° 68/8: 1467-1484
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA REPRESENTAR OBJETOS TERRITORIAIS 3D

A Methodological Approach for Representation of 3D Territorial Objects

Nathan Damas Antonio & Alzir Felipe B. Antunes

¹Universidade Federal do Paraná – UFPR
Setor de Ciências da Terra – Departamento de Geomática / Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Caixa Postal 19001, CEP: 81531-990, Curitiba/Paraná, Brasil
{nathandamas, felipe}@ufpr.br

Recebido em 10 de Maio, 2016/ Aceito em 1 de Agosto, 2016
Received on May 10, 2016/ Accepted on August 1, 2016

RESUMO

Os temas Cadastro 3D e Propriedade 3D tem sido pesquisado durante a última década em diversos lugares do mundo, porém no Brasil as pesquisas começaram recentemente. Essa pesquisa tem o objetivo de apresentar uma abordagem metodológica para representar Unidades de Propriedade 3D em Sistemas de Informações Territoriais (SIT). Isso será atingido utilizando o software ArcGIS. Com o intuito de se obter conhecimento cristalino sobre as propriedades 3D e o direito de propriedade, um estudo envolvendo suas definições foi realizado. A metodologia utilizada baseou-se na interoperabilidade dos softwares ArcGIS e Trimble SketchUP considerando o formato de dados COLLADA. Este trabalho enfocou na estrutura Multipatch como sendo um método de para representar objetos 3D em sistemas de informações territoriais. A estrutura de representação geográfica Multipatch utiliza o método de modelagem de sólidos representação por borda (B-Rep). Os resultados mostram que a estrutura Multipatch não é a solução para todos os problemas dentro dos sistemas de informações territoriais 3D, porém é solução para alguns dos problemas e apresenta um grande potencial. Finalmente foi observado que ainda é necessário a realização de mais pesquisas dentro do campo dos sistemas de informações territoriais 3D, principalmente no desenvolvimento da capacidade de análises.

Palavras chaves: Cadastro 3D, Propriedade 3D, Sistemas de Informação Territorial 3D, Multipatch.

ABSTRACT

The themes 3D Cadastre and 3D Property has been researched during the last decades in many places all around the world, but in Brazil the research about this theme has begun recently. This paper has the objective of present a methodological approach for representation of 3D property unities inside land information system (LIS). This will be achieved using the ArcGIS software. In order to obtain clear overview of 3D Property and the right to property, a literature study of their definitions was carried out. The methodology used was based on the interoperability of Trimble SketchUP and ArcGIS software considering the COLLADA data format. This work focused on Multipatch structure as a method to represent 3D objects in land information systems. The Multipatch geographical representation structure uses the method of solid modeling representation by boundaries (B-Rep). The results shows that Multipatch is not an answer to all the problems within 3D LIS, but is a solution to some of the problems and has a great potential. Finally, was observed that it still requires a lot of research in the field 3D land information system, especially in development of spatial analysis capabilities.

Keywords: 3D Cadastre, 3D Property, Land Information Systems 3D, Multipatch.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a exploração da terra nas sociedades modernas tem se tornado cada vez mais intensa com o intuito de satisfazer às necessidades tanto do setor público como do setor privado. A urbanização, o desenvolvimento tecnológico, o aumento das necessidades da sociedade, a superpopulação, entre outros, tem levado a uma exploração intensa do solo e da terra, o que colaborou para o aumento da necessidade de construções acima e abaixo do nível da superfície.

Essa tendência mudou a forma como o ser humano se relaciona com a terra, e serviu de inspiração para as comunidades técnicas e científicas buscarem respostas envolvendo soluções para lidarem com esse novo paradigma envolvendo situações em que as propriedades não se limitam somente mais à superfície, ou seja, as propriedades 3D. Uma vez que encontramos uma solução para as propriedades 3D, e desvendarmos o problema envolvendo o princípio registral de espacialidade, o Cadastro 3D aumentará a possibilidade do uso dinâmico dessas propriedades e construções, principalmente em áreas urbanas.

Em vista disso, e com intuito de colaborar para discussões nesse campo de conhecimento, o problema abordado por esse trabalho é: Como as Unidades de Propriedade 3D podem ser representadas em softwares de sistemas de informações territoriais, e que modelos de estruturas topológicas de representação 3D têm sido sugeridos na literatura?

Entre os diversos modelos de representação de estruturas geométricas 3D apresentados na literatura (BRUGMAN, 2010; ZLATANOVA; RAHMAN & SHI, 2002; ZLATANOVA; RAHMAN & SHI, 2004), está o método de representação por bordas (boundary representation - B-Rep), que foi aqui utilizado e tem por característica o armazenamento de estruturas sem ambiguidades, como descrito por Zeid (1991). Esta pesquisa enfatizará o formato Multipatch, existente no software ArcGIS. O objetivo geral deste trabalho consiste em apresentar como as Unidades de Propriedade 3D podem ser representadas em um Sistema de Informações Territoriais (SIT) e

propor sua representação em um banco de dados geográficos.

2. O CADASTRO 3D E A PROPRIEDADE 3D

A temática do Cadastro 3D começou a ser pesquisada no início dos anos 2000, na Holanda, na Universidade de Delft, e com o passar dos anos outras universidades e centros de pesquisas ao redor do mundo começaram suas pesquisas nesse campo.

O Cadastro em sua configuração tradicional é baseado em uma divisão de terras por parcelas bidimensionais e os seus direitos e limites legais são registrados junto a essa parcela. Entretanto, de acordo com Stoter e Ploeger (2003) na maioria dos países a doutrina tradicional legal representa os direitos de propriedade como um cone que inicia no centro da Terra e vai até os céus, como expressado na máxima latina “*cujus est solum ejus est usque ad coelum et ad inferos*” (o proprietário da terra detém tudo dos céus até o núcleo da Terra).

De acordo com Souza e Amorim (2015), o direito de propriedade e a representação cartográfica são os problemas fundamentais envolvidos em edifícios. Como a parcela é representada bidimensionalmente, é praticamente impossível representar os diversos serviços que se encontram em um prédio comercial, por exemplo. Além disso, existem os direitos de propriedade que incidem sobre o imóvel, e as leis de condomínio, que preservam o uso de todos os proprietários do imóvel, além dos direitos de propriedade sobre o apartamento, o que indica que o sistema de registro de imóveis já tem uma abordagem tridimensional (STOTER & VAN OOSTEROM, 2005).

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

2.1 A Propriedade 3D

A Propriedade 3D é considerada um tipo especial de Propriedade, diferente da Propriedade 2D tradicional. O caso mais comum é aquele em que todo o espaço contido dentro da parcela 2D pertence e pode ser usado pelo seu proprietário, porém a possibilidade de garantir direitos específicos de uma parte desse espaço dentro da propriedade 2D existe e pode tomar diferentes formas. Diferentes tipos direitos de Propriedade 3D têm existido por um longo período de tempo, mas a necessidade, bem como seu uso, aumentou com o passar do tempo (SANDBERG, 2003).

De acordo com Paulsson (2007), para se definir o significado do termo Propriedade 3D é preciso compreender o conceito de propriedade imobiliária no geral. O autor discorre, em seu trabalho, acerca da dificuldade de definição de tal terminologia e sobre a falta de consenso no meio acadêmico para o que se entende sobre tal conceito.

Paulsson (2007), descreveu em sua obra dois tipos de Propriedade 3D que podem ser encontradas. A Propriedade 3D Independente e a Propriedade 3D Condomínio. A primeira é considerada o tipo ‘puro’ de delimitação tridimensional do espaço, enquanto a segunda caracteriza por um conjunto de apartamentos geralmente conectadas a um prédio ou construção, em que uma associação de moradores cuida das áreas comuns. Existem alguns termos específicos para as formas desse tipo de propriedade, como por exemplo, “stratum” e “strata title”, para o caso de Propriedade 3D Independente e para o tipo de propriedade Condomínio, respectivamente.

Foram encontradas duas terminologias principais para tal fato, são elas: ‘Propriedade 3D’ e ‘Cadastro 3D’. De acordo com Paasch e Paulsson (2012) o termo ‘Cadastro 3D’, algumas vezes é usado para descrever o sistema cadastral atual da região, ou o sistema de registro das propriedades, em que o cadastro se apoia, mas também, é usado como um termo geral para propriedades tridimensionais. O termo ‘Cadastro 3D’ é usado de forma mais ampla pela comunidade internacional e foca geralmente em aspectos técnicos de tal fenômeno.

Focando no aspecto tridimensional da Propriedade 3D, um objeto de três dimensões

pode ser definido como algo que possui um comprimento em altura, largura e profundidade. Entretanto, isso não significa, por exemplo, que as propriedades 2D, são planas e somente incluem a superfície da parcela. Em diversos sistemas jurídicos, são considerados que as propriedades bidimensionais possuem uma extensão em três dimensões e, em teoria, se estende indefinidamente para cima, até os céus, e para baixo, até o centro da terra (PAASCH & PAULSSON, 2012). A Figura 1 ilustra o aspecto tridimensional de uma Propriedade 3D não é tanto a extensão da propriedade, mas sim a sua delimitação.

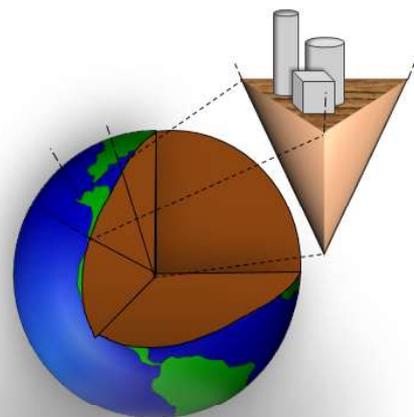


Fig. 1 - Extensão do Direito de Propriedade até o centro da Terra.

A Propriedade 3D é delimitada tridimensionalmente, ou seja, possui limites em seu plano horizontal e vertical. Os limites que o proprietário tem que respeitar são conhecidos tanto em área, quanto em altura. A propriedade 2D é delimitada somente no plano horizontal, em outras palavras, a propriedade 2D tem seus limites demarcados apenas no plano da superfície terrestre (Figura 2).

As Propriedades 2D são tradicionalmente registradas por suas coordenadas ‘x’ e ‘y’, e as propriedades 3D por suas coordenadas ‘x’, ‘y’ e ‘z’. Para Paasch e Paulsson (2012), uma definição de Propriedade 3D que focasse nos aspectos de delimitação poderia ser, “propriedade delimitada horizontalmente e verticalmente”, por exemplo, em comprimento, largura e também em altura e/ou em profundidade.

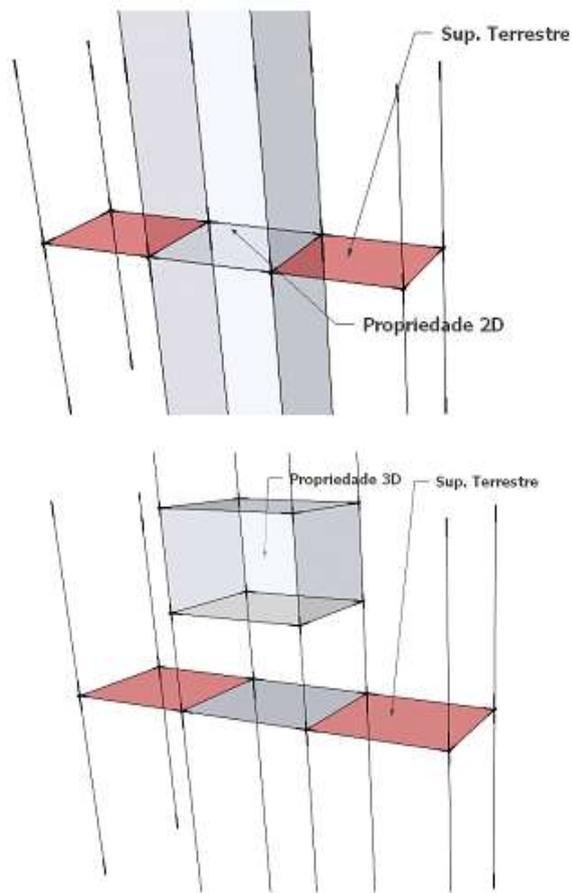


Fig. 2 - A Propriedade 2D (acima) e a Propriedade 3D (abaixo) delimitada.

2.2 O Cadastro e a Parcela 3D no Brasil

No Brasil os recursos mais avançados e modernos de levantamentos, processamento e análise de dados espaciais não são refletidos na implantação de sistemas de informações territoriais eficientes (SANTOS, *et. al.*, 2013). Uma aproximação tímida com os conceitos e princípios internacionais do Cadastro se deu a partir da Lei 10.267/2001 e com a Portaria nº 511/2009 do Ministério das Cidades, que propõe diretrizes para a implementação de Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros (SANTOS, *et. al.*, 2013).

Um dos conceitos preconizados pelo Cadastro Territorial Multifinalitário, é o conceito de Parcela, que é definido como “uma porção do território com condições homogêneas de domínio”, bem como, “a menor unidade do cadastro”, entretanto no Brasil observa-se uma discrepância entre as situações que ocorrem na prática e a abordagem teórico-conceitual que é dada a parcela.

A proposta da diretriz nº 511/2009 aproximou-se um pouco mais da abordagem teórico-conceitual que é a dada a parcela, no contexto internacional, quando colocou como uma de suas diretrizes que o CTM deve ser modelado com base em um sistema de referência único, e com cada parcela tendo um identificador único e estável.

A parcela é considerada a menor unidade básica do Cadastro, e em sua definição mais difundida estabelece que essa unidade possui condições de domínio homogêneas em toda sua extensão. Porém, essa definição pode ser flexível e adaptar-se aos diversos sistemas cadastrais, já que cada país possui um sistema que reflete as respectivas características. Segundo Carneiro, Erba e Augusto (2012), a parcela é uma porção do território que se pode exercer algum tipo de direito e essa porção do território corresponde às coisas imóveis definidas na maioria dos códigos civis dos países.

O código civil brasileiro define o imóvel, em seu artigo 79: “são bens imóveis o solo e tudo quanto se lhe incorporar natural ou artificialmente”; cuja espacialidade é denotada no artigo 1.229: “A propriedade do solo abrange a do espaço aéreo e subsolo correspondentes, em altura e profundidade úteis ao seu exercício, não podendo o proprietário opor-se a atividades que sejam realizadas, por terceiros, a uma altura ou profundidade tais, que não tenha ele interesse legítimo em impedi-las.”

Como pode ser entendido pelo exposto anteriormente, e também como foi colocado por Carneiro, Erba e Augusto (2012), a definição legal de propriedade imobiliária exige uma abordagem em três dimensões. Desde os primórdios, o direito de propriedade, possui uma conotação 3D, porém seu alcance sempre foi descrito por meio de elemento 2D, devido a limitações tecnológicas ou a indevida importância dada a ele. Entretanto, segundo os mesmos autores, a escassez territorial e a complexidade que envolve o seu ordenamento aponta para uma necessidade de também considerar os dados de sua volumetria.

O modelo Cadastro 2014 (KAUFMANN & STEUDLER, 2001), proposto pela Federação Internacional dos Geômetras (FIG) definiu o conceito de Parcela e introduziu o conceito de Objeto Territorial. A Parcela é a porção de terra

com limites definidos, sobre a qual se aplica o direito de propriedade a um indivíduo ou pessoa jurídica. O Objeto Territorial é a porção de terra com condições homogêneas em seus limites; os objetos territoriais, ainda, podem ser divididos em duas categorias: Objeto Territorial Legal que é descrito pelo conteúdo legal de direito ou restrição e pôr os respectivos limites cujos esses direitos e restrições se aplicam e Objeto Territorial Físico que é descrito como sendo um objeto territorial que possui condições homogêneas sem um caráter legal, por exemplo, construções ou ruas.

Os objetos territoriais legais nacionais foram estudados por Carneiro, Erba e Augusto (2012), denotando assim a sua indiscutível importância na formação de um Cadastro Territorial Multifinalitário – CTM, alguns deles são: Terrenos de Marinha, Servidão, Área de Preservação Permanente, entre outros. Para maiores informações acerca de tais elementos o trabalho supracitado pode ser consultado.

Santos, De Farias e Carneiro (2013), apontaram que o entendimento da parcela como uma porção de solo possuída por uma pessoa ou por várias pro indiviso mostrou-se adequada para os casos estudados pelos autores, e logo em todo o território nacional, já que essa proposta está de acordo com a proposta de CTM adotada pela portaria 511/2009. Neste trabalho Santos, De Farias e Carneiro (2013) corroborou a viabilidade da adoção da parcela como a menor unidade do cadastro, não admitindo assim a adoção de subparcelas, além de, confirmar a adoção do conceito de objetos territoriais associados a estas parcelas. A utilização do conceito de objetos territoriais permite a individualização de limites que não possuem o caráter de limite de propriedade, como é o caso da parcela.

As primeiras pesquisas realizadas no país referentes a essa temática abordaram questões técnicas, legais e administrativas e algumas sugestões para a implantação de um Cadastro 3D foram colocadas por Souza e Amorim (2015), e Carneiro, Erba e Augusto (2012). A primeira sugestão é a do Cadastro 3D completo, essa solução pode ser considerada a ideal pois nesse caso seria possível acessar todas as parcelas como volumes. Isso seria possível adicionando ao cadastro (no banco de dados) das parcelas uma coluna com os volumes das mesmas, também

referidas como parcelas volumétricas. Outra possibilidade seria a exigência de que todas as parcelas estejam com seus respectivos limites representados por coordenadas tridimensionais. Porém, como colocado por Carneiro, Erba e Augusto (2012), esse modelo mesmo sendo considerado o ideal, não é viável para o caso brasileiro por envolver alterações significativas na estrutura legal do país; A segunda sugestão é um Modelo híbrido 2D/3D, nesse modelo existiria a existência de uma parcela volumétrica. Seriam feitos os registros das parcelas em 2D e registros adicionais de espaço legal 3D seriam realizados no caso de parcelas 3D. Em outras palavras, seria realizado o cadastro 2D das parcelas em que a componente vertical não tivesse tanta relevância e um cadastro 3D dos objetos territoriais legais cuja situação de fato exija a determinação de seu aspecto tridimensional. Para Carneiro, Erba e Augusto (2012), em uma primeira análise, esse modelo seria o mais adequado ao caso brasileiro, dado que, o cadastro de objetos existentes acima e abaixo da superfície se destaca entre as necessidades mais urgentes de informação territorial; e a terceira sugestão colocada pelos autores é o Cadastro 2D com informação 3D associada, nesse modelo seria realizada a identificação de situações em que se faz necessário o Cadastro 3D, e após isso identificar essas mesmas situações no registro cadastral, para que fosse associada uma ligação a essas situações bidimensionais com os novos registros das fronteiras tridimensionais da parcela (STOTER & OOSTEROM, 2005). Para Carneiro, Erba e Augusto (2012), esse é o modelo mais simples e adequado a uma aplicação direta no Brasil, especialmente por não exigir modificações profundas na estrutura administrativa e legal.

Mesmo levando em consideração as dificuldades enfrentadas pelo país referente a essa temática, algumas oportunidades para reverter esse quadro começaram a surgir, como por exemplo, legislação do georreferenciamento que criou o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais – CNIR, as Diretrizes para a formação do CTM (Portaria 511/2009), e o Decreto nº 6.666/2008, que estabeleceu a implementação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE. Para que um sistema cadastral 3D seja implantado com sucesso é preciso que haja, urgentemente, uma definição dos padrões de estruturação e de intercâmbio de dados.

A responsabilidade pela a implementação de informações tridimensionais poderia, em um primeiro momento, ser conferida às empresas responsáveis pela instalação, exploração e manutenção dos equipamentos urbanos, facilitando a atuação das mesmas em suas áreas, além de facilitar o controle estatal (CARNEIRO, ERBA & AUGUSTO; 2012).

Como pôde ser observado do exposto anteriormente, a situação atual em que se encontra o quadro cadastral do país evidencia que muitas questões ainda precisam ser melhores trabalhadas e muitos desafios precisam ser vencidos. Entretanto a popularização das geotecnologias, junto aos estudos da legislação do território e de identificação dos objetos territoriais legais são um indicativo que o Brasil está vivenciando uma época para a reflexão e definição de estratégias que permitam estruturar um Cadastro 3D.

3. MODELOS DE REPRESENTAÇÃO DE ESTRUTURAS GEOMÉTRICAS 3D

A necessidade de se utilizar diferentes tipos de modelagens justifica-se por todas as diferentes características das estruturas cadastrais 3D a serem armazenadas como, por exemplo, divisões planas e espaciais, o uso de primitivas, regras de construção, orientação e relações implícitas e explícitas (VAN OOSTEROM *et. al.*, 2002).

Com o objetivo de encontrar uma abordagem mais adequada para a representação e visualização das estruturas geométricas 3D, a seara dos modelos de representação de estruturas geométricas 3D foi estudada. Na literatura pode-se encontrar três modelos citados como principais para esse tipo de representação, além de fazerem parte do Industry Foundation Class (IFC), que seguem: Representação por Bordas

(Boundary Representation - B-Rep), Geometria Construtiva Sólida (Constructive Solid Geometry - CSG) e a Representação por Varredura (Sweep Representation). A seleção de qual estrutura topológica utilizar está intimamente ligada ao tipo de aplicação envolvida. A Figura 3 ilustra, a (a) Representação por Bordas, em que ocorre uma agregação de superfícies limites que envolvem o corpo completamente, a (b) Geometria Construtiva Sólida, que faz combinações de Primitivas 3D por meio de operações booleanas, e (c) a Representação por Varredura, que faz a extrusão de uma face ao longo de uma trajetória.

3.1 Representação por Bordas (B-Rep)

A Representação por Bordas, conhecida também pelo seu acrônimo B-Rep, é um tipo de modelagem geométrica de sólidos por representação de limites. Este modelo descreve um objeto por meio das superfícies que o limitam e das arestas e vértices (geometria) que estas superfícies - ou faces – apresentam. Essas superfícies são fechadas, ou seja, são conjuntos de faces que não possuem interrupções, todas as faces são conectadas por arestas (ZEID, 1991).

O modelo B-Rep é o modelo de sólidos usado mais frequentemente para representar objetos 3D em Sistemas de Informações Territoriais. Essa abordagem é comum de ser usada para aplicações cadastrais 3D e tem sido sugerida por diversos autores (ARENS, 2003; COORS, 2003; DE LA LOSA & CERVELLE, 1999; FOLEY *et. al.*, 1990). De acordo com Stoter (2004), as implementações tecnológicas tridimensionais estão focando na utilização de modelos de representação de estruturas geométricas 3D, utilizando a estrutura de Representação por Bordas.

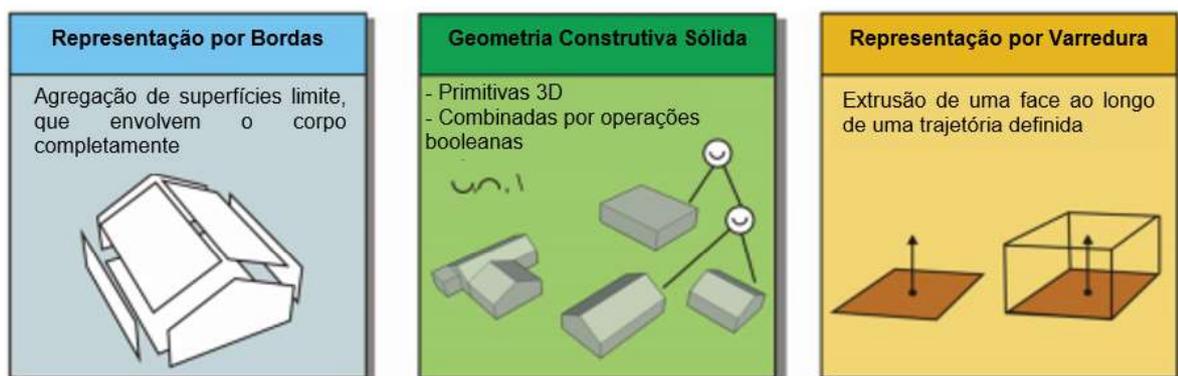


Fig. 3 - (a) Representação por Bordas, (b) Geometria Construtiva Sólida e (c) Representação por Volume. Fonte: Adaptado de Tobiáš (2015).

Através da orientação das faces, é possível identificar quais as superfícies que limitam os objetos, onde cada face possui um vetor normal, que aponta para fora do objeto modelado, permitindo assim obter-se uma clara separação entre interior e exterior do objeto (ZEID, 1991).

Uma das vantagens de se utilizar o modelo topológico B-Rep é a construção de geometrias complexas a partir de formas simples, como superfícies poligonais planas que formam objetos poliédricos. Para Stoter e Zlatanova (2003), a principal vantagem desse modelo topológico é que o mesmo é o mais adequado para representar objetos do mundo real, além dos principais mecanismos de renderização serem baseados em B-Rep.

Outra vantagem apresentada por Foley *et. al.* (1990), é o fato das outras abordagens mencionadas no início dessa seção serem facilmente convertidas para modelo B-Rep. A Figura 4, apresentada a seguir mostra a criação de uma pirâmide de base quadrangular utilizando o esquema de representação B-Rep. A geometria é dada pelos vértices, que associados formam a topologia do objeto, ou seja, as faces limitadas pelas arestas.

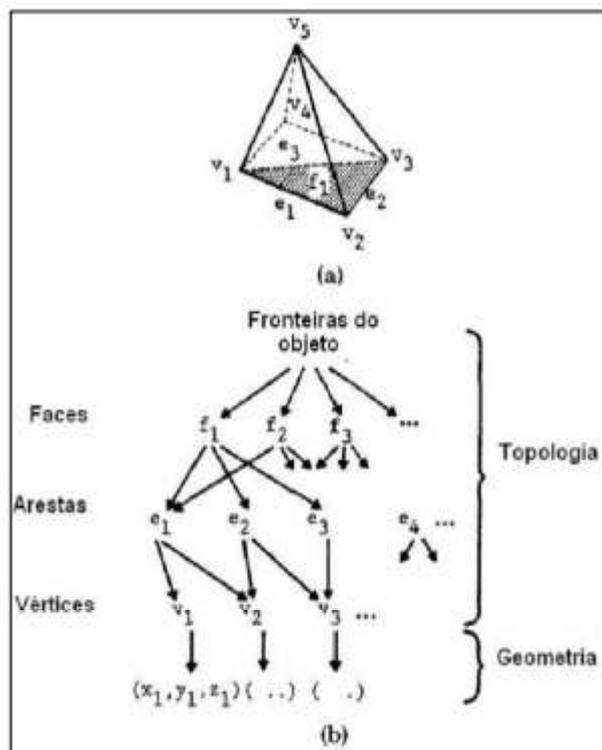


Fig. 4 - Modelagem Geométrica por Fronteiras. Fonte: Zeid (1991).

3.2 Geometria Construtiva Sólida (CSG)

A Geometria Construtiva Sólida é uma abordagem que utiliza primitivas simples como esferas, cilindros e cubos para a representação 3D. Esta abordagem surgiu da observação de que diversos componentes industriais eram desenvolvidos a partir da combinação de várias primitivas gráficas simples.

A combinação de diversas geometrias simples para que se possa gerar uma geometria mais complexa é feita por uma série de operadores booleanos (união, interseção e diferença) (FOLEY *et. al.*, 1990). Os operadores booleanos são armazenados nos vértices intermediários das primitivas simples. Definir um objeto utilizando esse tipo de modelagem é análogo a uma estrutura de árvore, como ilustra a Figura 5. O tronco representa o objeto e as folhas as primitivas. As folhas são combinadas com o tronco através dos galhos, que representam os operadores booleanos.

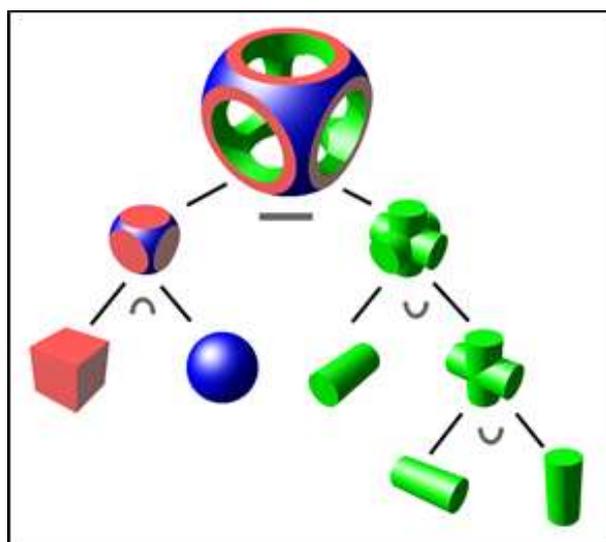


Fig. 5 - Árvore da Geometria Construtiva Sólida. Fonte: Lewiner (2015).

De acordo com Brenner (2004) e Shapiro (2002), a Geometria Construtiva Sólida é, juntamente com a B-Rep, a abordagem mais difundida em sistemas de desenhos assistidos por computador. Entretanto, a GCS apresenta algumas vantagens, tais como:

- a) concisão e validade garantidas por definição;
- b) estruturas de dados relativamente simples e algoritmos recursivos elegantes;
- c) primitivas simples podem ser parametrizadas,

- o que permite a reutilização e coleção em bibliotecas;
- d) a estrutura de árvore CSG contém informações implícitas que podem ser usadas para diversos propósitos; e
- e) lida com a entrada de dados mais facilmente que a abordagem de representação por bordas.

3.3 Representação por Varredura (Sweep Representation)

A Representação por Varredura ou Representação por Volume, ocorre quando um objeto se estende ao longo de uma trajetória, o que resultará em um novo objeto. A forma mais simples de representação por varredura é a feita com uma linha ou superfície de maneira a formar um volume (extrusão). Esse tipo de varredura é conhecido como varredura translacional. A varredura rotacional é definida quando a rotação da superfície ou linha acontece em um dos eixos (SHAPIRO, 2002) (Figura 6).

De acordo com Shapiro (2002), a representação por varredura provou ser útil em aplicações de engenharia e industriais. Por exemplo, esse tipo de modelagem é prático e, também, eficiente para modelar seções cruzadas de partes mecânicas e para simular materiais removidos por operações de corte e extrusão.

A principal vantagem das Representações por Varredura é que elas são matematicamente concisas e relativamente fáceis de se entender e usar (SHAPIRO, 2002). A representação por varredura é um método natural de se construir

diferentes objetos, apesar das dificuldades no cálculo do volume e no fechamento do sólido. (FOLEY *et. al.*, 1990).

4. A GEOMETRIA MULTIPATCHE O FORMATO DE DADOS COLLADA

A geometria Multipatch foi criada pela ESRI em 1997, para a construção de feições 3D no ArcGIS. Essa geometria possibilita o intercâmbio de dados com outros pacotes de softwares não relacionados a sistemas de informação geográfica, como os softwares que suportam o formato de dados COLLADA (Collaborative Design Activity) e o SketchUP.

A estrutura Multipatch é um tipo especial de estrutura do ArcGIS que facilita uma abordagem poliédrica para a representação de objetos 3D (FORD, 2004). Esse tipo de shapefile é elaborado em cima das primitivas da Open Graphics Library 3D (OpenGL 3D), primitivas triangulares que armazenam feições como geometrias 3D 'verdadeiras' em um geodatabase (ESRI, 2008).

A estrutura Multipatch foi desenvolvida para suprir as necessidades de um tipo de geometria poligonal 3D que fosse irrestrita em relação as regras válidas para as geometrias 2D. Sem a eliminação das restrições que regem as representações 2D, as visualizações em 3D não seriam possíveis. A estrutura Multipatch supera essas limitações e vai além, provendo um melhor controle da orientação das faces dos polígonos e uma melhor definição das faces interiores dos mesmos.

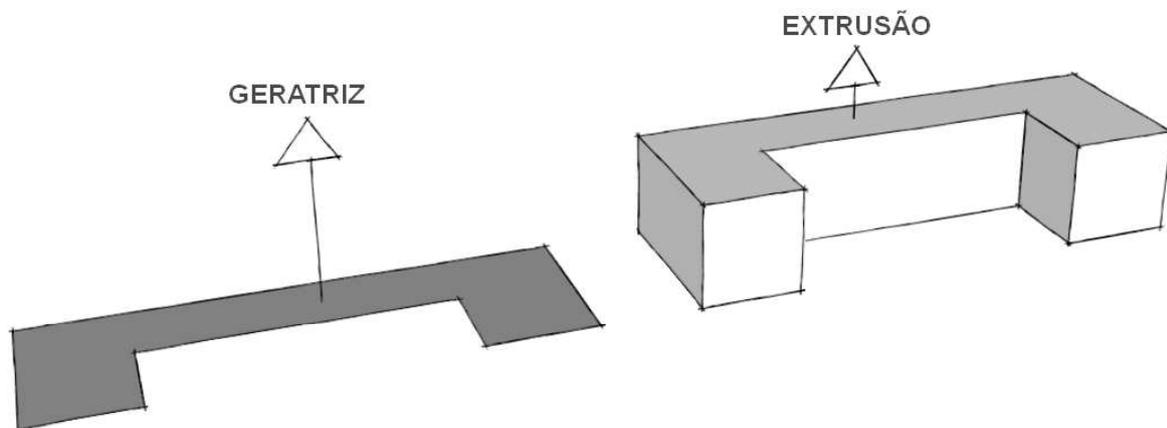


Fig. 6 - Representação por Volume. Fonte: Adaptado de Nunes (2010).

Com as coordenadas tridimensionais conhecidas no mundo real, a estrutura pode ser usada para modelar dos mais simples (esferas, cubos) aos mais complexos objetos (isosuperfícies, árvores, prédios). A estrutura Multipatch também permite o armazenamento de imagens de textura, cor, transparência dentro da própria geometria.

Uma estrutura Multipatch pode ser vista como um contêiner para uma coleção de geometrias que representam superfícies 3D. Essas geometrias podem ser faixas de triângulos, leques de triângulos, triângulos ou anéis, e uma única estrutura Multipatch pode conter a combinação de uma ou mais dessas geometrias (Figura 7).

Como pode ser visto na figura anterior a estrutura Multipatch é composta por quatro tipos de geometrias; Faixas de triângulos (triangle strips), Leque de triângulos (triangle fans), Triângulos (triangles), e os anéis (rings). Para informações mais aprofundadas sobre esses tipos de geometria consultar ESRI (2008).

Um trabalho nessa área, que recebeu bastante atenção, foi a implementação das primitivas 3D para modelagem de objetos espaciais 3D em Oracle denotada em Arens (2003) e Arens, Stoter e van Oosterom (2005). Uma vantagem dessa metodologia é que as primitivas são representadas pelas suas feições padrões tipos polígonos, possibilitando, assim, que diferentes softwares implementarem as feições 3D. Entretanto, um contraponto, é que para representar essas feições 3D, seriam necessárias muitas feições bidimensionais. Porém, isso

pode ser feito usando tabelas interligadas ou pela abordagem multi-polígono. A abordagem considerando as tabelas interligadas é um procedimento extremamente enfadonho quando se trata da inserção de dados. Por exemplo, é necessária a inserção de tabelas separadas para os vértices, arestas e faces. A abordagem multi-polígono, também possui suas desvantagens e algumas limitações, por exemplo, os ambientes do ArcGIS dão um suporte limitado a dimensão z, pois usam somente superfícies bidimensionais como tipos de dados. A utilização da estrutura Multipatch supera esses dois pontos fracos, citados anteriormente.

4.1 O Formato de dados COLLADA

O COLLADA é um formato de dados aberto para descrever dados 3D. Originalmente esse padrão de dados pertencia à Sony. O padrão COLLADA, sigla para COLLABorative Desing Activity for establishing interchange format 3D interactions, foca somente nos dados 3D, independentemente da arquitetura do contexto. Esse formato de dados proporciona a possibilidade para descrever a geometria, topologia e a textura, porém é falho na descrição semântica dos elementos.

O formato de arquivos COLLADA e KML, são geralmente mencionados juntos, pois são usados juntamente em softwares como o Google Earth, e o SketchUP. De acordo com Zlatanova, Stoter e Isikdag (2012), o Google usa esse formato frequentemente, sendo o núcleo dos objetos 3D no Google Earth e uma parte chave do desenvolvimento do SketchUP.

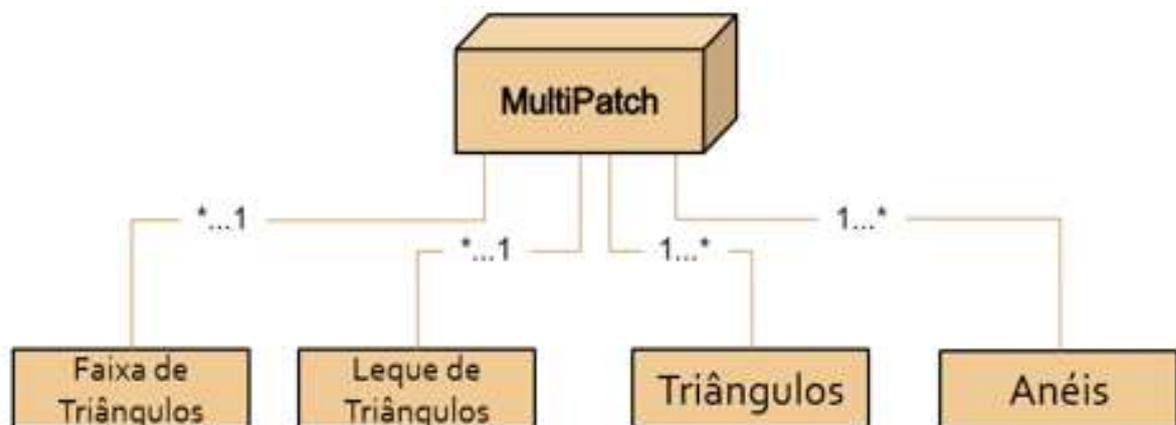


Fig. 7 - Geometrias Componentes da Estrutura Multipatch. Fonte: Adaptado de ESRI (2008).

5. METODOLOGIA

5.1 Caso de Estudo

Dentre as diversas e distintas situações de Propriedades 3D que podem ser encontradas no município de Curitiba como, por exemplo, casos de passarelas subterrâneas para pedestres, casos de galerias comerciais acima e abaixo do nível da superfície terrestre, o caso de estudo escolhido foi uma situação que tivesse um impacto econômico, comercial, histórico e cultural para a área urbana do município.

Considerando essas características a Unidade de Propriedade 3D escolhida para a realização das atividades foi o Shopping Mueller. Este shopping é o centro comercial mais antigo de Curitiba e está localizado no coração da cidade, no bairro Centro Cívico, divisa com bairro São Francisco.

O primeiro centro comercial de Curitiba, foi inaugurado em 1983. Após sua construção, o Shopping Mueller passou por dois processos de revitalização, em 1997 e em 2004. A revitalização mais recente incluiu um plano de instalações de novas salas de cinema, o que trouxe uma nova atração arquitetônica para uma das fachadas do prédio, que foi a passarela suspensa.

Esta passarela encontra-se instalada sobre a rua Mateus Leme, divisa entre os bairros Centro Cívico e São Francisco, e é composta por uma estrutura metálica suspensa a 8,50 metros do nível do logradouro, compondo a paisagem histórica do shopping como um contraponto arquitetônico. A passarela elevada foi instalada, considerando o declive que havia entre os dois prédios, o shopping e o edifício-garagem, a ser ajustado.

A implantação da passarela suspensa foi instalada no nível G2, do Shopping Mueller, devido uma questão estratégica, já que, além de atender todas as premissas, dá acesso às duas salas de cinemas, aos pisos de comércio e à praça de alimentação. Ao se retirar do shopping pela passarela, o cliente é conduzido ao quarto piso do edifício-garagem.

O projeto da passarela suspensa foi aprovado com base na Lei Municipal Ordinária 10478/2002. Esta lei, aprovada pela Câmara Municipal de Curitiba, é a norma que autoriza o poder executivo a outorgar concessão de direito real de uso de espaço aéreo às empresas proprietárias do Shopping Mueller, a COMBRASHOP - Companhia

Brasileira de Shopping Centers S/A e a CASC - Administradora de Shopping Centers S/A, a construir a passagem suspensa para uso exclusivo de pedestres, sobre a rua Mateus Leme, interligando as edificações existentes sobre os imóveis que especifica, além de dar outras providências.

Em seu artigo terceiro, parágrafo único, a lei estabelece a altura livre mínima da passagem suspensa com o valor de 8,97m (oito metros e noventa e sete centímetros) acima do nível do passeio até ao ponto inferior da mesma. Em seu artigo quarto é previsto o valor a ser recolhido, pelas concessionárias, a título de contraprestação. Esse valor é resultante da fórmula:

$$AP \times VM \quad (1)$$

em que,

AP = a área em projeção da estrutura; e
VM = valor de mercado do metro quadrado estabelecido para os imóveis localizados na mesma zona urbana onde a passagem suspensa será implantada.

Analisando essa normativa, é possível observar que não existe maiores informações referentes ao cadastro, do que essas citadas anteriormente, ou seja somente em relação à concessão do direito de uso do espaço aéreo de uma via pública, para empresas do setor privado; e como é o feito o valor da tributação da projeção dessa estrutura sobre o logradouro.

5.2 Informações cadastrais

O arquivo shapefile contendo as informações referentes a planta cadastral bidimensional do bairro em que se encontra o Shopping Mueller foi cedido, via correio eletrônico, pelo Departamento de Cadastro Urbano, da Secretaria Municipal de Urbanismo (SMU) da Prefeitura Municipal de Curitiba (PMC). Segundo Kruchelski (2011), as plantas cadastrais foram compostas a partir da junção dos croquis cadastrais de tributação imobiliária sobre a restituição aerofotogramétrica de 1972, na escala 1:2000.

Na figura a seguir é possível observar o recorte dos lotes cadastrados pelo Departamento de Cadastro Urbano, inseridos no bairro Centro Cívico, destacado em ciano e os eixos das vias públicas representados pela primitiva gráfica linha, em tom de cor vermelho (Figura 8).

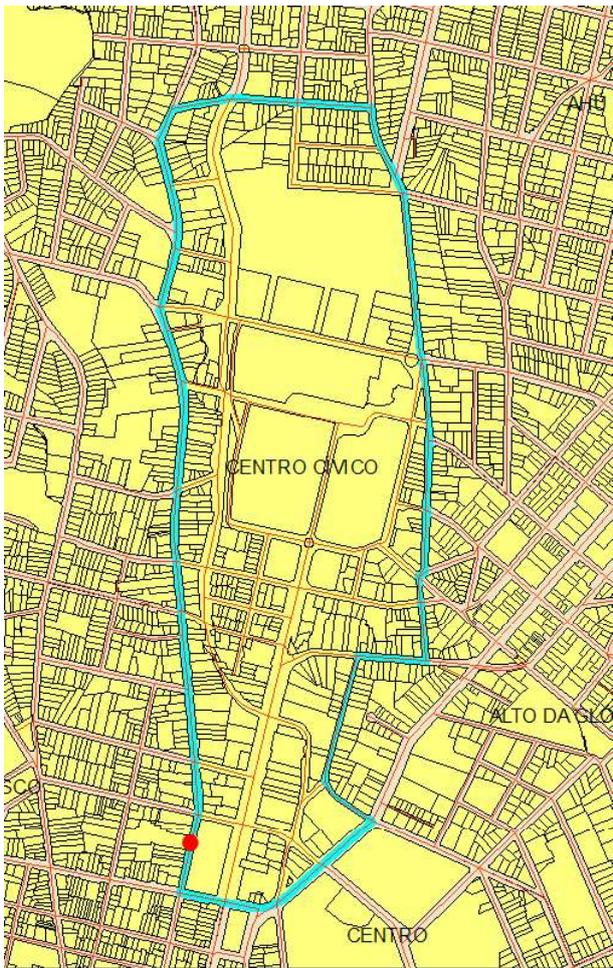


Fig. 8 - Arquivo Shapefile cedido pela Prefeitura Municipal de Curitiba.

Na planta Cadastral Bidimensional mantida pelo Departamento de Cadastro Urbano da PMC, pode ser observado que não há representação da construção do Shopping Mueller e conforme indicado nem da passarela suspensa para pedestres que está sobre o espaço aéreo da via pública Mateus Leme (Figura 9).



Fig. 9 - Região de estudo representada na planta cadastral da PMC.

Foram consultadas as matrículas de ambos os imóveis que compõem a totalidade do Shopping Mueller: o edifício do centro comercial em si e o edifício utilizando como estacionamento do centro comercial, o edifício garagem. As matrículas referentes a ambos os edifícios foram obtidas junto ao Cartório do 2º Registro de Imóveis do município de Curitiba e as informações relevantes ao estudo serão aqui apresentadas.

A matrícula nº 54.351 é referente ao empreendimento edificado denominado “Mueller Shopping Center de Curitiba”, caracterizando assim o centro comercial em si. Nela foi possível verificar informações referentes a área construída, o número de pavimentos, o nome e a área respectiva de cada pavimento e os proprietários do empreendimento. Ainda inseridas nas averbações dessa matrícula constam informações sobre as locações de espaço a terceiros, bem como, informações sobre transferências de potencial construtivo e retificações necessárias. Não foi encontrado informações referentes à passarela suspensa ou qualquer possível menção referente a sua construção ou a concessão do espaço aéreo para a construção da mesma

A matrícula 48.028, é referente ao empreendimento que foi destinado ao estacionamento do Shopping Mueller. Nela é possível verificar informações sobre os proprietários do lote de terreno, sobre os registros anteriores que compunham essa matrícula, bem como as informações referentes às demolições, transferência de potencial construtivo, a construção e aumento da área de benfeitoria e outras informações.

A averbação nº 07 (AV-07/M-48.028), de 07 de Novembro de 2005, consigna a construção do prédio de alvenaria destinado ao estacionamento, situado na Rua Mateus Leme esquina com a rua Duque de Caxias, como pode ser observado em seu texto, aqui reproduzido: “[...] TÍTULO (CONSTRUÇÃO) - Conforme solicitado no requerimento firmado e assinado nesta cidade aos 17 de agosto de 2005, que fica arquivado nesta serventia sob nº 42.067, procedo a presente averbação para consignar que sobre o imóvel a que se refere esta matrícula foi CONSTRUÍDO um prédio em alvenaria destinado a estacionamento com área total de

22.864,17m², situado na Rua Mateus Leme esquina com a Rua Duque de Caxias, [...]”

5.3 Representação 3D da região de estudo

Após a consulta e confirmação de que não existe a representação da Unidade de Propriedade 3D na Planta Cadastral bidimensional nem nos serviços notariais de registro de imóveis, foi realizada a digitalização do contorno da construção da Unidade de Propriedade 3D. A digitalização de tais elementos foi efetuada com o auxílio de uma ortofoto, obtida por meio do seu descarregamento do sitio eletrônico do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC), na seção downloads. Na figura abaixo é possível visualizar um fragmento da ortofoto utilizada, como auxílio, para a digitalização da Unidade de Propriedade 3D (Figura 10). O procedimento de digitalização foi realizado com o auxílio do software ArcGIS, em uma de suas suítes de aplicativos, o ArcMap.



Fig. 10 - Fragmento da Ortofoto Utilizada.

A figura abaixo ilustra a diferença entre o lote registrado no sistema cadastral, em amarelo, mantido pela Secretaria Municipal de Urbanismo de Curitiba e a projeção ortogonal do Shopping Mueller digitalizada, em azul, necessária para o fluxo de trabalho (Figura 11).



Fig. 11 - Projeção Ortogonal do Shopping Mueller. Fonte: O Autor (2015).

Após a digitalização da projeção ortogonal bidimensional da unidade Propriedade 3D, a etapa seguinte é o início da modelagem tridimensional dos elementos que representarão a Unidade de Propriedade 3D selecionada. Para isso o aplicativo utilizado foi o ArcScene, outro software da suíte de aplicativos do ArcGIS.

Com os respectivos dados carregados no aplicativo ArcScene, foi realizada uma operação de extrusão. O processo de extrusão, no ArcGIS, é o processo de “esticar” um arquivo no formato shapefile bidimensional para criar um objeto 3D. Essa operação faz que com as feições inseridas nas camadas de informações sejam “esticadas”, ou seja, transforma pontos em linhas verticais, linhas em poliedros, e polígonos em blocos. Os três tipos de geometrias básicas (pontos, linhas e polígonos) suportados pelo ArcGIS, suportam esse tipo de operação. Os outros tipos de geometrias mais complexas, como Multipatch e as geometrias Raster não suportam esse tipo de operação.

O tipo de extrusão utilizada nesse trabalho, foi a extrusão por valor constante. A figura a seguir ilustra o resultado dessa operação aplicado as feições criadas anteriormente. A priori, o valor escolhido para a extrusão dos polígonos foi de 10 metros, entretanto outros valores poderiam ser aplicados nesse caso, o valor de 10 metros foi escolhido a critério dos autores e por simplificar as operações na elaboração do modelo de representação 3D (Figura 12).

Após a extrusão dos polígonos, é necessário converter os dados para o formato Multipatch. Essa etapa é feita com a utilização da ferramenta “Layer 3D to Feature class”, inserida na caixa de ferramenta 3D Analyst Tools, disponível sob o menu Arctoolbox.

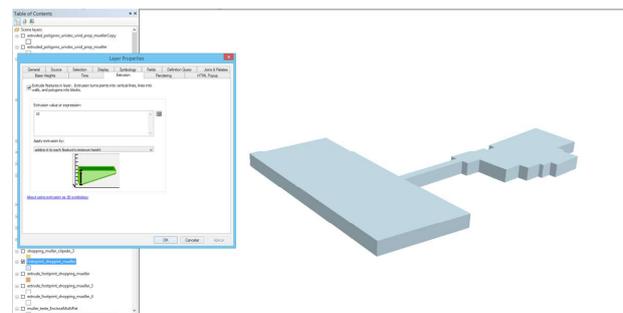


Fig. 12 - Polígonos que sofreram Extrusão.

O próximo passo foi a exportação do arquivo Multipatch para o formato COLLADA. Assim que os dados foram exportados para o formato COLLADA, foi gerado um arquivo com a extensão *.dae, e um arquivo no formato KML, foi gerado automaticamente. Os arquivos KML contém os modelos gráficos tridimensionais COLLADA, as coberturas de textura e outras informações gráficas.

Após a geração do arquivo em formato COLLADA, no ambiente SIG, realizou-se a importação do modelo para o software de modelamento Trimble SketchUP 2015. A Figura 13, apresentada a seguir, ilustra a interface gráfica do usuário nesse software, e o modelo importado do ArcGIS.

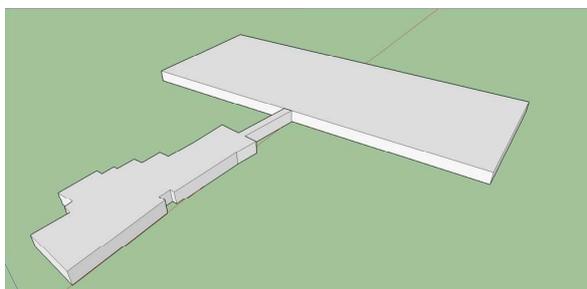


Fig. 13 - Modelo Importado no SketchUP.

Realizou-se a modelagem de dados considerando as primitivas gráficas 3D para a modelagem de objetos espaciais 3D, explanados anteriormente. Os prédios que contem a Unidade de Propriedade 3D, foram representados segundo as considerações apresentadas por Arens, Stoter e van Oosterom (2005), que em seu trabalho fazem uma avaliação das possíveis primitivas 3D para modelagem de um objeto espacial 3D em um sistema de gerenciamento de bando de dados, e colocaram que as melhores primitivas são o Tetraedro (a, b) e o Tetraedro combinado com estruturas esféricas ou cilíndricas (c) (Figura 14).

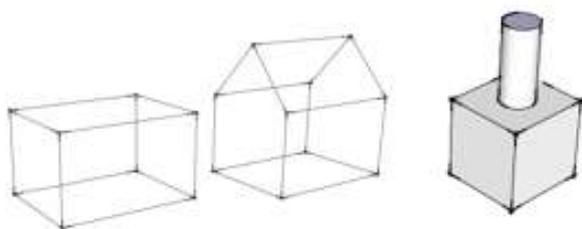


Fig. 14 - Primitivas 3D. Tetraedro (a, b). Tetraedro combinado com estruturas esféricas ou cilíndricas (c). Fonte: Adaptado de Arens, Stoter e van Oosterom (2005).

A modelagem foi realizada utilizando somente objetos que representem geometrias fechadas, ou seja, poliedros, cilindros e a combinação de ambas, objetivando apresentar uma proposta inicial de modelagem para o armazenamento de dados cadastrais 3D em um banco de dados espaciais, propiciando consultas topológicas.

As edições realizadas nos modelos construídos das edificações, bem como da Unidade de Propriedade 3D, foram feitas de forma individual, ou seja, em cada uma das edificações separadamente. Após a finalização dessas edições, as edificações foram novamente integradas (Figura 15). As partes componentes do modelo foram nomeadas e modeladas com os seguintes nomes: Prédio Histórico, Unidade de Propriedade 3D e Edifício Garagem.

A modelagem das feições irregulares contidas na parte superior do teto, de ambas as edificações, foi feita levando em consideração a ortofoto utilizada anteriormente na Figura 10. Não sendo a reprodução fidedigna o intuito principal desse trabalho, as medidas para a modelagem de tais feições foram aproximadas com base nas observações feitas nessa ortofoto.

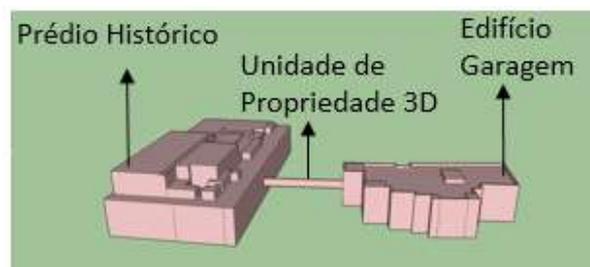


Fig. 15 - Modelo Editado Final.

Como foi colocado anteriormente, a representação por bordas é o modelo adotado para representar as estruturas topológicas geométricas tridimensionais pelo SketchUP, e de acordo com Felus *et. al.* (2014) essa representação é vantajosa por ser a abordagem utilizada em dados 2D, e principalmente por suportar bem as medidas e a representação de dados 3D.

Para Zlatanova, Stoter e Isikdag (2012), a principal vantagem desse modelo reside no fato de representar os modelos conforme a percepção humana, por exemplo, os limites dos objetos podem ser obtidos medindo propriedades que são visíveis, por exemplo, as bordas.

O modelo é exportado de volta para o ArcScene. No ambiente SIG, o modelo é então carregado, com a função “Replace with model”, do menu 3D editor, e recolocado sobre o lugar daquele que foi exportado anteriormente.

O modelo final poderá ser armazenado em qualquer um dos bancos de dados disponíveis no software, personal ou file geodatabase, já existentes ou criado pelo usuário durante o procedimento de exportação para o ArcGIS. O ArcGIS trata as feições Multipatch de uma maneira análoga as feições armazenadas em arquivos shapefile. Em outras palavras, as feições 3D serão representadas por um único registro no personal geodatabase ou no file geodatabase,

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados, assim como algumas discussões acerca dos mesmos.

Um modelo tridimensional pode ser uma fonte vasta de informações simplesmente ao se observá-lo. Essa análise visual além de fornecer ao usuário uma ideia de como a redondeza de uma área de interesse se comporta, também pode revelar relacionamentos entre os objetos que ali se encontram.

A visualização das informações bidimensionais juntamente com as informações tridimensionais pode ser um poderoso método para a obtenção de informações e à tomada de decisões.

Uma possibilidade para se aumentar as informações a serem analisadas e contribuindo para melhores resultados, é a junção ou o relacionamento de tabelas, contendo informações não espaciais, as informações tridimensionais já existentes. O ArcGIS executa esse tipo de operação sem maiores problemas em feições 3D como as feições Multipatch, dado que o software trata esse tipo de informação

similarmente as feições armazenadas em shapefile, ou seja, em único registro na tabela de atributos. Por exemplo, a Figura 16 ilustra como as feições ou informações sobre atributos podem ser adicionadas, removidas ou editadas das tabelas de atributos. Para esse caso serão adicionadas informações sobre a coluna tipo de propriedade destacada em ciano.

Esta tabela pode então ser relacionada com as feições cadastrais por meio de sua tabela de atributos. As feições consideradas cadastrais nesse exemplo, são aquelas contendo informações descritivas tais como área da construção, volume, área projetada, distância vertical do logradouro, lote e altura. O relacionamento de tabelas permite ao usuário perguntar questões como: quais são os tipos de propriedades classificados como Unidade de Propriedade 3D? Usando o comando SQL para fazer a consulta, essa resposta pode ser obtida através da seguinte expressão:

```
SELECT * FROM cad_registro WHERE:"TIPO_PROPRIEDADE" = 'Unidade de Propriedade 3D'
```

A feição que se enquadra nesse tipo de propriedade será selecionada como mostra a figura a seguir (Figura 17).



Fig. 17 - Tipo de Feição: Unidade de Propriedade 3D.

INDICACAO FISC	Rowid	MATRICULUA	PROPRIETARIO	LEI REGULATORIA	LOGRADOURO	TIPO PROPRIEDADE
31080041000	1	48028	CASC e COMBRASHOP	0	R Duque de Caxias	edificio (predio historico)
98765432100	2	99999	CASC e COMBRASHOP	10478	R Mateus Leme	Unidade de Propriedade 3D
32076001000	3	54351	CASC e COMBRASHOP	0	Av Candido de Abreu	edificio (predio garagem)

Fig. 16 - Inserção de Informações na Tabela de Atributos.

Uma abordagem mais amigável ao usuário para se realizar pesquisas simples no ArcScene é através da caixa de diálogo da ferramenta “Select by Attribute”. Nesse caso, a consulta SQL realizada foi: Selecionar todos os prédios que tenham a distância vertical ao logradouro igual a zero (Figura 18).

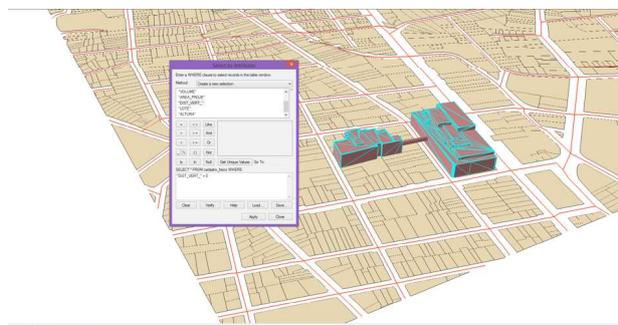


Fig. 18 - Consulta SQL utilizando o ‘Select by Attribute’.

Uma das dificuldades em se desenvolver sistemas de informações territoriais totalmente tridimensional é justamente encontrar um método apropriado para representar os complexos objetos 3D. Essa pesquisa mostrou alguns dos diversos métodos encontrados na literatura para a representação de objetos tridimensionais, ou ainda, para as Unidades de Propriedade 3D. Cada um possui suas vantagens e desvantagens. A maior vantagem dessa estrutura desenvolvida pela ESRI é que as mesmas podem descrever objetos complexos 3D, além de permitirem texturas, funcionar interativamente com informações geográficas bidimensionais e armazenarem feições 3D como registros únicos dentro do banco de dados, como pode ser visto no caso de estudo aplicado anteriormente.

O armazenamento das estruturas Multipatch em registros únicos facilita a relação de tabelas, contendo informações não espaciais com essas feições 3D componentes do modelo.

A desvantagem desse tipo de estrutura reside no fato das mesmas não poderem ser criadas ou editadas dentro dos ambientes da ESRI. A inserção de dados ou edição são, portanto, limitadas por softwares de terceiros, como por exemplo, o usado nessa pesquisa, SketchUP. Outro ponto que pode ser apontado como desvantagem, é que a estrutura Multipatch não suporta outras primitivas além dos pontos,

linhas e polígonos. Isto significa que outras primitivas mais complexas como polilinhas, cones e cilindros podem ser representadas somente por uma série de linhas e polígonos, o que acarreta uma perda na qualidade geométrica dessas formas. Um outro contraponto é que as representações utilizando estruturas Multipatch requerem uma grande quantidade de espaço para armazenamento no disco rígido. Entretanto, essa desvantagem pode ser vista como pequena em relação as outras, já que cada vez mais os computadores estão aumentando o seu poder de processamento, assim como seu espaço para armazenamento em disco.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa revisou algumas abordagens para representações 3D em Sistemas de Informações Geográficas para aplicação cadastral. A situação atual dos sistemas de informações geográficas 3D é que o maior foco está na visualização 3D e não na funcionalidade tridimensional.

Da literatura pesquisada foram selecionadas três abordagens para a representação de modelos tridimensionais: Representação por Bordas, Geometria Construtiva Sólida e Representação por varredura. Os três modelos possuem vantagens e desvantagens, entretanto o modelo de Representação por Bordas é a abordagem mais difundida para a representação 3D dentro do campo de aplicações cadastrais, seguida pela abordagem da Geometria Construtiva Sólida. Podemos concluir que um dos fatores que colabora para essa preferência de um sobre o outro é o fato do modelo de representação por bordas ser mais aceito dentro dos sistemas de informações geográficas e territoriais e o modelo de geometria construtiva sólida ser mais aceito em sistemas de desenho assistido por computador (CAD). O fato de ambos os modelos serem aceitos em sistemas diferentes não é crucial para afirmação de que uma abordagem é superior a outra.

Uma integração entres os sistemas CAD e SIT que interconectasse plenamente esses dois mundos, faria com que os dados 3D fossem realmente usados e aproveitados em todo seu potencial. Um sistema não pode substituir o outro completamente, porém, certamente ambos se beneficiariam se pudessem se comunicar entre si sem maiores perdas de dados.

Após o estudo da literatura conclui-se que a estrutura Multipatch é interessante, pois utiliza a abordagem B-Rep, e por sua vez, se beneficia das vantagens atreladas a essa abordagem. Foi concluído também, que o processo de inserção de dados e de importação/ exportação para o SketchUP é eficiente e ocorre sem maiores problemas, se seguido a metodologia proposta.

Com a utilização da metodologia proposta, ficou evidenciado que objetos complexos tridimensionais podem ser visualizados e analisados em softwares como o ArcGIS. Nesse caso o procedimento é possível devido a interoperabilidade entre ambos os softwares ArcGIS e SketchUP. Isso se torna viável devido ao formato de dados COLLADA, que é um formato específico para dados tridimensionais.

Além da facilidade em se exportar/ importar dados entre os softwares SketchUP e ArcGIS, também foi possível analisar feições tridimensionais com a utilização de comando SQL, além de ser possível a coexistências interativa das feições bi e tridimensionais, como por exemplo, pontos, linhas, polígonos e estruturas Multipatch dentro do mesmo ambiente 3D. Entretanto, ainda faltam algumas análises espaciais mais avançadas, como por exemplo, overlay e operações topológicas.

Informações geográficas armazenadas em estruturas Multipatch podem ser facilmente acessadas em suas tabelas de atributos e informações não espaciais podem ser interligadas a esses objetos tridimensionais (Unidade de Propriedade 3D) para enriquecer a extração de informações. A principal vantagem de se usar estruturas Multipatch, é que elas estão amplamente implementadas e em uso em sistemas de informações geográficas comerciais. O uso do Multipatch não é a solução, tecnicamente completa para objetos tridimensionais complexos, porém está se encaminhando para isso. O estudo de caso mostrou que é possível representar e, a um certo grau, analisar objetos 3D usando a estrutura Multipatch.

As recomendações para pesquisas futuras englobam os seguintes tópicos, um método apropriado para representação de objetos 3D. Apesar de, atualmente o foco das representações em 3D utilizarem a representação por bordas, a abordagem por geometria construtiva sólida tem suas vantagens que a fazem atraentes para

representações em 3D; e mais pesquisas para desenvolver mais funções de análise espacial em ambientes sistemas de informações territoriais com suporte a dados tridimensionais, logo SIG 3D.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar seus agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro o qual foi fundamental durante a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARENS C. **Maintaining reality: modelling 3D spatial objects in a Geo-DBMS using a 3D primitive**. 2003. 76 p. Master thesis. GIS technology, TU Delft, Delft University of Technology, The Netherlands.

ARENS, C.; STOTER, J.; VAN OOSTEROM, P. Modelling 3D spatial objects in a geo-DBMS using a 3D primitive. **Computers & Geosciences**, v. 31, n. 2, p. 165-177, 2005.

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

BRENNER, C. Modelling 3D objects using weak CSG primitives. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 35, p. 1085-1090, 2004.

BRUGMAN, B. **3D topological structure management within a DBMS, validating a topological volume**. 2010. 151 f. Dissertação (Master of Geosciences). Faculty of Geosciences, Utrecht University, Utrecht.

CARNEIRO, A. F. T.; ERBA, D. A.; AUGUSTO, E. A. A. Cadastro Multifinalitário 3D: Conceitos e Perspectivas de implantação no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, vol. 64, n. 2, p. 257 - 271, 2012.

COORS, V. 3D-GIS in networking environments. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 27, n. 4, p. 345-357, 2003.

DE LA LOSA, A.; CERVELLE, B. 3D Topological modeling and visualisation for 3D GIS. **Computers & Graphics**, v. 23, n. 4, p.

469-478, 1999.

ESRI. **The Multipatch Geometry Type: An ESRI White Paper**. 2008. Disponível em: < www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/Multipatch-geometry-type.pdf. > Acesso em: 08/05/2015.

FOLEY, J. D.; VAN DAM, A.; FEINER, S. K.; HUGHES, J. F. **Computer graphics: Principles and Practice**. p. 689–693, 1990.

FORD, A. The visualisation of integrated 3D petroleum datasets in ArcGIS. **Proceedings of 24th ESRI user conference**, p. 1-11, 2004.

FELUS, Y.; BARZANI, S.; CAINE, A.; BLUMKINE, N.; VAN OOSTEROM, P. J. M. Steps towards 3D cadastre and ISO 19152 (LADM) in Israel. **Proceedings 4th International Workshop on 3D Cadastres**, 9-11 November 2014, Dubai, United Arab Emirates, p. 391 – 409, 2014.

SOUZA, G. B. & AMORIM, A. Parcelas Espaciais e Nuvem de Pontos: Viabilidade e Possibilidades de Integração de Dados para o Cadastro 3D. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 2, p. 333 - 344, 2015.

KAUFMANN, J.; STEUDLER, D. Cadastre 2014: A vision for a future cadastral system. **International Federation of Surveyors**, p. 235 – 252, 2001.

KRUCHELSKI, E. **Cadastro Técnico na Prefeitura Municipal de Curitiba – aonde vai?** 2011. 33p. Trabalho de conclusão do curso de pós-graduação Especialização em Gestão de Cidades, Faculdades SPEI em convênio com ABC in Company, Curitiba, 2011.

LEWINER, T. **Primitivas de desenho CSG**. 2015. 2 f. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, 2015.

NUNES, E. O. **Modelagem Geométrica e Sweeping. 2010**. Disponível em: < <http://www2.ic.uff.br/~aconci/sweeping.html> >. Acessado em: 21/09/2015.

PAASCH, J.; PAULSSON, J. Terminological Aspects on Three-dimensional Real Property. **Nordic journal of surveying and real estate research**, v. 8, n. 1, p. 81 – 97, 2012.

PAULSSON, J. **3D property rights: an**

analysis of key factors based on international experience. 2007. 351 f. Tese (Doctoral in Real Estate Planning). Faculty of Real Estate Planning and Land Law, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, 2007.

SANDBERG, H. Three-Dimensional Partition and Registration of Subsurface Land Space. **Israel Law Review**, v. 37, n. 1, p. 119-167, 2003.

SANTOS, J. C. D.; DE FARIAS, E. S.; CARNEIRO, A. F. T. Análise da parcela como unidade territorial do cadastro urbano brasileiro. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Artigos, v. 19, n. 4, p. 574-587, 2013.

SHAPIRO, V. Solid modeling. **Handbook of computer aided geometric design**, v. 20, p. 473-518, 2002.

STOTER, J. E.; VAN OOSTEROM, P. J.; PLOEGER, H. D.; AALDERS, H. Conceptual 3D Cadastral Model Applied in Several Countries. **FIG Working Week. Athens, Greece**. p. 22-27, 2004.

STOTER. **3D Cadastre**. 2004. 344 f. Tese PhD thesis (Doutorado em Geografia Física). Delft University of Technology, Delft, the Netherlands, 2004.

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

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

STOTER, J. E.; ZLATANOVA, S. Visualisation and editing of 3D objects organised in a DBMS. **EUROSDR workshop 'Rendering and Visualisation'**, Enschede, January, 2003. 16 p.

TOBIÁŠ, P. An Investigation into the Possibilities of BIM and GIS Cooperation and Utilization of GIS in the BIM Process. **Geoinformatics FCE CTU**, v. 14, n. 1, p. 65-78, 2015.

VAN OOSTEROM, P.; STOTER, J.; QUAK, W.; ZLATANOVA, S. The balance between geometry and topology. In: (Ed.). **Advances**

in Spatial Data Handling: Springer, 2002. p. 209-224.

ZEID, I. **CAD/CAM theory and practice.** Nova York, United States: McGraw-Hill Higher Education, 1991. 576 p.

ZLATANOVA, S.; RAHMAN, A. A.; SHI, W. Topology for 3D spatial objects. **International Symposium and Exhibition on Geoinformation, Citeseer.** p. 22-24, 2002.

ZLATANOVA, S.; RAHMAN, A. A.; SHI, W.

Topological models and frameworks for 3D spatial objects. **Computers & Geosciences**, v. 30, n. 4, p. 419-428, 2004.

ZLATANOVA, S.; STOTER, J.; ISIKDAG, U. Standards for exchange and storage of 3D information: Challenges and opportunities for emergency response. **Proceedings of the 4th International Conference on Cartography & GIS**, Volume 2, Albená, June 2012, p. 17-28, 2012.