

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Sheyla Aguilar de Santana

**GEOPROCESSAMENTO NA MODELAGEM
PARAMETRIZADA DA PAISAGEM TERRITORIAL:
APLICAÇÕES DA GEOVISUALIZAÇÃO NA SIMULAÇÃO DA
PAISAGEM URBANA.**

Belo Horizonte
2014

Sheyla Aguilar de Santana

**GEOPROCESSAMENTO NA MODELAGEM
PARAMETRIZADA DA PAISAGEM TERRITORIAL:
APLICAÇÕES DA GEOVISUALIZAÇÃO NA SIMULAÇÃO DA
PAISAGEM URBANA.**

Tese apresentada ao Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do título de Doutora em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: Teoria, Produção e Experiência do Espaço da linha de pesquisa: Planejamento e Dinâmicas Socioespaciais.

Orientadora: Dra. Ana Clara Mourão Moura
Doutora em Geografia, UFRJ, 2002.

Belo Horizonte
2014

Santana, Sheyla Aguilar.

Geoprocessamento Na Modelagem Parametrizada Da Paisagem Territorial:
Aplicações da Geovisualização na Simulação da paisagem urbana / Sheyla Aguilar
De Santana - 2014

xxx p.: Il.

Área de Concentração: Geoprocessamento no planejamento e
gestão da paisagem urbana e cultural

Orientadora: Ana Clara Mourão Moura

Tese de Doutorado – Universidade Federal de Minas Gerais – Escola
de Arquitetura – Núcleo de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

1. Planejamento Urbano. 2. Geoprocessamento. 3. Geovisualização

4. Geoprocessamento Na Modelagem Parametrizada Da Paisagem Territorial

“O parametrismo é o novo grande estilo depois do modernismo. O pós-modernismo e o desconstrutivismo foram episódios prematuros transitórios.”

Schumacher, 2008.

AGRADECIMENTO

Foi três anos de uma longa jornada, uma árdua caminhada. Hoje não estaria aqui se não fosse pelas pessoas que tanto me apoiaram. E foram muitas!

Quero agradecer aos meus pais pelo suporte incontestável, meu irmão por estar sempre disponível para ajudar e a minha irmã por ser um ombro amigo.

O meu marido pela incontestável paciência e as minhas filhas que são a razão da minha vida.

Quero agradecer os amigos e funcionários do NPGAU e da escola de arquitetura pela oportunidade, em especial a Fernanda Borges pelo suporte.

Ao NPGAU e a Escola de Arquitetura pelo apoio financeiro para a participação em diversos eventos.

Os amigos e colegas de profissão que estiveram sempre disponíveis para responder as inacabáveis perguntas.

Lucas Saliba, Danilo Marques e Paulo Borges gratidão pelo apoio.

Gerson Freire, os conselhos foram de grande valia! Obrigada por estar comigo nessa trajetória!

Renata Hungari, você é os braços e as pernas quando não pude estar presente. Estimada amiga, não tenho palavras para agradecer todo o apoio!

Aos membros do grupo de testes, meu obrigado por compartilhar das minhas inquietudes. A equipe da Caverna virtual, na participação de vocês foi impressionante.

Alexandre Scarabelli, Luciana Flávia Resende e Luis Evo, sou eternamente grata pelo auxílio no momento de necessidade.

A CAPES/REUNI pela bolsa de estudos. Vocês tem um papel importante nesse processo.

À minha orientadora, Ana Clara, agradeço carinhosamente não só por hoje, mas pelos dez anos ou mais de convivência. Obrigada por compartilhar as suas inquietudes comigo e permitir que eu contribua, mesmo que em passos iniciais, explorar e analisar os problemas urbanos sobre uma perspectiva completamente nova. Agradeço a persistência.

Obrigado a todos que estiveram nessa trajetória. Essa tese é o resultado da participação de cada um de vocês.

GRATIDÃO!

RESUMO

Esse trabalho visa fazer a construção do conhecimento com base na teoria e produção do espaço urbano considerando as funções sociais da cidade e nas necessidades das reformas urbanas contemporâneas. Entende-se que as reformas contemporâneas são estruturadas a partir de duas possíveis lógicas. A primeira movida pelo empreendedorismo apoiado por ações de interesses público-privadas que visam o crescimento e competitividade econômica da cidade. São transformações pontuais através de construções especulativas do território. A segunda lógica, em um processo muito mais lento, é embasada nas mudanças relativas ao papel e ações das normativas urbanísticas. Nessa vertente, as atuações na produção da paisagem são de responsabilidade de poder público e contam com instrumentos legais com parâmetros de diferentes escalas de planejamento e gestão urbana. O estudo de sistemas de suporte a tomada de decisões com foco na facilitação da decodificação da linguagem dos parâmetros urbanísticos se torna fundamental para o desenvolvimento dessa tese.

O eixo de contribuição dessa tese está embasado na criação e proposição de um roteiro metodológico de simulação tridimensional das paisagens volumétrica urbanas com foco na aproximação entre as realidades da cidade construída, da cidade projetada – modelada por legislações e parâmetros urbanísticos – e a cidade percebida – criada a partir de mapas mentais de seu território por parte dos cidadãos. O foco é construir ponte entre cidade real x cidade legal com vistas a dar suporte à proposição e análise da modelagem da paisagem por ações de planejamento e gestão além de trazer um instrumento visual que permita o usuário ter uma nova ótica de percepção e reconhecimento do espaço vivido, com vistas a auxiliar os diversos atores na percepção do espaço favorecer o compartilhamento das tomadas de decisão.

Nesse sentido, um dos pilares dessa tese é as técnicas de geoprocessamento que veem contribuir para o desenvolvimento de aplicações, cenários e simulações de paisagens que auxiliam nas tomadas de decisões no processo de intervenção urbana. Esse trabalho visa fazer uma revisão sobre o estado da arte do geoprocessamento no planejamento urbano, os novos desafios de representação do território, os modelos e modelagens para

os ambientes urbanos para apresentar novos conceitos, paradigmas, técnicas e metodologias para a gestão e planejamento urbano.

Foi escolhido trabalhar com os modelos tridimensionais uma vez que vem sendo uma ferramenta com grande potencial de comunicação da paisagem e uma forma de decodificação da linguagem urbanística para os diversos atores da cidade. Ficou claro que os modelos tridimensionais permitem uma melhor visualização do potencial paisagístico aprovado por normativas junto aos planejadores e técnicos responsáveis pelo consentimento das ações urbanas.

Os benefícios da mudança de trabalho de dados bidimensionais para dados tridimensionais são retratados nessa tese através de um teste ilustrativo realizado com um pequeno grupo para validação do modelo proposto.

Na etapa prática, o roteiro metodológico será explorado de forma detalhada uma vez que é nessa etapa onde está concentrada a grande contribuição desse trabalho. O primeiro passo será mostrar como foi feito a construção da base tridimensional a partir de dados bidimensionais ou dados brutos. Será apresentado também os motivos e justificativas da escolha do sistema que comporta a aplicação dos novos conceitos convergentes entre sistemas de informação geográfica e building infrastructure modeling. Irei mostrar como foi realizado a montagem do sistema de informação geográfica tridimensional. Em uma etapa posterior, será possível ver os procedimentos metodológicos para a realização das simulações e criação de cenários volumétricos além das maneiras de retroalimentação do sistema que dão base para posteriores propostas de intervenção, manejo e restrições no espaço urbano. Os resultados dessas simulações foram inseridos em três sistemas e ambientes diferentes para realização de testes de interatividade, usabilidade, comunicabilidade e imersão e avaliação doo ganho de informação tanto do modelo proposto quanto dos sistemas utilizados para a difusão dessa informação tridimensional.

Ao longo desse processo, foram utilizadas novas ferramentas e conceitos, como a geocolaboração, para a aquisição de dados geográficos através da utilização da inteligência e conhecimento coletivo e voluntário para a geração da base de dados

tridimensional como uma forma de diminuir o valor e esforços no processo de montagem do banco de dados geográfico.

Ainda nessa tese, foi feita uma avaliação da metodologia proposta para a verificação se é possível reaplicar o mesmo roteiro para outras cidades do Brasil e do mundo. Nessa etapa é feita algumas proposições e apresentado novas técnicas como rota alternativa no processo de replicação dessa metodologia aqui proposta.

Os resultados, exibidos através de três interfaces, auxiliarão na visualização da cidade existente e planejada para avaliar, junto a um grupo de testes, a percepção da cidade, a interpretação dos parâmetros urbanísticos, a importância da visualização na modelagem urbana, na identificação de áreas propícias para o crescimento urbano e no reconhecimento de que a cidade de fato modelada pelos parâmetros é só aquela que passa por aprovação de projetos, pois a cidade informal é muito maior e mais expressiva que a legal.

Palavras-chave: Geovisualização, Modelos Tridimensionais, Geoprocessamento, Planejamento Urbano.

ABSTRACT

This work aims to build knowledge on the theory and production of urban space considering the social functions of the city and the needs of contemporary urban reforms. It is understood that contemporary reforms are structured from two possible logical. The first driven by entrepreneurship backed by shares of public-private interests that seek growth and economic competitiveness of the city. Are pointual transformations through speculative construction in the area. The second approach, on a much slower process, is grounded in the changes concerning the role and actions of the urban planning regulations. In this aspect, the performances in the production of the landscape are the responsibility of government and legal instruments have parameters with different scales of urban planning and management. The study of support decision making with a focus on facilitating the decoding of the language of urban parameters systems becomes critical to the development of this thesis.

The axis of the contribution of this thesis is grounded in creating and proposing a three-dimensional methodological route simulation of urban landscapes with a focus on volumetric approach between the realities of the built city , the projected city - shaped by laws and urban parameters - and the perceived city - created from mental maps of their territory by citizens . The focus is to build a bridge between city x real cool city with a view to support the proposition of modeling and analysis for landscape planning and management actions in addition to bringing a visual tool that allows the user to have a new perspective of perception and recognition of space lived, with a view to assisting the various actors in the perception of space encourage the sharing of decision making.

In this sense, one of the pillars of this thesis is the geoprocessing techniques that has been contributing to the development of applications, scenarios and simulations of landscapes that assist in decision making in urban intervention process. This work aims to make a review on the state of the art GIS in urban planning, the new challenges of representation of the territory, the models and modeling for urban environments to introduce new concepts, paradigms, methodologies and techniques for urban planning and management .

Was chosen to work with three-dimensional models since it has been a tool with great potential for communication landscape and a way of decoding the urban language for the various actors in town. It was clear that the three-dimensional models allow a better view of the landscape potential approved by regulatory together planners and technicians responsible for the consent of urban actions.

The benefits of moving work of two-dimensional data to three-dimensional data are depicted in this thesis through an illustrative test with a small group to validate the proposed model.

In practice stage, the methodological route will be explored in detail since it is at this stage where is concentrated the major contribution of this work. The first step will be to show how it was done building the three-dimensional base from two-dimensional data or raw data. The reasons and justifications for the choice of system that involves the application of new converging concepts from geographic information systems and building infrastructure modeling will also be presented. We will show how the assembly of three-dimensional geographic information system was conducted. At a later stage, you can see the methodological procedures for carrying out simulations and creating volumetric scenarios beyond the ways feedback system underpinning proposals for further intervention, management and restrictions on urban space. The results of these simulations were inserted in three different systems and environments for conducting interactivity, usability, communication and immersion tests and evaluation of the gain information from both the proposed model and the systems used to disseminate this three-dimensional information .

Throughout this process, new tools and concepts such as Geocollaboration, for the acquisition of spatial data have been used through the use of collective intelligence and knowledge and voluntary basis for the generation of three-dimensional data as a way to decrease the value and efforts in assembly process of the geographic database.

Also in this thesis, a review was made of the proposed methodology for verifying whether you can reapply the same script to other cities in Brazil and the world. This step is done and some propositions presented new techniques as an alternative route in the replication process of this methodology here proposed.

The results, shown through three interfaces to aid in visualization of existing city and planned to assess, with a group of tests, the perception of the city, the interpretation of urban parameters, the importance of visualization in urban modeling, to identify areas conducive to urban growth and the recognition that the city in fact modeled by the parameters is only one that goes through the approval of projects, because the informal city is much larger and more expressive than legal.

Keywords: Geovisualization, Three-dimensional models, GIS, Urban Planning.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Uso dos mapas na visualização cartográfica	40
FIGURA 2 - (Cartografia)3 – Representação do “Espaço” de uso do mapa.....	41
FIGURA 3 - Matriz de uso do mapa	42
FIGURA 4 - Mosaico de fotografias.	48
FIGURA 5 – Faixas cilíndricas de imagens mosaicadas	48
FIGURA 6 – Panorama com eixos visuais radiais	48
FIGURA 7 – Exemplo da rede de nós criada para a montagem da Navegação Virtual.	49
FIGURA 8 - Esquema dos links (associação ou conexão) criados	50
FIGURA 9 – Navegação através dos Hotspots.	50
FIGURA 10 – Esquema BIM é um processo que promove integração.....	54
FIGURA 11 – Processo de cognição visual no cérebro	60
FIGURA 12 - Cidade de Bologna – segunda metade do sec. XVI	70
FIGURA 13 - Planta da capital Imperial de Kioto, Japão, 800 D.C.	71
FIGURA 14 - O arranjo de Barcelona, projetado por Idelfonso Cerda em 1859.....	71
FIGURA 15 - Plano original da cidade de Palmanova, nas proximidades de Veneza, 1593	72
FIGURA 16 - Esquema de Roma – época de Sérvio Túlio, gravura de 1527.....	72
FIGURA 17 - Esboço do projeto proposto para cidade de Magnitogorsk, na URSS, concebida por Ivan Leonidov em 1930. Cidade linear	73
FIGURA 18- Desenhos de Hugh Ferriss para simulação da Lei de Zoneamento de 1916	74
FIGURA 19 - Tipologia Arquitetônica resultante de parâmetros urbanísticos antes e depois da Lei de Zoneamento em Nova York de 1916. Edifícios: Equitable Building (1915) e Chrysler Building (1930)	74
FIGURA 20 - Croquis de gabaritos propostos por Agache para o Rio de Janeiro, 1926-1930	75
FIGURA 21 – Contiguidade das parcelas	78
FIGURA 22 - Tabela associada à parcela	78
FIGURA 23 - A parcela cadastral Fonte: DALE; MCLAUGHLIN, 1990.	79
FIGURA 24 – Fluxograma das etapas da tese.....	83
FIGURA 25 – Exemplos de modelagem territorial do cityengine	85
FIGURA 26 – Modelo Digital de Elevação, mapa de obstáculos e lotes criados	85
FIGURA 27 - Parametrização de lotes, vias e quadras - CityEngine.....	86
FIGURA 28 – Morfologia Viária Urbana – CityEngine. Essa ilustração apresenta as diversas opções de morfologia de vias ofertadas como template do software CityEngine.	87
FIGURA 29 – Construção de ruas pelo usuário	88
FIGURA 30 – Modelo com Edificações	89
FIGURA 31 – Respostas paisagísticas para as mudanças de parâmetros	90
FIGURA 32 – Quadro de parâmetros urbanísticos	92
FIGURA 33 – Algoritmo base das regras de zoneamento	93
FIGURA 34 – Ilustração das edificações dos prédios nos zoneamentos cujo parâmetro altura máxima da divisa é superior a 5m	95
FIGURA 35 – Mapa de localização dos lotes escolhidos para serem validadores das regras criadas	97
FIGURA 36 – Pré-processamento dos dados no ArcGIS	98
FIGURA 37 – Parcelas de Ruas	99
FIGURA 38 – Criação de cena no CityEngine.....	100
FIGURA 39 – Quadras e lotes importados para dentro do CityEngine	100

FIGURA 40 – Definição das faces do lote que dão frente para a rua	102
FIGURA 41 – Tela para criação das regras de parametrização	103
FIGURA 42 – Regras desenvolvidas em Python e na interface do sistema.....	104
FIGURA 43 – Regras paramétricas no CityEngine.....	105
FIGURA 44 – Estrutura das regras no CityEngine	106
FIGURA 45 – Modelo da cidade – Perspectiva 1	109
FIGURA 46 – Modelo da cidade – Perspectiva 2	110
FIGURA 47 – Cidade Modelada – Perspectiva 3	110
FIGURA 48 – Cidade Modelada – Perspectiva 4	111
FIGURA 49 – Visão de perspectiva da nuvem de pontos que permite uma visualização do resultado do levantamento a laser e o grau de detalhamento das feições capturadas pela tecnologia citada.	114
FIGURA 50 - Vista de topo da nuvem de pontos através da representação de cores hipsométricas	115
FIGURA 51 - Identificação visual das edificações. Nessa imagem é possível ver um aglomerado de pontos que mostram as feições existentes na paisagem (sinalizado através do retângulo vermelho) e alguns pontos bem acima desse aglomerado (sinalizados pelo retângulo verde). Os pontos que se encontram deslocados da concentração dos pontos são erros no mapeamento a laser que devem, então, ser excluídos da amostragem dos pontos.	115
FIGURA 52 - Vista de perfil dos pontos e cálculo da altura os pontos mais altos. Essa imagem corresponde a vista de perspectiva do retângulo vermelho da imagem 50. Mostra a edificação mais alta e, conseqüentemente, o valor da altura que deve ser considerado no momento de correção das amostras dos pontos.	116
FIGURA 53 - Modelo Digital de elevação considerando que os pontos em laranja representam os pontos relacionados ao terreno e pontos brancos correspondem às demais feições.....	116
FIGURA 54 - Pontos em laranja correspondem ao terreno, pontos em verde correspondem à vegetação, pontos brancos correspondem aos erros de varredura e os vermelhos, as edificações.	117
FIGURA 55 - Vista de perfil dos pontos em vermelho correspondentes a edificações e verdes correspondem à vegetação	117
FIGURA 56 - Em vermelho, o vetor gerado automaticamente a partir dos pontos relacionados às edificações.....	118
FIGURA 57 – Modelo Digital de superfície – Modelo Digital de Elevação juntamente com as edificações a partir dos dados de laser	118
FIGURA 58 – Cálculo da altura a partir do ponto mais alto da edificação a partir do ponto mais baixo do terreno	119
FIGURA 59 – Modelagem tridimensional de uma porção da cidade de Belo Horizonte	120
FIGURA 60 – Metodologia que mostra as opções dos blocos modeladores e as visadas das edificações na imagem de satélite nas quais devem ser encaixadas os blocos modeladores para a construção da edificação texturizada.	122
FIGURA 61 – Exemplo de encaixe dos blocos na edificação e processo de texturização automático.	122
FIGURA 62– Mercado Central Modelado a partir do Google Sketch up e exportado para o ArcScene/ArcGlobe.....	124
FIGURA 63 – Zoom na Praça da Liberdade com edificações modeladas a partir do Google Sketch up e exportado para o ArcScene/ArcGlobe.	124

FIGURA 64 – Recorte da cidade real extrudada sem textura vista através do software cityengine	125
FIGURA 65 – Polígono das vias	126
FIGURA 66 – Pontos das vias para cálculo de largura	127
FIGURA 67 – Modelo das vias no CityEngine	128
FIGURA 68 – Entrada dos dados no CityEngine	129
FIGURA 69 – Cidade construída modelada em 3D no CityEngine	131
FIGURA 70 – Opções de parâmetros a serem inseridos ou excluídos pelo usuário	131
FIGURA 71 – Representação de vias	132
FIGURA 72 – Polígonos Multipath no qual cada vértice recebe um número identificador	133
FIGURA 73 – Ilustração de numeração dos vértices de acordo com a forma de desenho da feição	133
FIGURA 74 – Exemplo de um recorte da cidade Legalmente construída em modelos tridimensionais	135
FIGURA 75 – Comparativo entre as duas cidades - Edificações existentes geradas a partir da nuvem de pontos em amarelo, envelopes gerados a partir das regras dos parâmetros urbanos em vermelho	136
FIGURA 76 – Diferentes envelopes representando os mesmos parâmetros	136
FIGURA 77 – Envelopes indicando estoques construtivos em um único envelope. Em azul o construído e na soma do azul com o rosa o volume permitido, ou mesmo demonstrar, por outra cor, quando o estoque é negativo porque o construído já excedeu o permitido	138
FIGURA 78 – Projeção das edificações legalmente permitidas e os lotes	139
FIGURA 79 – Coluna de Volume gerada na tabela de atributos	140
FIGURA 80 – Na figura A, as edificações em cinza são as existentes e as em amarelo representam os estoques construtivos. Na figura B, as edificações existentes estão em cinza e em vermelho os déficits volumétricos	143
FIGURA 81 – Figura com as edificações existentes em cinza, os estoques construtivos em amarelo e os déficits em vermelho.	143
FIGURA 82 – Extração das projeções a partir da aplicação de filtros nas ortofotos ...	146
FIGURA 83 - Parâmetros utilizados em cada nível de segmentação	147
FIGURA 84 – Resultado da segmentação	147
FIGURA 85 – Modelo Digital de Superfície (MDS) resultante do cálculo do Modelo Digital de Elevação (MDE) e das edificações em visualização 3D	148
FIGURA 86 – Projeção das edificações com a nuvem de pontos	148
FIGURA 87 – Edificações em 3D a partir do cálculo da altura estimada	149
FIGURA 88 - Ilustração simplificada de como diferentes contextos e configurações podem influenciar o comunicação e discussão entre a fonte e o receptor	154
FIGURA 89 – Visualização das duas cenas da cidade no WebScene	159
FIGURA 90 – Ambiente de visualização – CAVE	160
FIGURA 91 – Ambiente virtual da CAVE	161
FIGURA 92 – Tabela com os resultados do teste de usabilidade	164
FIGURA 93 – Mapa dos pontos visitados e da visibilidade local	171
FIGURA 94 – Resultados do teste de Comunicabilidade	176
FIGURA 95 – Resultado da avaliação dos ambientes	177
FIGURA 96 – Simulação tridimensional das edificações existentes criadas a partir da projeção das edificações e cálculo de altura feito a partir de dos pontos de visada da Rua Netuno.	181

FIGURA 97 – Simulação tridimensional dos envelopes permitidos de acordo com o zoneamento vigente na Rua Netuno.	182
FIGURA 98 – Simulação tridimensional dos envelopes em caso de alteração do coeficiente de aproveitamento para 1.7 na Rua Netuno.	183
FIGURA 99 – Simulação dos volumes existentes (em cinza) e dos envelopes permitidos (em laranja) mostrando que ainda existem muitos estoques construtivos nesse local.	184
FIGURA 100 – Simulação Tridimensional dos volumes existentes (cinza) e dos envelopes com o coeficiente de aproveitamento 1.7 (roxo)	185
FIGURA 101 – Simulação tridimensional dos volumes permitidos (cinza) e dos envelopes com o coeficiente de aproveitamento alterados para 1.7 (verde) na Rua Netuno	186
FIGURA 102 – Na figura A, a Rua Netuno simulada no ambiente da Caverna Digital mostrando as edificações existente. Na figura B, o mesmo ponto vista da Rua Netuno com os envelopes autorizados	186
FIGURA 103 – Simulação tridimensional do bairro Santa Lúcia na Caverna Digital.	187
FIGURA 104 – Simulação dos Volumes existentes e autorizados na Caverna Virtual	187
FIGURA 105 – Simulação dos Volumes Permitidos e com Aumento do Coeficiente de Aproveitamento na Caverna Virtual.....	188
FIGURA 106 – Resposta de acordo com o ambiente.....	188

LISTA DE ABREVIações

ADEs -	Áreas de Diretrizes Especiais
ATC -	Área Total Construída
BCI -	Boletim de Cadastro Imobiliário
BIM -	Building Information Modelling
CA -	Coeficiente de Aproveitamento
CAD -	Computer aided design
CAVE -	Cave Automatic Virtual Environment
CEO -	Chefe Executivo de Ofício
CGA -	Caixa Visual de Apresentações
CSCW -	Trabalho Cooperativo Suportado pelo Computador
CTM -	Cadastro territorial multifinalitário
ETH -	Eidgenössische Technische Hochschule (Instituto Federal de Tecnologia)
FNEA -	Fractal Net Evolution Approach
Gvis -	Geographic Visualization
ICA -	International Communication Association
INDE -	Infraestrutura de Dados Espaciais
	Integrated Sustainable Pan-European Infrastructure for Researchers in
INSPIRE -	Europe
IPTU -	Imposto predial territorial urbano
LIDAR -	Light Detection And Ranging
MDE -	Modelo Digital de Elevação
MDS -	Modelo Digital de Superfície
MPOT -	Modelagem Paramétrica da Ocupação do Território
ODDC -	Outorga Onerosa do Direito de Contruir
PBH -	Prefeitura de Belo Horizonte
PC -	Personal Computer
PDDU -	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
PPS -	Planning Support System
RA -	Realidade Aumentada
RV -	Realidade Virtual
SIG -	Sistema de Informação Geográfica
SVTC -	sistemas de visualização de trabalho coletivo
TO -	Taxa de Ocupação
UFMG -	Universidade Federal de Minas Gerais
URSS -	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
US -	United States (Estados Unidos da América)
USP -	Universidade de São Paulo
VANT -	Veículo Aéreo Não Tripulado
VIA -	Avaliação dos impactos visuais
ZA -	Zona Adensada
ZAP -	Zona de Adensamento Preferencial
ZAR-1 -	Zona de Adensamento Restrito
ZAR-2 -	Zona de Adensamento Restrito

ZCBA -	Zona Central do Barreiro
ZCBH -	Zona Central de Belo Horizonte
ZCVN -	Zona Central de Venda Nova
ZE -	Zonas especiais
ZEIS -	Zonas de Especial Interesse Social
ZHIP -	Zona do Hipercentro
ZP-1 -	Zonas de Proteção
ZP-2 -	Zonas de Proteção
ZP-3 -	Zonas de Proteção
ZPAM -	Zonas de Preservação Ambiental

SUMÁRIO

AGRADECIMENTO	1
RESUMO	2
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE ABREVIACÕES	12
SUMÁRIO.....	14
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 APRESENTAÇÃO DA TESE	21
3 O ESTADO DA ARTE DO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO DO TEMA	23
3.1 Teorias da Cidade, Produção do Espaço Urbano e Reformas Contemporâneas ..	23
3.2 Da Constituição de 1988 ao Estatuto da Cidade.....	25
3.3 Instrumentos de Regulação Urbana.....	27
3.4 Princípios em Geoprocessamento.....	31
3.4.1. <i>Geoprocessamento e o Planejamento Urbano</i>	31
3.4.2. <i>Geoprocessamento e os novos paradigmas – os desafios na representação do território</i>	37
3.4.3 <i>Geovisualização na tomada de decisões no planejamento urbano</i>	44
3.4.3.a. Modelos de Navegação Virtual.....	47
3.4.3.b Building Information Modelling	51
3.4.3.c Geodesign	54
3.4.4. <i>Realidade Virtual e Realidade Aumentada</i>	58
3.4.4.a. Cognição e Percepção Espacial – Modelos tridimensionais e ambientes de imersão.....	60
3.4.4.b. Viés Cognitivo na Tomada de decisões.....	63
3.4.5. <i>Sistemas de Informação Geográficos tridimensionais</i>	65
3.4.6. <i>Visualização Urbanística</i>	69
3.4.7. <i>Cadastrros Multifinalitários e Parcelas</i>	76
4.1 Primeira etapa: Definição do software	84
4.2 Segunda Etapa: Teste do software escolhido	91
5.1. Organização da base informacional.....	113

5.1.1. Modelagem da cidade existente, através de nuvem de pontos (tecnologia Lidar).....	114
5.1.2. Modelagem das vias de acesso.....	125
5.1.3. Montagem do File Geodatabase.....	128
5.2 Montagem do Sistema.....	129
5.2.1. Cidade Construída.....	130
5.2.2 Vias.....	131
5.2.3. Cidade Legalmente Permitida.....	132
5.3 Simulação.....	135
6.1. Questionamento sobre possível mudança de procedimento.....	144
6.2 Proposição de entrevista de avaliação com grupo de testes.....	149
6.3.2 Interação dos modelos tridimensionais.....	152
6.3.3 Comunicabilidade e Aplicabilidade.....	153
6.3.4. Escolha do grupo de testes.....	156
6.4. Realização dos testes.....	157
6.4.1. Teste de Usabilidade.....	158
6.4.2. Teste de Interatividade.....	160
6.4.3. Teste de Comunicabilidade.....	162
6.4.4. Compilação dos resultados.....	163
6.4.5. Comparação entre os três ambientes.....	177
6.4.6 Análise dos Resultados Alcançados.....	189
7 CONCLUSÃO.....	191
7.1 Trabalhos Futuros.....	195
REFERÊNCIAS.....	196
ANEXO 1 - REGRAS.....	212
ANEXO 2 - SCRIPTS.....	230
ANEXO 3 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA.....	239
ANEXO 4 - RESULTADO DO TESTE DE COMUNICABILIDADE.....	240

1 INTRODUÇÃO

O processo de produção do espaço, pautado na reprodução da sociedade, realiza-se hoje produzindo novas contradições: “suscitadas pela extensão do capitalismo, o que nos coloca diante da necessidade de aprofundar o debate em torno das contradições entre o espaço público e o privado, espaço do consumo-consumo do espaço, abundância relativa da produção- novas raridades, fragmentação – globalização do espaço e instrumentos de reforma urbana” (DAMIANI, 1999). Portanto, a contradição entre o processo de produção social do espaço e sua apropriação privada está na base do entendimento da reprodução espacial hoje.

Nestas linhas, a sociedade produz o espaço e passa a entender o seu papel como força construtora e como elemento integrante desse espaço:

O plano da produção articulada à produção voltada para dois planos: o desenvolvimento das relações de produção de mercadoria e da produção da vida- num sentido mais amplo e profundo- o que envolve a relação de apropriação – dominação em uma sociedade fundada na troca. No primeiro caso a reprodução de mercadorias, envolve o reprodutível e o repetitivo, referindo-se diretamente, a atividade produtiva que produz coisas no espaço, ao mesmo tempo em que produz o espaço, enquanto mercadoria (CARLOS, 1999. p. 64).

Nesta vertente de raciocínio podemos perceber as contradições do espaço, de um lado as forças do capital que se assentam na parceria público-privada com ênfase no desenvolvimento econômico através das intervenções especulativas do lugar, que atendam a objetivos imediatos, e do outro a necessidade de reformas urbanas que apóiam a construção da cidade como um espaço de vida social onde se deve prevalecer o bem estar de todos (LEFEBVRE, 1995, p. 27).

As inquietudes que dão base a essa tese podem colaborar nas discussões sobre a reprodução do espaço urbano, pois se questiona: Como utilizar as técnicas de geoprocessamento para modelar a cidade real e a cidade legal no intuito de fornecer ferramentas que ilustrem as transformações na paisagem e ajudem a regular as dinâmicas urbanas? Como simular a paisagem urbana tridimensional a fim de mostrar como a cidade seria segundo as normativas legais, de modo que o planejamento das

mudanças e as contradições “do” e “no” espaço urbano sejam feitas de forma mais coerente? O modelo tridimensional é uma forma de decodificar a linguagem e auxiliar na visualização das alterações urbanísticas que estão sendo planejados para o espaço?

A modelagem ainda é identificada como uma das áreas mais inovadoras na ciência do geoprocessamento. A criação de modelos de simulações da paisagem já foi muito utilizada em projetos voltados para o meio ambiente, por exemplo, na previsão da floresta amazônica para os próximos anos. Em se tratando de área urbana existe um complicador, pois as cidades são elementos vivos onde os limites entre o econômico, o social e o político não param de se recompor em expansão e transformação permanentes.

Para a adequada análise, planejamento da expansão e apoio ao desenvolvimento do espaço urbano - baseado no estudo das ações ora dos agentes transformadores públicos, ora dos privados - são necessárias representações dinâmicas das informações que compõem os fixos e fluxos desses sistemas, pois esses parâmetros estão em constante alteração.

Um grande desafio da tecnologia aplicada ao planejamento urbano é o desenvolvimento de técnicas e metodologias que sejam capazes de representar adequadamente variáveis dinâmicas e criar cenários futuros da possível conformação da cidade para definições de melhores estratégias e tomadas de decisão. Entre essas simulações, destacam-se os estudos de modelos tridimensionais da cidade legalmente permitida, pois eles respondem pelas definições do que está sendo proposto pela cidade através de variáveis que inicialmente são representadas de formas abstratas, absoluta e descontextualizadas em tabelas alfanuméricas.

O objetivo da modelagem tridimensional é fazer um retrato da cidade (seja a construída ou a legalmente permitida) de forma a permitir uma interpretação relativa e contextualizada.

Os modelos produzem retratos ou cenários de uma realidade recortados segundo critérios espaciais, temporais, metodológicos ou conceituais. Eles são representações simplificadas da realidade, para que eles se aproximem da melhor forma possível da

realidade, eles devem ser ajustados por procedimentos repetem, da melhor forma possível, o raciocínio especialista do ser humano. Assim, o estudo a partir da abordagem heurística permite entender os procedimentos que regem o pensamento e a lógica do conhecimento sobre o comportamento espacial, ou seja, permite entender a relação entre as variáveis de forma a identificar qual sofreria alteração a partir da modificação de outra camada de informação.

Muitas vezes na estruturação de modelos de representação da realidade é necessário aprender com os dados e extrair desse processo de análise exploratória as possíveis visões ou recortes que melhor simbolizem o todo e sua complexidade. A abordagem sistêmica propõe processos de decomposição e composição, de análise e síntese, para identificação das variáveis que são as componentes principais do sistema, assim como das lógicas de suas conexões e interações.

O processo de análise exploratória como base para a proposição de um modelo de representação da realidade é denominado procedimento heurístico. Segundo Christofolletti (1997), a abordagem heurística é um “método intuitivo de tentativas para abordar um problema e chegar a uma solução final mediante aproximações sucessivas.” Com vistas a propor modelos de representação da complexidade territorial urbana e em sua face tridimensional, o presente trabalho explora as necessidades observadas de processos de visualização da informação, e propõe uma forma de utilizar o geoprocessamento para promover a decodificação da informação sobre a paisagem volumétrica, legal e real.

Para que as discussões propostas pela tese sejam desenvolvidas, escolheu-se como estudo de caso o território de Belo Horizonte, que serve de pano de fundo para as discussões relativas às necessidades e ganhos de se promover a modelagem da paisagem resultante de normativas de parâmetros urbanísticos, pelo processo que Moura (2012) defende como “Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial” ou “Parametric Modeling of Territory Occupation”.

No estudo de caso de Belo Horizonte são apresentados processos de modelagem de geoprocessamento resultantes da aplicação de diferentes coleções de normativas e formas de ocupação territorial. A escolha do município de Belo Horizonte se deu devido

à facilidade de aquisição de dados para a criação de cenários, e por estar em um momento interessante de questionamentos no sentido de definição de áreas propícias ao adensamento urbano no contexto do plano diretor metropolitano, sobretudo no que diz respeito à definição de coeficientes limítrofes, aumentos de coeficientes por operações consorciadas¹, transferências do direito de construir², outorga onerosa do direito de construir³ e instrumentos relacionados a esta negociação de coeficientes. Para a adequada escolha dos limites aceitáveis para a transformação da paisagem urbana, sobretudo por participação cidadã, devem ser realizados significativos investimentos em visualização, como auxílio na percepção do espaço e nas tomadas de decisão.

A metodologia dessa pesquisa é baseada na investigação e modelagem das edificações na cidade, na forma de simulação de envelopes⁴ da paisagem autorizada pelas normativas e parâmetros urbanísticos, seguida da avaliação do ganho de informação obtido com o processo proposto. O modelo de geoprocessamento permitirá experimentar a espacialização dos parâmetros urbanísticos máximos estabelecidos no Plano Diretor ou em projetos de intervenção urbana (a exemplo de transformações em áreas de diretrizes especiais – ADEs), permitindo a decodificação da linguagem tabular, textual ou em mapas em visão zenital (bidimensionais) das normas para a comunicação da linguagem visual do modelo tridimensional.

A partir da visualização da paisagem urbana permitida por lei, ou eventualmente proposta por projeto de desenho urbano, seguida da visualização da paisagem urbana

¹ O Estatuto da Cidade define a operação urbana consorciada como "o conjunto de intervenções e cedidas coordenadas pelo Poder Público municipal, com a participação dos proprietários, moradores, usuários permanentes e investidores privados, com o objetivo de alcançar em uma área transformações urbanísticas estruturais, melhorias sociais e a valorização ambiental".

² Segundo o Estatuto das Cidades é "o instrumento pelo qual o Poder Público Municipal autoriza o proprietário de imóvel urbano a alienar ou a exercer em outro local, mediante escritura pública, o direito de construir previsto na Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo relativo ao Coeficiente de Aproveitamento Básico – Cab".

³ Segundo Figueiredo, 1990, p. 32, a OODC refere-se à concessão emitida pelo Município para que o proprietário de um imóvel edifique acima do limite estabelecido pelo coeficiente de aproveitamento básico, mediante contrapartida financeira a ser prestada pelo beneficiário.

⁴ Conceito apresentado por CECÍLIA, Bruno Luiz Coutinho. Palestra "A Legislação Urbana e a imagem da cidade" proferida para alunos da Disciplina Planejamento Urbano: Problemas de Planejamento Local, no Curso Noturno da EA/ UFMG. 2011 em que menciona o Art. 65 da Lei nº 363 de 04 de set. de 1930 que prevê um envelopamento desenhado por faces: "De um modo geral, as construções devem ser contidas em um sólido, constituído por faces planas verticais [...]" (ZYNGIER, 2012, p. 26)

real e pelo cotejo entre elas, é possível identificar as áreas que ainda podem receber mais coeficientes e verticalizações segundo as normativas legais ou, se aplicados estudos de capacidade de carga urbana, a identificação do aceitável segundo as condições de recebimento de novos estoques volumétricos sem riscos de desequilíbrio dos limites considerados adequados pela sociedade.

O principal motivo de investigação dessa tese foi à busca de um instrumento de visualização tridimensional que permitisse que as cidades legalmente construídas, moldadas pelos parâmetros urbanísticos, se aproximassem das expectativas dos cidadãos, ou seja, a paisagem desejada e percebida. Destaca-se então, a necessidade de se fazer a construção de um roteiro metodológico para a construção da base de dados tridimensionais para então fazer a proposição de sistemas e interfaces para a visualização desses dados.

Espera-se como resultado da expectativa dessa tese, um roteiro que auxilie na mudança a construção bidimensional para tridimensional além do fornecimento de uma ferramenta de comunicação visual da paisagem urbana que permite decodificar as informações sobre parâmetros urbanísticos, facilitando tanto o processo de tomada de decisões por parte do poder público quanto à aproximação dos cidadãos no compartilhamento de decisões para fazer valer o princípio de propriedade cumprindo sua função social, definição constante da Constituição Federal do Brasil (1989) e do Estatuto da Cidade (2001).

Finalmente, ainda como justificativa da relevância ao tema, destaca-se a necessidade de ampliar o debate sobre os métodos, variáveis e técnicas utilizadas na representação relativa do espaço urbano.

Com isso, essa tese visa responder a seguinte questão norteadora:

“A construção de uma metodologia baseada em técnicas de geoprocessamento para a simulação tridimensional da cidade de forma a facilitar a representação da paisagem urbana legal e real, modelada por parâmetros urbanísticos.”

2 APRESENTAÇÃO DA TESE

Essa tese será dividida em três grandes etapas, sendo dividida em sete capítulos.

O primeiro capítulo visa o resgate do pensamento urbanístico e o estado da arte para apresentar o momento propício que estamos vivendo em termos de normas e leis que apoiam o uso do geoprocessamento no planejamento e gestão urbana. Ainda dentro da etapa de revisão bibliográfica, apresento o momento que o geoprocessamento vem passando quanto à necessidade de difusão da informação para o usuário final não especialista. Nesse sentido, é realizada uma apresentação dos novos paradigmas de representação da informação e técnicas/sistemas que vêm sendo utilizadas para que a comunicação dos dados georreferenciados deixe de ser apenas entre especialistas. Para o fechamento desse primeiro capítulo, é apresentado como se dá a convergência dos interesses entre esse novo momento do geoprocessamento alinhado com os anseios da gestão urbana no conhecimento do território favorecendo um novo momento no geoprocessamento para o planejamento urbano.

Nos dois capítulos seguintes, é apresentado um roteiro metodológico de como fazer a construção do modelo proposto através do tripé de softwares escolhidos, ArcGIS, ArcSCENE e CityEngine. Essa etapa é detalhada pois é onde se concentra a principal contribuição desse trabalho. A primeira etapa foi mostrar a escolha do software. Uma vez definido o caminho de trabalho com os modelos tridimensionais foi importante verificar qual seria o aplicativo ou os aplicativos que dariam suporte para a construção de um sistema multimídia e interativo, valores necessários para o momento de difusão dos dados geográficos.

O aplicativo escolhido, os objetivos do sistema e as aplicações de uso, iniciaram-se a etapa da montagem da base de dados. Para o modelo que está sendo proposto, os dados necessários ainda estavam bidimensionais ou brutos. Para tanto foi feito um roteiro metodológico para a construção dos dados tridimensionais para a simulação volumétrica da cidade construída e das vias. Após a construção da base de dados, iniciou-se a etapa da montagem do sistema de informação geográfico tridimensional. Nessa etapa mostramos como os dados foram inseridos dentro do CityEngine e como foram feitas as

construções dos modelos de cidade legalmente permitida, cidade construída e vias. O passo seguinte foi a montagem das análises espaciais tridimensionais que consistiu na etapa de simulações de estoques e déficits construtivos além de construção de cenários em caso de alteração dos parâmetros urbanísticos como coeficiente de aproveitamento.

A terceira etapa, consistida pelos capítulos seis e sete, foi a análise da metodologia proposta considerando primeiramente as dificuldades e restrições na montagem da base de dados tridimensionais. Em um segundo momento, inseri os dados em três ambientes e interfaces diferentes para um teste ilustrativo com um pequeno grupo de pessoas relacionadas profissionalmente com o tema urbanismo. O objetivo foi verificar o ganho de informação com o uso de dados tridimensionais e a aceitabilidade de trabalho com os dados tridimensionais. Outro objetivo foi a identificação, mesmo que inicial, se a proposta da tese é uma ferramenta que possa ser utilizada na elaboração de propostas de intervenção, manejo e restrições no planejamento e gestão urbana compartilhada. O fechamento final foi feito após a análise dos resultados provenientes desses testes aplicados.

3 O ESTADO DA ARTE DO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO DO TEMA

São apresentadas reflexões sobre o papel da cidade e a produção do espaço urbano, com vistas a apresentar o papel dos agentes modeladores da paisagem, tanto os agentes caracterizados pelos valores da cultura, como aqueles que vêem o território urbano como reprodução dos valores imobiliários.

Discutidos os desafios da cidade, são apresentados conceitos relacionados às geotecnologias, sobretudo sobre o papel da visualização permitida pelo emprego das geotecnologias, uma vez que o presente trabalho defende a força dessas ferramentas no planejamento e desenho urbano.

Entre as geotecnologias, são abordados os novos desafios das ferramentas de visualização e de apoio aos processos de caracterização, análise e simulação da paisagem modelada por parâmetros urbanísticos, assim como as normativas que apoiam os novos processos. As normativas em vigência não só apoiam como criam a expectativa de emprego de novas ferramentas que são objeto de trabalho da presente tese.

3.1 Teorias da Cidade, Produção do Espaço Urbano e Reformas Contemporâneas

O espaço urbano é um elemento catalisador para o acúmulo de capital e a reprodução da lógica capitalista ocultada pela ação dos poderes públicos e da iniciativa privada no espaço urbano.

O modo de produção capitalista, ao se reproduzir, o faz sempre ampliando a escala e abraçando novos setores da produção, novas relações e esferas da vida. Lefebvre (1999) destaca a dominação do espaço por um processo capitalista em meados dos anos 60 e sua crescente e marcante importância nas esferas de acumulação capitalista.

Diante dessa relação entre o capital e o espaço, registra-se a crise urbana em direção ao empreendedorismo.

O modo de produção capitalista passou, nas últimas décadas do século XX, por um processo de reestruturação econômica produtiva e financeira. Surgiram, então, novas estratégias de produção e reprodução do valor em todas as escalas e níveis econômicos por parte dos agentes interessados frente à crise do capitalismo dos anos 70. O conjunto de mudanças observadas na atividade econômica do modo de produção capitalista contemporâneo faz parte da resposta tradicional encontrada pelo capital para sair da crise através do rebaixamento do valor correspondente à força de trabalho e do uso intensivo de novas tecnologias e estratégias de acumulação (revolucionando os meios de produção). E a resposta à crise geral do capitalismo teve seu correspondente nas políticas urbanas e no próprio urbanismo a partir da década de 1980. (BOTELHO, op. cit., p 113)

Frente à crise econômica, o planejamento urbano e o urbanismo assumem uma função diferente do que a mera regulação do setor privado, como defende Galvão (2012, p. 47).

Trata-se da promoção do crescimento econômico e ação empresarial para a atração de investimentos que dinamizem a economia local reestruturando sua cadeia produtiva e redefinindo seu papel econômico. Essas cidades buscaram, então, produzir uma imagem renovada de si mesmas, dentro da lógica de competição interurbana para atrair investimentos (GALVÃO, 2012, p. 47).

Essa nova posição dos poderes públicos atribui uma nova atuação denominada por Harvey (1996) como empresariamento ou empreendedorismo. Os investimentos e permissões para atuação no espaço urbano se tornam uma moeda de negociação entre o setor público e privado. O poder público, por sua vez, busca aumentar a atratividade local para se tornar interessante no processo de negociação de investimentos.

Em tempos mais recentes, houve uma diminuição dos custos de deslocamento e, com isso, a redução das distâncias através dos rápidos meios de deslocamento, a sociedade passa por uma transformação estrutural com novas formas e configurações espaciais (CASTELLS, 1996). A circulação de pessoas, bens, capital gera um interesse na valorização dos espaços urbanos e uma competição para o desenvolvimento capitalista através de atração de empregos, investimentos e consumo turístico. Nesse sentido, os atores públicos criam esforços para o investimento de capital privado e de valorização de qualidades locais além da divulgação do espaço urbano através do *citymarketing*.

O city marketing é uma colaboração público-privada, com ênfase nos Projetos Estratégicos, atração de investimentos em serviços, transformação da cidade em lugar de consumo ao invés de lugar de produção. Estas são algumas das estratégias que o poder público local busca para dinamizar a economia frente a um contexto internacional cada vez mais instável e competitivo (BOTELHO, 2004, p. 114).

Desta forma, na esfera das generalidades e sob um primeiro olhar, o urbanismo segue as leis do mercado imobiliário nas cidades mundiais para o paradigma presente no que se refere à organização dos espaços de consumo, e não mais necessariamente da produção. O espaço público se torna espaço de ações de interesses privados. Nesse sentido, examina-se um processo de renovação urbana, e surge um alerta para como deve ser o estudo das novas formas de produção do espaço da cidade.

As alterações dos patamares tecnológicos do mundo industrial contemporâneo subvertem a lógica da cidade moderna com o aumento da densidade, alterações e diversidade de usos comuns, a reinterpretação e confusão entre os espaços públicos e privados, e as subjetividades de uma nostalgia individualizada, gerando amplas reformas urbanas e a inversão de paradigmas e concepções territoriais (VICENTINI, 2001, p. 6).

Verifica-se, diante do exposto, a necessidade de reformas urbanas para atender os interesses não apenas do capital, mas permitindo que a cidade exerça sua função social. Essas mudanças afetam a organização social e configuração da cidade.

O Estado então assume as funções regulatórias de transformação do espaço, de um lado através do apoio as mudanças rápidas de grande transformação espacial dirigida por ações privadas, cirurgias urbanas, e de outro lado através de normativas legais nos planos regulatórios que, apesar de possuírem uma dinâmica mais lenta de transformação, dão aos cidadãos o direito popular nos processos de planejamento e aprovação das políticas urbanas.

A presente investigação visa explorar as condições das ferramentas de geoprocessamento para dar apoio aos processos de simulação de transformação paisagística. Estas transformações nas paisagens estão presentes nas ações públicas tanto de cirurgias urbanas, quando são negociadas contrapartidas e se altera rapidamente a paisagem, como na aprovação de modelos de ocupação dos lotes segundo os Planos Diretores e na definição de áreas que receberão intervenções individuais lote a lote, mas que resultarão em transformação lenta da paisagem, mas não menos importante que as ações mais concentradas no tempo.

3.2 Da Constituição de 1988 ao Estatuto da Cidade

A Constituição democrática de 1988, conhecida como Constituição Cidadã, foi fruto do processo de redemocratização em curso no país, teve uma importância fundamental.

Sua importância está baseada no fato de que foi a primeira legislação que determinou de maneira mais específica questões relativas ao desenvolvimento e gestão urbanas, proporcionando insumos para o início da reforma urbana. Trata-se de um importante passo para o reconhecimento da autonomia municipal e a democratização da tomada de decisões urbanas.

(...) como resultado de debates intensos entre grupos antagônicos a seguinte fórmula constitucional foi aprovada: a propriedade urbana é explicitamente reconhecida como direito fundamental desde que cumpra funções sociais, que são aquelas determinadas pelos planos diretores municipais e outras leis urbanísticas e ambientais. Pode-se dizer que, como resultado, mais do que tratar do direito de propriedade, a Constituição Federal de 1988 trata do direito à propriedade (FERNANDES, 2010, p.59).

A Constituição teve efeito em muitos municípios brasileiros, muitas vezes através da aprovação de novas leis urbanísticas e criação de programas de regularização fundiária, transformando completamente a gestão urbana até então vivenciada no país.

Novos programas de regularização fundiária foram formulados e começaram a ser implementados em diversos municípios. Ênfase especial foi colocada na qualidade política desses novos processos decisórios da ordem urbanística local, com a participação popular sendo encorajada de diversas formas, desde a definição de políticas públicas em “conferências da cidade” à introdução de processos inovadores de orçamento participativo. Desde então, municípios como Porto Alegre, Santo André, Diadema, Recife e Belo Horizonte, dentre outros, têm ganhado um amplo reconhecimento internacional por suas estratégias de gestão urbana e compromisso com a agenda da reforma urbana (FERNANDES *op.cit.*, p. 67).

No entanto, é a partir da aprovação dos artigos 182 e 183 na Constituição que visam à promoção do planejamento e a política urbana que foi possível evoluírem as discussões sobre a função social da propriedade e da cidade. Assim, buscando-se um suporte jurídico consistente para decisões relativas ao uso, ocupação e parcelamento do solo urbano, em 2001 é consolidada a aprovação do estatuto das cidades.

O Estatuto da Cidade surgiu como uma nova lei para ordenar o crescimento do setor imobiliário e estabelecer as diretrizes gerais da política urbana nacional. Tem a finalidade de regulamentar as questões da ordenação do território e da participação comunitária, e objetiva promover a inclusão social. Também estabelece as regras referentes ao uso e a ocupação do solo urbano e ao controle da expansão do território urbano, e propõe a definição da função social da cidade e da propriedade, a ser especificada no Plano-diretor Participativo (BAZOLLI, 2012, p. 61).

O Estatuto das cidades provê aos municípios diversos instrumentos de atuação no território com vistas a garantir a inclusão social e territorial nas cidades brasileiras. Esses instrumentos de reforma urbana visam às ações territoriais de forma a garantir o cumprimento da função social da cidade e da propriedade urbana.

As inovações contidas no Estatuto situam-se em três campos: um conjunto de novos instrumentos de natureza urbanística voltados para induzir mais do que normatizar as formas de uso ocupação do solo; uma nova estratégia de gestão que incorpora a ideia de participação direta do cidadão em processos decisórios sobre o destino da cidade e a ampliação das possibilidades de regularização das posses urbanas, até hoje situadas na ambígua fronteira entre o legal e o ilegal. (ROLNIK, 2001, p5.)

O Estatuto da cidade é um marco na nova ordem jurídico-urbanista que veio dar assistência aos governos municipais no sentido de apoiar as lutas nas questões urbanas, sociais e ambientais que afetam a vida de uma grande parte de pessoas que vivem nos centros urbanos. A assistência jurídica permite o domínio dos procedimentos de parcelamento, uso e ocupação do solo e desenvolvimento urbano através de instrumentos de regulação urbana.

3.3 Instrumentos de Regulação Urbana

Entre os instrumentos atuais e em vigência para regulação do uso, transformação e propriedade da paisagem urbana, destacam-se os contido no Estatuto da Cidade.

O Estatuto da Cidade foi promulgado em 2001 sobre a forma de a lei federal de número 10.257, que visa o desenvolvimento urbano previsto na Constituição do país, regulamentando os instrumentos de política urbana a serem aplicados pela União, Estados e Municípios:

O Estatuto estabelece as normas para os municípios em termos de “ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental” (BRASIL, 2001, Art. 1º, Parágrafo único). Como desdobramentos da Constituição, o Estatuto da Cidade favorece a planejamento participativo, e cria instrumentos para que isto aconteça, através de formas de articulação dos cidadãos (MOURA, 2012, p. 317).

Francisco (2001) afirma que a partir dessa premissa de que a propriedade sobre o bem imóvel é um instrumento de desenvolvimento de funções sociais que garantam o bem estar de seus habitantes, a decisão de edificação se torna um exercício de decisões políticas subsidiadas no Plano Diretor⁵. Assim, tudo quanto se construa, além do quantum convencionado no coeficiente de aproveitamento, inclusive no andar térreo e até no subsolo, é entendido como solo criado.

⁵ O Plano Diretor está definido no Estatuto das Cidades como instrumento básico para orientar a política de desenvolvimento e de ordenamento da expansão urbana do município. É uma lei municipal elaborada pela prefeitura com a participação da Câmara Municipal e da sociedade civil que visa estabelecer e organizar o crescimento, o funcionamento, o planejamento territorial da cidade e orientar as prioridades de investimentos.

Assim como todas as políticas de ordenamento urbano que são estabelecidas no Plano Diretor, os instrumentos de regulação urbana devem seguir o mesmo princípio. É imprescindível que o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) estabeleça as áreas da cidade em que seria admitida a edificação para além do respectivo coeficiente de aproveitamento, da mesma forma que estabeleça áreas que serão interditadas para a criação de solo.

Neto (2002) explica que a definição de áreas interditadas para a criação de solo está prevista no Estatuto da Cidade, o que é correto como mecanismo de ordenação urbanística. Isto porque, segundo o autor, “as condições de infraestrutura urbana podem indicar que, mesmo que a título oneroso, a criação de solo em uma determinada região, contrariará metas de adensamento ou desadensamento perseguidas pelo PDDU.”.

Deve ainda estar disposta a definição dos limites máximos a serem atingidos pelos coeficientes de aproveitamento, considerando a proporcionalidade entre a infraestrutura existente e o aumento de densidade esperado em cada área, conforme preceitua o artigo 28, § 3º.

Ressalta-se então o papel central que os Planos Diretores adquiriram dentro do contexto do planejamento e gestão urbana:

Completados 10 anos de promulgação do Estatuto da Cidade, cabe observar o que já pode ser identificado como seu legado: Os Planos Diretores adquiriram um papel central nas políticas públicas, iniciado na Constituição de 1988 e potencializado com a criação do Estatuto da Cidade em 2001. Diante da responsabilidade em conduzir transformações e correções de ocupação sustentáveis através dos Planos Diretores, observa-se a tendência por privilegiar ações e valores locais, o que parte da caracterização do território segundo seus elementos componentes e sua história de formação e transformação. É necessário, também, reconhecer as potencialidades e restrições nas transformações espaciais municipais, pois elas serão as bases para as proposições das políticas públicas (MOURA; FREIRE, 2013, p. 317).

O Plano Diretor é obrigatório para as cidades com mais de 20 mil habitantes e para municípios integrantes de regiões metropolitanas. É também obrigatório nas aglomerações urbanas onde o Poder Público municipal pretende utilizar os instrumentos previstos no § 4º do art. 182 da Constituição Federal (integrantes de áreas de especial interesse turístico, inseridas na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional). Destaca-se que a legislação agora, através da Lei 10257, o Estatuto da Cidade, exige Plano Diretor Municipal, e não somente Plano Diretor Urbano, como acontecia em práticas passadas (BRASIL, 2001).

A primeira etapa de um Plano Diretor Municipal é caracterização da realidade do município, através de seus recursos e fatores de limitação. Esta etapa, denominada diagnóstico, pode ser realizada com relativa facilidade, utilizando ferramentas computacionais adequadas e dados geograficamente referenciados. Nesse sentido, o avanço nas tecnologias da informática e da geoinformação ganha força no cenário de caracterização, identificação e intervenção dos problemas municipais encontrados.

No passado, essa identificação era feita através de análise do histórico municipal, relatórios, gráficos e banco de dados precários gerados por gestões anteriores. Atualmente, com o auxílio de dados específicos de caracterização municipal, tais como informações relativas a setores censitários, imagens de satélite, fotos aéreas e base de dados geográficos previamente produzidos por especialistas.

A respeito de como o geoprocessamento pode ser considerado de grande valia na compreensão da realidade de um município, observa-se:

O Geoprocessamento, ramo da análise espacial que muitas vezes é associado somente à aplicação ou proposição de técnicas, deve ser compreendido em sentido mais amplo, pois é produto de um contexto científico que norteia o modo de compreensão da realidade (MOURA, 2002, p. 12).

O Geoprocessamento, portanto, tem papel fundamental na realização do diagnóstico municipal, pois através de suas ferramentas utilizadas dentro de um contexto científico, consegue-se organizar em um só banco de dados, todos os elementos necessários para que se compreenda a realidade do município estudado e através da análise dos resultados obtidos, pode-se realizar a correta gestão urbana municipal:

Os recursos do geoprocessamento aparecem, nessa oportunidade, como importantes instrumentos que podem proporcionar as associações/sínteses/correlações entre as diferentes análises passíveis de realização por diferentes profissionais, assim como ser o veículo de comunicações entre técnicos, comunidade e instituições (MOURA, 2002, p. 21).

Os instrumentos propostos pelo geoprocessamento visam otimizar e aperfeiçoar as análises e as intervenções urbanas, levando em consideração complexa gama de variáveis espaciais. Eles têm como ponto fundamental a melhoria no gerenciamento de

dados e a utilização dos recursos de quarta dimensão (representação em realidade virtual) como facilitadora do diálogo entre técnicos, administradores e comunidade. O geoprocessamento ampara as cidades nas mais diferentes etapas de tratamento, análise e representação dos dados espaciais.

Para que essas definições de locais de interesses para transformação espacial na cidade sejam feitas de forma coerente com a realidade da cidade, é importante uma caracterização fiel e cuidadosa do território considerando todas as variáveis que podem influenciar e ser influenciada dentro da dinâmica urbana. Nesse sentido, cabe registrar a importância da elaboração do cadastro territorial multifinalitário, pois é a partir dele que será possível a coleção de dados, combinação de variáveis que indicará as vocações e restrições espaciais:

A estruturação do Cadastro Territorial Multifinalitário resulta em expressiva e ordenada coleção de dados que favorece o processo de representação das características do território municipal. Ele permite que sejam elaborados retratos representativos do território que aumentam a condição de participação da população nas tomadas de decisão, pois passam a entender suas realidades através de suas potencialidades e restrições. Assim os técnicos poderão elaborar propostas urbanas com maior poder de comunicação com os usuários, desde a etapa de caracterização até as etapas de diagnóstico, prognóstico e proposição. Por sua vez, os usuários terão condições de atuar, através de seus votos e manifestações, como reais agentes de transformação de suas paisagens. O CTM, então, favorece os instrumentos do Estatuto da Cidade de referendo popular e plebiscito (MOURA; FREIRE, 2013, p. 318).

O Cadastro Territorial Multifinalitário permite a estruturação de um banco de dados com as informações espaciais, fixos e fluxos das condições territoriais. A composição de um banco de dados único fomenta a modelagem de cenários e compreensão dos fenômenos relacionados à cidade através de técnicas de geoprocessamento. Moura e Freire (op. cit.) ainda afirmam que as técnicas de geotecnologias auxiliam a aplicação de diferentes instrumentos do Estatuto da cidade como, por exemplo, as instituições de zonas especiais de interesse social, operações urbanas consorciadas e outros. Os autores complementam:

O CTM também favorece, pelos mesmos motivos, os estudos de capacidade de carga, potencialidades e restrições no uso e ocupação do território, e a elaboração de estudos preditivos de impacto de vizinhança, o que atende às ferramentas do Estatuto da Cidade de direito de superfície, outorga onerosa do direito de construir e de alteração de uso, e transferência do direito de construir (MOURA; FREIRE, 2013, p. 319).

Diante do cenário exposto, esse trabalho tem como objetivo utilizar técnicas de geoprocessamento para construção de modelos de simulação urbana no intuito de permitir um

melhor estudo sobre as áreas propícias a serem contempladas com as aplicações dos instrumentos urbanos de alteração de coeficientes de aproveitamento e, conseqüentemente, de transformações volumétricas da paisagem urbana.

O trabalho é uma oportunidade de discussão da necessidade de ferramentas que permitam a representação relativa do espaço urbano dentro do contexto da paisagem e não apenas a representação absoluta, através de mapas e tabelas, como é feito ainda hoje. A partir dessas discussões, defende-se o potencial das geotecnologias como apoio aos processos de planejamento e gestão do território. Entre as geotecnologias, destacam-se as que dão apoio à estruturação de Cadastros Territoriais Multifinalitários, pois é necessário construir retratos do uso e propriedade do solo, assim como de suas condições de infraestrutura e ambientais. Entre os modelos de geoprocessamento que promovem a decodificação de linguagens permitindo uma melhor comunicação entre diversos atores, interessam aqueles que promovem a representação em terceira dimensão dos volumes que configuram a ocupação urbana, em processo defendido por Moura (2012) como Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial ou Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial.

Para auxiliar nas decisões de locais para aplicação desses benefícios resultantes dos instrumentos de regulação urbana, o estudo de caso foi realizado para Belo Horizonte, em momento propício para a discussão das autorizações e alterações de coeficientes pelos instrumentos de Outorga Onerosa do Direito de Construir, Operações Consorciadas e Transferência do Direito de Construir. Defende-se a importância da ferramenta de visualização tridimensional como auxiliar na decisão compartilhada, fazendo valer o princípio da propriedade cumprindo a sua função social.

3.4 Princípios em Geoprocessamento

Nessa etapa, é importante apresentar os conceitos, lógicas e ferramentas de geoprocessamento nas quais essa tese está se embasando para mostrar que estamos trilhando os caminhos de inovação dentro das geotecnologias para o planejamento urbano.

3.4.1. Geoprocessamento e o Planejamento Urbano

As decisões em planejamento urbano esbarram em questões políticas, operacionais e estruturais que se desenrolam em tantas variáveis as escolhas difíceis de ser definidas sem um estudo

sistemático. Conhecer o território, palco das transformações na dinâmica territorial, é a forma mais precisa de se tomar ações conscientes sobre os caminhos a serem percorridos para que os objetivos definidos no planejamento sejam alcançados. Nesse sentido, defende-se que a melhor maneira de analisar e gerenciar as informações para uma boa gestão municipal é através da aplicação de técnicas de geoprocessamento, por favorecerem a integração de informações, a composição de variáveis de modo sistemático, e proposição de cenários possíveis e a construção de retratos da realidade segundo diferentes óticas e valores.

Sobre a importância de se construir um retrato prévio, ou muitos retratos que demonstrem a complexidade urbana antes de se iniciar o processo de proposição de sua ordenação, defende Niccola (1991, p. 20): “*Leggere il territorio prima di progettare, prima di programmare*”⁶. O pensamento é completado por Van Der Berg e Van Der Meer (1991, p. 41) quando dizem que “*É passato il tempo dela pianificazione programmata. Si deve dare spazio ala flessibilità e alla creatività*”⁷.

Assim, defende-se como ponto fundamental no processo de planejamento e gestão urbanos a estruturação de cadastro, na forma de sistemas de informação. A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de propriedades, pessoas, serviços e outros sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel; isto impedia uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento da tecnologia de informática, na segunda metade deste século, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento.

O termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (CÂMARA; DAVIS, 2000, p. 2).

Xavier-da-Silva (2001) defende que o termo é assim caracterizado, pois "Sistema" significa uma estrutura organizada, com limites definíveis, funções externas e internas com dinâmica própria e conhecimento de suas relações com a realidade. Informação não é somente um dado, mas é um ganho de conhecimento, o que é possível quando a

⁶ “Ler o território antes de projetar, antes de programar” (Tradução Livre).

⁷ “É passado o tempo do planejamento programado. É preciso dar espaço para flexibilidade e criatividade” (Tradução Livre).

transmissão é feita através de um protocolo convencionado. Geográfico, por sua vez, é em relação ao sistema, e não em relação à informação. O sistema é geográfico, pois os dados são espacializados. O mesmo autor ao definir o termo geoprocessamento o caracteriza como "*um ramo do processamento de dados que opera transformações nos dados contidos em uma base de dados referenciada territorialmente (geocodificada), usando recursos analíticos, gráficos e lógicos, para obtenção e apresentação das transformações desejadas.*"

A informação organizada, correta e disponível de forma ágil é um recurso estratégico e indispensável para tomar decisões adequadas e em tempo hábil. Moura (2010) afirma que o Geoprocessamento é importante ferramenta de gestão, pois é um conjunto de tecnologias para processamento da informação cuja localização geográfica é uma característica inerente, indispensável para análise. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

A utilização de técnicas de geoprocessamento auxilia a produção de análises dentro das tendências recentes, sobretudo quando o objetivo é a produção de síntese de dados e mapeamento das informações obtidas. Desta forma, o SIG é capaz de não só armazenar, como gerenciar, cruzar e analisar uma gama de dados provindos de fontes distintas e com formatos diferentes, o que o torna a ferramenta ideal para representar o ambiente urbano e toda sua complexidade:

(...) descrições sobre **o quê** podem ser expressas em termos de observações-padrão, e medições podem ser complicadas por interpretações mais especializadas de **como**. A separação dos dois pode facilitar o trabalho do grupo, pois análises, preferencialmente devem ser conduzidas por técnicos especializados e produzem resultados definitivos, enquanto é mais provável que sínteses subjetivas sejam sujeitas a revisões (TOMLIN, 1990, p. 194).

Câmara et. al. (2000) apresenta o potencial do geoprocessamento de forma genérica: “Se *onde* é importante para seu negócio, então Geoprocessamento é sua ferramenta de trabalho”. Sempre que o “onde” aparece, dentre as questões e problemas que precisam ser resolvidos por um sistema informatizado, haverá uma oportunidade para considerar a adoção de um SIG.

Como se trata de uma área do conhecimento multidisciplinar, existe diversas formas de utilizar os recursos provenientes do geoprocessamento e os SIG, segundo Câmara (op. cit.):

- Ferramenta de produção de mapas e de sistemas que permitem consultas abertas a partir da habilitação de visualização de camadas.
- Ferramenta de análises espaciais multicritérios para entendimento de fenômenos mais complexos
- Ferramenta de gestão de banco de dados como forma de manter os dados disponíveis, atualizados e centralizados em apenas um local.

Uma vez que o SIG é capaz de armazenar diversas camadas de informações em um único banco de dados, ele é capaz de gerar novas informações a partir da composição de diferentes dados conforme o olhar do pesquisador. É à base das respostas e ações baseadas em fatos. As consultas abertas permitem que todo o usuário combine as variáveis de maior interesse para sua área de análise. Desta forma, é relevante dizer que o SIG produz olhar múltiplo no território e permite não somente planejar, como gerir o ambiente urbano, além de permitir a simulação de cenários e a divulgação ampla e interativa do conhecimento adquirido sobre a realidade.

As ferramentas do SIG, por fim, permitem a disseminação do conhecimento a respeito do município, seja através da produção de mapas - forma mais tradicional da cartografia, seja através de modernos visualizadores de mapas via *browser* e aplicativos de simulação da realidade. Essas funcionalidades mais contemporâneas fornecem ao SIG um formato mais interativo e multimídia, acompanhando as novas tendências de disseminação da informação.

Moura (2012) assim explica o histórico de evolução do geoprocessamento aplicado a estudos urbanos no Brasil, e suas condições atuais:

We are living in an odd time for urban spatial analysis, when information technology, and especially of georeferenced information, begins to be largely dominated by sector users, allowing us to use it, in fact, as a tool for diagnosis and application of models predictive, to support decision-making. Besides the maturation in using the tools, we are initiating a new paradigm in spatial analysis and representation, marked by the principles of interoperability between systems, strong investment in communication and provision of tools for projectual propositions simulated in real time. The present time is a result of the experiences in the past 25 years in urban and environmental studies using geotechnologies. Notwithstanding the use of geotechnology, through the creation of Geographic Information Systems has begun in some countries still in the 60s, we can say that the use of geoprocessing begins, indeed, more widely in Brazil in the late 80s (MOURA, 2012, p. 52).⁸

⁸ “Nós estamos vivendo em um momento ímpar para análise espacial urbana, quando a tecnologia da informação e, sobretudo, de informação georreferenciada, começa a ser amplamente dominado por usuários do setor, o que nos permite usá-lo, de fato, como uma ferramenta para o diagnóstico e aplicação de modelos preditivos, para apoiar a tomada de decisão. Além da maturação no uso das ferramentas, estamos iniciando um novo paradigma na análise espacial e de representação, marcada pelos princípios de

E continua:

The actual moment is particularly interesting because many users are already using the geoprocessing tools for the collection, storage, representation and analysis of georeferenced data. The Geographic Information Systems and their tools are now widely available and are used to support decision making. It is necessary to emphasize that GIS offers no unique answers or unquestionable results for space studies, but presents points of view, governed by different criteria, which are only to support the decisions because, ultimately, the decisions are still the responsibility of the specialist who chooses and justifies his choices (MOURA, 2012, p. 52).⁹

Com a força da rede mundial de computadores, também os Sistemas de Informações Geográficas foram adaptados para se tornarem acessíveis ao grande público através do WebGis. O WebGis trouxe consigo a necessidade de se trabalhar linguagens e modo de acesso aos dados e construção de informações que fossem dotados de comunicabilidade e incentivasse o uso de público não- especialista.

A rápida e crescente difusão de informações permitida pela rede trouxe consigo a necessidade de verificar a qualidade, a origem e o acesso à informação e à coleção de dados. Não tardaram a instituir normativas que regularizassem o processo, de modo que surgiu na Europa a rede INSPIRE e no Brasil, em foi publicado o Decreto 6666, de 27/11/2008, do Ministério do Planejamento definindo regras e parâmetros para a estruturação na Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). Os propósitos da INDE precisam ser rebatidos para as várias instâncias de gestão e difusão da informação espacial, entre elas o estado e os municípios.

Assim, o cenário recente é de aplicação do geoprocessamento através de ações de interoperabilidade, integração de sistemas, integração de diferentes setores de usuários. Nasceu na representação gráfica das áreas de projeto, entre as quais se encontra a

interoperabilidade entre sistemas, forte investimento em comunicação e fornecimento de ferramentas para proposições projetuais simuladas em tempo real. O tempo presente é o resultado das experiências dos últimos 25 anos em estudos urbanos e ambientais, utilizando geotecnologias. Não obstante o uso de geotecnologias, através da criação de Sistemas de Informação Geográfica começou em alguns países ainda nos anos 60, podemos dizer que o uso de geoprocessamento começa, de fato, de forma mais ampla no Brasil no final dos anos 80” (Tradução livre).

⁹ “O momento atual é particularmente interessante porque muitos usuários já estão usando as ferramentas de geoprocessamento para a recolha, armazenamento, representação e análise de dados georreferenciados. O Sistemas de Informação Geográfica e suas ferramentas são agora amplamente disponíveis e são utilizados para apoiar a tomada de decisão. É necessário enfatizar que GIS não oferece respostas únicas ou resultados inquestionáveis para estudos espaciais, mas apresenta pontos de vista, regidos por diferentes critérios, que são apenas para apoiar as decisões, porque, em última instância, as decisões ainda são da responsabilidade do especialista que escolhe e justifica suas escolhas” (Tradução Livre).

Arquitetura, uma nova forma de representação digital dos objetos denominada “BIM” – “*Building Information Modeling*”. Segundo Moura (2012) a lógica do BIM é de compor para decompor, o que é o oposto da lógica do SIG, que é de decompor em planos de informação e tabelas alfanuméricas para então compor em processos de síntese ou integração das informações. No BIM o objeto é representado em quarta dimensão, e a partir da existência do objeto como um todo ele pode ser decomposto em seus diferentes planos, quais sejam: plantas, seções, fachadas, banco de dados, entre outros.

A chegada do BIM, segundo Moura (op. cit.), tem influenciado os interesses dos Sistemas de Informações Geográficas, e já se fala de integração BIM/SIG, com as mudanças nas formas de pensar a representação espacial:

The strength of the fourth dimension in the procedures of representation, proposition, simulation and spatial intervention in reality were already expected. The look in azimuth representations was already a strong trend, compared to the zenith look (cartographic representation). Bring the user to the understanding of dynamic and interactive maps already announced as a trend. Studies on mind maps in order to shape the representations and to know how to structure the relationship between the visible reality and virtual reality (represented reality) had returned to the interests (they began the 60s and 70s), and the principles of augmented reality were very well accepted (MOURA, 2012, p. 57).¹⁰

Os modelos WebGIS e o BIM ganham força dentro do geoprocessamento e anunciam que estamos às vésperas de observar mudanças de paradigmas na tecnologia da geoinformação:

We were then one step closer to living a new paradigm in geotechnology, to blend the SIGs conditions and interests of BIM, with extensive investment in technology representation, so that the tools favored the proposition of projects in real time (for augmented reality) and that users can compose their landscapes by processes of parameterization. The processes of applying parameters in the composition of an urban landscape are, ultimately, the translation of laws determinations and legal rules for the construction of the possible scenarios resulting from those established limits and references (MOURA, 2012, p. 57).¹¹

¹⁰ “A força da quarta dimensão nos processos de representação, proposição, simulação e intervenção espacial na realidade já eram esperados. O olhar em representações azimute já era uma forte tendência, em comparação com o olhar zênite (representação cartográfica). Trazer o usuário para a compreensão de mapas dinâmicos e interativos já anunciados como uma tendência. Estudos sobre mapas mentais, a fim de moldar as representações e saber como estruturar a relação entre a realidade visível e realidade virtual (realidade representada) tinha voltado para os interesses (que começaram os anos 60 e 70), e os princípios de realidade aumentada foram muito bem aceito” (Tradução Livre).

¹¹ “Estamos então a um passo de viver um novo paradigma em geotecnologia, para misturar as condições SIGs e interesses de BIM, com grandes investimentos na representação da tecnologia, para que as ferramentas favorecido a proposição de projetos em tempo real (para a realidade aumentada), e que os usuários podem compor suas paisagens por processos de parametrização. Os processos de aplicação de

Este novo paradigma nos sistemas de informações que têm como suporte a questão espacial baseia-se em ferramentas de apoio aos projetos que não se restringem ao desenho do território, mas respondem a proposições de parametrização da composição da ocupação do território, o que Moura (op. cit.) tem chamado de “Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial”, ou “*Parametric Modeling of Territorial Occupation*”.

As condições que ora se apresentam permitem que o urbanista simule, em realidade aumentada, as paisagens resultantes de suas proposições de zoneamento, modelos de ocupação e tabela de parâmetros urbanísticos. Isto empregado mais amplamente como ferramenta de trabalho do urbanista irá permitir a ponte entre linguagem técnica, administrativa e da comunidade, pois ao se aprovar um Plano Diretor e suas peças, os usuários poderão ter uma representação virtual do significado dos parâmetros propostos. Todos poderão então decidir, de modo democrático e com o apoio de melhores formas de comunicação, sobre os projetos que resultem na paisagem esperada e condizente com os valores da cultura e da sociedade que a tem como território.

3.4.2. *Geoprocessamento e os novos paradigmas – os desafios na representação do território*

Desde o início da história da ocupação humana sobre o território a busca por formas mais expressivas de representar o seu ambiente natural e construído são temas e interesse de investigação. A questão da compreensão de como se forma a percepção e a cognição de um território, seguida da proposição de códigos ou símbolos compartilhados que evitassem ruído na comunicação e permitisse o diálogo entre as pessoas é uma meta. A eficaz e eloquente representação do território sempre foi compreendida como condição estratégica de domínio territorial, motivo pelo qual o seu desenvolvimento se iniciou associado ao poder militar e às táticas de guerra. Desde então a visualização urbanística é uma preocupação de transferência da proposta ou observação do ambiente construído. Por outro lado, com os avanços da tecnologia e o advindo da cartografia multimídia, o geoprocessamento explora um momento de preocupação com a transmissão das informações através de sistemas que permitam a compreensão de usuários leigos. Os estudos relacionados à visualização cartográfica ganham espaço. A busca pela convergência dessas duas áreas do conhecimento lançam os novos desafios na representação do território e traz para a cena o novo paradigma do geoprocessamento: a modelagem paramétrica da ocupação do território (MOURA; SANTANA, 2014, no prelo).

parâmetros na composição de uma paisagem urbana são, em última análise, a tradução de leis determinações e normas legais para a construção dos cenários possíveis resultantes desses limites e referências estabelecidas” (Tradução Livre).

Os mapas são formas de comunicar quais as ocorrências e fenômenos geográficos estão acontecendo em um determinado local. Quando empregam técnicas computacionais nas diferentes fases do estudo técnico científico, os mapas são utilizados para dar suporte às tomadas de decisão e também apresentar resultados. O papel do mapa ultrapassa a simples comunicação da informação quando são utilizados na análise visual.

De maneira simplificada, a análise visual significa utilização de métodos gráficos para entendimento e apresentação dos dados (DIBIASE *et al.*, 1992). O destaque da visualização está em seu poder exploratório e não somente nos aspectos comunicativos, ou seja, na apresentação dos dados. A possibilidade da exploração da informação permite descobrir e entender a relação entre os fenômenos espaciais e seus sistemas.

Segundo Maceachren e Kraak (1997) o processo chamado de visualização cartográfica, ou seja, a preocupação com a comunicação na interface de exibição o mapa para o usuário final, tem uma importância essencial para a transmissão do conhecimento. Essa importância da comunicação cartográfica se destacou com a evolução da tecnologia e do aumento da demanda por produtos oriundos do geoprocessamento que consigam decodificar a linguagem cartográfica.

Pode-se perceber que a comunicação visual está intimamente ligada à percepção visual, gerando o que podemos chamar de visualização. O termo visualização significa construir uma imagem visual na mente humana, e isto é mais do que uma representação gráfica de dados ou conceitos. Card (1999, p.21) define a visualização como sendo “o uso de representações visuais de dados abstratos, suportadas por computador e interativas para ampliar a cognição”.

Podem-se destacar três fases do processo de visualização: a preparação dos dados (usualmente designada por pré-processamento), onde há a entrada de dados brutos que, após serem formatados e normalizados, são organizados em uma representação lógica; o mapeamento, no qual se faz a associação entre os dados e as representações gráficas e, por último, a transformação visual, também conhecida como *rendering*. Uma estrutura visual que suporta os dados previamente formatados é usada na fase de *rendering* para a geração de uma imagem de visualização dos dados envolvidos:

A escolha de uma representação gráfica adequada para os dados, e que considere adequadamente os princípios da percepção humana, não é uma tarefa simples, e consiste num dos principais desafios da Visualização Científica; principalmente, na visualização de dados abstratos, que são caracterizados pela falta da noção natural de posicionamento espacial (VANDE, 2005, p. 33).

A escolha da representação adequada para um determinado conjunto de dados, deve ser baseada em critérios de expressividade (*expressiveness*) e eficácia (*effectiveness*). O critério de expressividade diz respeito às representações gráficas que traduzem exatamente a informação com interesse para o utilizador. O critério de eficácia está relacionado com a facilidade de compreender as representações e as informações que elas expressam (MACKINLAY, 1988, p. 182).

Para ser efetiva, uma visualização científica deve transmitir rapidamente as informações e não induzir a erros. Para tal, deve atender às capacidades de percepção da visão humana. Vale registrar que tanto a expressividade como a eficácia é dependente da percepção humana, pois não há efetividade sem uma representação expressiva que esteja de acordo com os requisitos da percepção humana:

A visualização científica pode ser definida como o uso da tecnologia computacional para criar visualizações, com o objetivo de facilitar a compreensão, o raciocínio e a solução de problemas. A ênfase não está no armazenamento da informação, mas na construção do pensamento (EAMSHAW; WISEMAN, 1992, p. 34).

Haber e McNabb (1990, p. 74) definem visualização científica como “*the use of computer imaging technology as a tool for comprehending data obtained by simulation or physical measurement.*”¹²

É importante diferenciar visualização e tecnologia, uma vez que tecnologias mudam. Visualização científica, porém, é um conceito que transcende tecnologia, pois ele consiste no uso desta para atingir conhecimento.

Na cartografia, o termo visualização passou a ser mais utilizado há quatro décadas. A evolução cartográfica decorre da evolução da cartografia e das técnicas da tecnologia na informação visual, incluindo a visualização científica e a computação gráfica associada aos sistemas de informação geográfica. Em 1987, quando a U. S. National Science Foundation faz uma publicação estabelecendo um novo significado da visualização na pesquisa científica cartográfica, surgem vários cartógrafos com pesquisas relacionadas à visualização e comunicação. Os autores diferem-se utilizando diferentes nomenclaturas: Visualização Geográfica, Visualização Cartográfica, Geovisualização ou simplesmente GVis.

GVis (Geographic Visualization) can be defined as a form of map-based information visualization that emphasizes development and assessment of visual methods designed to facilitate the exploration, analysis, synthesis, and

¹² “o uso de tecnologia computacional como uma ferramenta para compreender os dados obtidos por meio de simulação ou medição física” (Tradução Livre).

presentation of georeferenced information. GVis has a combined emphasis on development of theory, tools, and methods and on understanding how the tools and methods are used to prompt thinking and facilitate decision making (UCGIS, 1996).¹³

Em 1990, DiBiase propôs um modelo de visualização onde as funções do mapa estão relacionadas aos domínios públicos e privados.

Para a autora (DiBiase, op. cit.) apud Maceachren (1995), aos mapas que pertencem aos domínios privados são utilizados para confirmação e exploração dos dados espaciais, e conseqüentemente são utilizados apenas por pessoas que estão desenvolvendo trabalho de análise e planejamento. Já os públicos têm função de ampla comunicação e difusão da informação.

O uso do mapa tem como objetivo a aquisição de conhecimento por meio da geração e interpretação das representações cartográficas, no processo chamado de “*Visual Thinking*”. Quando os mapas são utilizados para mostrar resultados, pertencem ao domínio público. Nesse caso são criados para serem publicados e fazem parte do processo denominado “*Visual Communication*”, conforme figura 01.

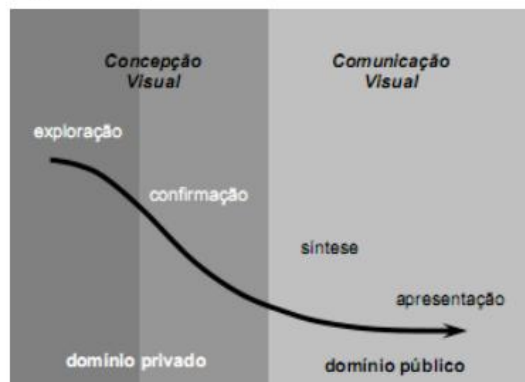


FIGURA 1 - Uso dos mapas na visualização cartográfica

Fonte: DiBiase, 1992, p. 204.

Em 1993, o ICA (*International Communication Association*), grupo de acadêmicos interessados em estudos e aplicações dos aspectos humanos e comunicação, criou um grupo de estudos para o Uso de Mapas para pesquisar a visualização e suas implicações para a cartografia. Desse

¹³ “GVis (Geographic Visualization) pode ser definida como uma forma de visualização baseada em mapas que enfatiza o desenvolvimento e avaliação de métodos visuais destinados a facilitar a exploração, análise, síntese e apresentação de informações georreferenciadas. GVis tem uma ênfase combinando o desenvolvimento da teoria, ferramentas e métodos e na compreensão de como as ferramentas e os métodos são usados para levar o pensamento e facilitar a tomada de decisão” (Tradução Livre).

grupo, surgiram duas comissões: comissão de visualização e comissão de visualizações de ambientes virtuais. Slocum et al. (2001) apresenta alguns estudos da comissão de visualização e ambiente virtuais que se baseiam na ideia de que a visualização de dados espaciais deve ser apoiada na teoria da cognição e testados sobre os princípios da usabilidade da engenharia de *softwares*.

A comissão ocupava-se basicamente para encontrar correlações entre a cartografia e a visualização científica. Um dos primeiros resultados dessa pesquisa foi à concepção do espaço tridimensional, que MacEachren (1995) denominou de (cartografia)³ – cartografia ao cubo – mostrado na FIGURA 02.

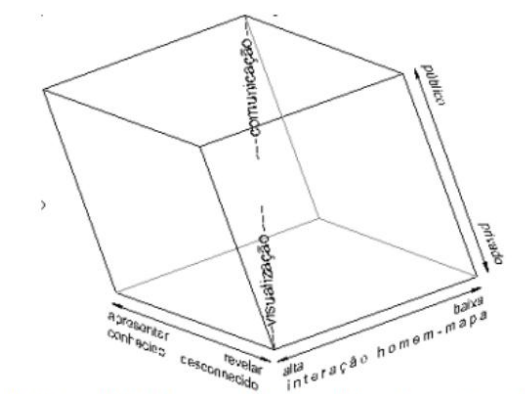


FIGURA 2 - (Cartografia)³ – Representação do “Espaço” de uso do mapa
Fonte: MACEACHREN, 1995, p. 57.

Nessa concepção, a visualização é considerada um complemento da comunicação. Até aquela etapa de pesquisa a comunicação cartográfica evidenciava o uso de mapas estáticos, tendo como foco o consumo público enfatizando extração de parte específicas da informação.

Os estudos atuais buscam associar ferramentas multimídias aos produtos cartográficos para gerar visualizações que atendam a exploração e análise dos dados. DiBiase (1994) criou, diante dessa necessidade, o modelo chamado “Matriz de uso do mapa” (Figura 03) que apresenta exemplos de diferentes usos dos mapas nos processos de visualização e comunicação.

		ALTA INTERAÇÃO		BAIXA INTERAÇÃO	
		Revelar o desconhecido	Apresentar o conhecido	Revelar o desconhecido	Apresentar o conhecido
PÚBLICO	PRIVADO	Uma manipulação interativa de valores de isolinhas	Uma interface Hiperídia para acessar uma coleção de mapas em CD-ROM	Um "tour guiado" direcionado por um roteiro geográfico	Recuperar informação a partir de um mapa
	PÚBLICO	Uma iteração computacional com o software MatLab	Localizar uma loja usando um quiscoque de informações dentro de um shopping center	Análise de superfícies utilizando um programa computacional	Localizar uma loja usando um mapa "você-está-aquí" num shopping center

FIGURA 3 - Matriz de uso do mapa

Fonte: DIBIASE, 1994, p. 4.

As inovações trazidas pela visualização cartográfica exigem que novas pesquisas sejam realizadas para que as técnicas computacionais sejam aplicadas dentro do contexto da geoinformação. Surgiu um novo contexto de possibilidades de manipular dados que, juntamente com técnicas de computação e interfaces gráficas, permitam realizar análises por meio de interações e animações de mapas.

Programas computacionais para cartografia permitem que o usuário interaja desde a seleção de características, até mesmo na definição de simbologia a ser aplicada na visualização do mapa. Esse princípio da liberdade de escolha trouxe consigo o conceito de "obra aberta", em que o usuário complementa a "obra" inicialmente proposta de acordo com suas escolhas. Esse novo conceito, dentro dos modelos comunicacionais cartográficos, foi promovido pelos Sistemas de Informações Geográficas.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são formas estruturadas de representar modelos ou retratos da realidade. Marine (1988), ao definir o que se espera dos SIGs, destaca a utilização de arquivos digitais como modelos do mundo real. Por outro lado, Tomlin (1990), ao discorrer sobre a base cartográfica sobre a qual se apoia os sistemas de informação geográfica, relata que

os mapas baseiam-se na linguagem visual e "*as a language, this is a formal system of symbols, rules governing the formation and transformation of those symbols...*".¹⁴

Sobre o mesmo tema, Board (1971) explica "*It is comparatively easy to visualize maps as representational models of the real world, but it is important to realize that they are also conceptual models containing the essence of some generalization about reality. In that role, maps are useful analytical tools which help investigators to see the real world in a new light, or even to allow them an entirely new view of reality.*"¹⁵

Ao definir os SIGs, Peuquet e Marble (1990) colocam como uma de suas características principais: "*A data reporting subsystem which is capable of displaying all the part of the original database as well as manipulated data and the output from spatial models in tabular or map form. The creation of these map displays involves what is called a digital or computer cartography. This is an area which represents a considerable conceptual extension of traditional cartographic approaches as well as a substantial change in the tools utilized in creating the cartographic displays.*"¹⁶

Com a força da rede mundial de computadores, os Sistemas de Informações Geográficas foram adaptados para se tornarem acessíveis ao grande público através dos geovisualizadores.

A exploração da comunicação visual, ou o que tem sido denominado como processo de visualização nas geotecnologias e, sobretudo nos Sistemas de Informação Geográfica e seus desdobramentos em geovisualizadores, é definida como uma disciplina que permite "*see the unseen*"¹⁷ (McCormick, DeFanti e Brown, 1987).

¹⁴ "como uma língua, este é um sistema formal de símbolos, as regras regem a formação e transformação desses símbolos ..." (Tradução Livre).

¹⁵ "É relativamente fácil de visualizar mapas como modelos de representação do mundo real, mas é importante perceber que eles também são modelos conceituais que contêm a essência de alguma generalização sobre a realidade. Nesse papel, os mapas são ferramentas analíticas úteis que ajudam os investigadores a ver o mundo real sob uma nova luz, ou mesmo para permitir-lhes uma visão inteiramente nova da realidade" (Tradução Livre).

¹⁶ "Um subsistema de comunicação de dados que é capaz de exibir toda a parte do banco de dados original, bem como dados manipulados e a saída dos modelos espaciais em forma tabular ou de mapa. A criação destes mapas envolve o que é chamado de cartografia digital. Esta é uma área que representa uma extensão conceitual considerável de abordagens cartográficas tradicionais, bem como uma alteração substancial das ferramentas utilizadas na criação das telas cartográficas" (Tradução Livre).

¹⁷ "ver o invisível" (Tradução Livre).

(...) *visualization tools allow our visual and cognitive processes to almost automatically focus on the patterns depicted rather than on mentally generating those patterns* (MACEACHREN, 1998, p. 72).¹⁸

3.4.3 Geovisualização na tomada de decisões no planejamento urbano

A literatura científica reconhece que a percepção visual é um método de identificação e produção de conhecimento. Desde a década de 60 autores já propõem métodos que sejam capazes de identificar a construção de mapas mentais (que são a decodificação da construção da imagem do território), com vistas à construção de uma ponte entre realidade, representação da realidade.

Existe um território real, existe o seu espelho percebido nos mapas mentais dos cidadãos e existe um modo de representar esta realidade de modo a extrair a essência do que é o território. Nesse sentido, cabe lembrar os estudos de Norberg-Schultz (1980) que preconizam a importância de se identificar o que é a essência de cada território, através do princípio de *genius loci* (*espírito do lugar*). A identificação desta essência é a construção de uma síntese mental do que é mais essencial e de valor na paisagem.

Entre os autores que propuseram métodos de decodificação e aplicação de interpretação de mapas mentais nos processos de reconhecimento de paisagens notáveis e de apoio aos projetos de planejamento e desenho urbano devem ser citados Lynch e Cullen.

Lynch, na publicação “The image of the city” (1960) desenvolveu método para se identificar as principais estruturas urbanas e, a partir delas, entender o que é valor para um território. O mesmo autor explorou em outras publicações a questão do valor da paisagem (1972 1981). Na mesma época Yi-Fu Tuan publicou sobre a *topophilia* (sentimento de apego sobre o espaço) e a questão de se identificar o que é valor e de atuar no sentido de preservar estes valores foi ainda mais bem explorada. Destaca-se, ainda, a obra de Gordon Cullen (1961) que objetiva a identificação do sentido da ocupação urbana segundo a paisagem visível, apresentando forma de se representar a essência da paisagem captada através do olhar de seus usuários, como se estivesse realizando o percurso no espaço urbano.

A análise visual do território é reconhecida como um valor por autores de planejamento urbano, e compreender que toda representação da realidade é um recorte temporal, cultural e até

¹⁸ “(...) ferramentas de visualização permitem que nossos processos visuais e cognitivos se concentrem automaticamente nos padrões descritos em vez de gerar mentalmente esses padrões” (tradução livre).

individual, significa reconhecer que adotamos modelos para representar o território. Nesse sentido, surge um interesse comum entre o geoprocessamento e o planejamento urbano. Os geovisualizadores trazem respostas de simulação e comunicação dos impactos visuais causados na paisagem antes mesmo de decisões sobre mudanças de parâmetros, novas políticas ou mesmo uma edificação.

As inovações trazidas pela visualização cartográfica exigem que algumas novas pesquisas sejam realizadas para que novas técnicas computacionais sejam aplicadas dentro do contexto das geoinformações. Surgiu um novo contexto de possibilidades de manipular dados que, juntamente com técnicas de computação e interfaces gráficas, permitam realizar análises e simulações de cenários.

A multimídia veio como um auxílio à consolidação desse novo modelo tridimensional. Ela é a integração de múltiplas formas de representação suportadas pelo computador e a responsável pela criação dos cenários. Todos esses avanços tecnológicos vieram para aproximar ainda mais o geoprocessamento do planejamento urbano e auxiliar nas dificuldades existentes na comunicação cartográfica. O valor dos modelos em terceira dimensão está relacionado à sabedoria de se transferir uma informação.

Dentro desse contexto, os modelos tridimensionais compõem o novo momento no processo evolutivo da ciência que veio no intuito de trabalhar as questões de visualização e disseminação da ciência.

Trazendo as informações geográficas para usuários não-especialistas, a comunicação voltou a ter assimilações de conceitos antigos de comunicação e percepção cartográfica. Foram resgatados estudos dos mapas mentais para se entender como um usuário constrói a representação de uma realidade observada e como cria a ponte entre representação virtual e realidade.

O reconhecimento da complexidade da percepção e interpretação do mundo real foi objeto de amplo interesse nas décadas de 60 a 80, traduzido nas correntes de estudos das teorias de percepção e cognição espacial. São exemplos às abordagens de Tuan, Hall e Lynch:

O conceito de que nem mesmo dois indivíduos veem exatamente a mesma coisa, quando usam os olhos em uma situação natural, choca algumas pessoas, porque implica o fato de nem todos os homens relacionarem-se da mesma maneira com o mundo em torno de si. Sem o reconhecimento dessas diferenças, no entanto, o processo de tradução de um mundo perceptivo para outro não pode ocorrer (HALL, 1981, p. 70).

Cartwright (2001, p.57) descreve os sistemas interativos como "uma forma de apresentação cartográfica assistida por computador que busca imitar a representação de mapas mentais. O sistema interativo é uma extensão da habilidade humana de visualizar lugares e distribuições".

Os mapas mentais são aqueles mapas elaborados por cada indivíduo que permite que ele memorize informações de localização de acordo com as suas referências espaciais e suas experiências vividas. É, juntamente, com a volta desse conceito que a visualização é entendida como um processo de comunicação cartográfica que volta o seu olhar do zenital ao azimutal. A percepção da realidade e do espaço é muito mais efetiva com a vista de perspectiva à vista de topo.

Três principais sistemas com esses valores vêm sendo muito utilizados atualmente dentro da visualização cartográfica: os WebGIS, os modelos tridimensionais e os WebScenes, que são modelos 3D disponibilizados na web. Esses sistemas trouxeram consigo a necessidade de se trabalhar linguagens e modo de acesso aos dados e construção de informações que fossem dotados de comunicabilidade e incentivasse o uso de público não- especialista. A decodificação da linguagem cartográfica bem como a interação do usuário nesses sistemas é que permite a coleta e atuação das expertises dos diversos atores envolvidos em uma tomada de decisões pela facilidade de percepção do espaço.

De acordo com Sandercock (2000) existem três tipos de técnicas que podem ser utilizadas pelos geovisualizadores que permitem a integração de múltiplos usuários de diferentes perfis: animação, multimídia e realidade virtual. Com a animação as variações das características da informação podem ser observadas por movimentos gerados com a apresentação suficientemente rápida de uma série de quadros, nos quais as alterações dos fenômenos são representadas. As técnicas de multimídia permitem que textos, gráficos, animações, som e vídeo sejam utilizados de forma complementar, para apresentar os diferentes aspectos da informação. Com a realidade virtual, as características espaciais da informação podem ser representadas tridimensionalmente.

Dentro desse conceito de modelagem e construção de retratos interpretativos da realidade, os sistemas que permitem a representação de fenômenos espaciais com técnicas de representação tridimensionais possibilitam ao usuário a interação total com a informação observada. A exemplo, são apresentados os princípios de navegação virtual (*Virtual Reality e Virtual Navigation*), de modelagem de informação da construção (*BIM – Building Information Modeling*) e o *Geodesign*.

3.4.3.a. Modelos de Navegação Virtual.

A navegação virtual é o primeiro modelo que permite a exploração do ambiente espacial em terceira dimensão através de computador e das multimídias. O observador pode ter a sensação de estar no local e de deslocar na paisagem através de pontos focais e eixos de visada de acordo com os seus interesses interpretativos.

O conceito de Realidade Virtual é a junção de três ideias básicas: imersão, interação e envolvimento. A imersão é a possibilidade de sentir-se dentro do ambiente; a interação está relacionada à possibilidade de o computador reagir a ações do usuário e mudar o mundo virtual em função desse reconhecimento; e o envolvimento pode ser passivo (o usuário é somente espectador) ou ativo (o sistema reage aos comandos). Quando o sistema de realidade virtual é não-imersivo e apresenta somente dispositivos de tela, teclado e mouse, ele é chamado de "desktop". Neste último, que é o caso aqui proposto, os efeitos são construídos por tridimensionalidade e recursos de luz e sombra (MOURA, 2003, p. 63).

A navegação é uma forma de comunicação visual. É uma ferramenta muito útil para minimizar os ruídos na comunicação entre os usuários em geral. Um dos processos que permite o emprego desta técnica é o trabalho a partir da captura de fotografias com sobreposição de 50% entre elas, com deslocamento de 20 graus entre as tomadas, para o caso de lente de 35 mm. Esta relação entre ângulo de deslocamento, sobreposição e lente define o "*field of view*", ou seja; o campo de visada do observador.

Para garantir a correta aplicação de deslocamento de 20 graus entre as fotos a máquina fotográfica indica-se que a câmera seja acoplada a um teodolito, e através dele, realizar as medições angulares necessárias.

A montagem pode ser realizada em aplicativos como o "Panorama Maker" e o "VR Worx". Nos programas são montados os mosaicos das fotografias (Figura 04), chamados de panoramas. São faixas cilíndricas de imagens somadas (Figura 05). Através do reconhecimento de padrões de arranjos de pixels, o aplicativo realiza o encaixe automático das fotos e determina as sobreposições mais adequadas. Alguns erros de angulação ocorridos em campo podem ser corrigidos através de ferramentas de edição.

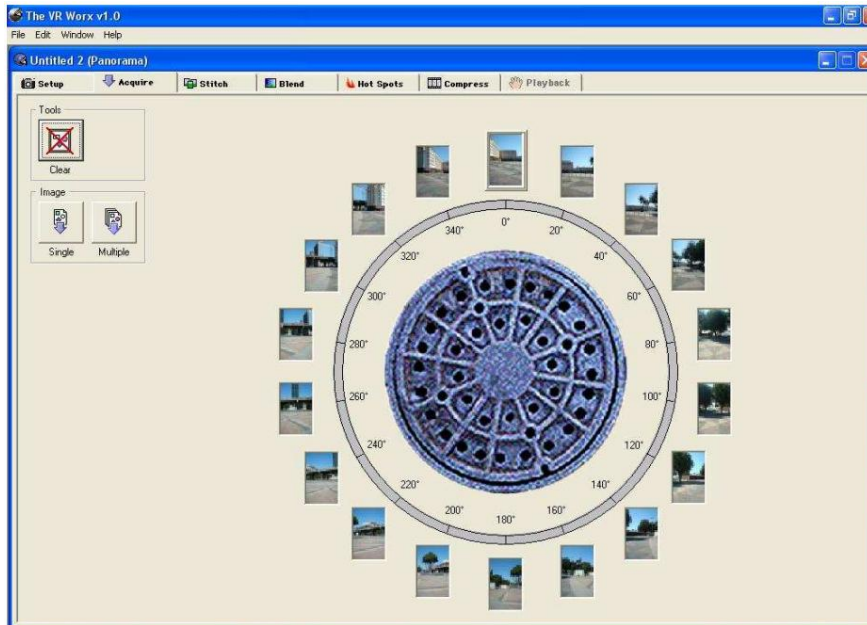


FIGURA 4 - Mosaico de fotografias.
 Fonte: GODOY, 2011.



FIGURA 5 – Faixas cilíndricas de imagens mosaicadas
 Fonte: GODOY, 2011.

O mosaico final é uma imagem única com distorções, porque a imagem é organizada de forma a abraçar um cilindro. O objetivo é de que o observador se sinta no centro deste cilindro, girando sua cabeça, conforme ilustrado na figura 06.

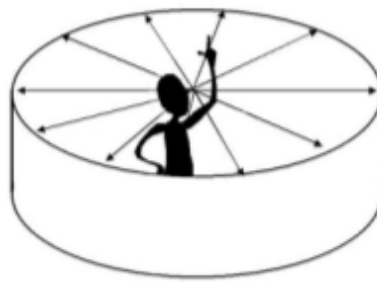


FIGURA 6 – Panorama com eixos visuais radiais
 Fonte: MOURA, 2003.

Após a montagem do panorama é possível exportar com a extensão reconhecida pelo *Mídia Player* (Office) ou pelo *Quick Time* (Apple), este último de livre domínio. Todos os elementos

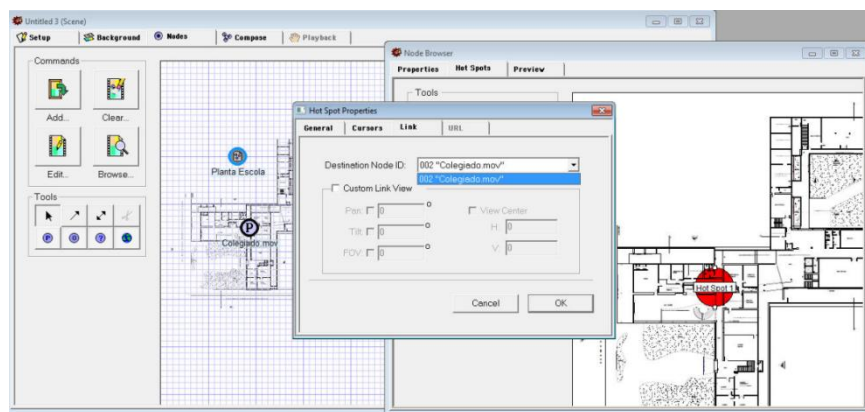


FIGURA 8 - Esquema dos links (associação ou conexão) criados
 Fonte: BORGES e MOURA, 2013.

Com o sistema pronto, é possível exportar para a extensão AVI ou MOV, amplamente difundidas nos aplicativos de visualização de vídeo. O usuário pode realizar excursões virtuais através de *hotspots* colocados na imagem, navegando por vários ambientes tridimensionais (Figura 09) O usuário pode se deslocar pelo território de acordo com os seus interesses interpretativos à medida que o mouse representa o deslocamento da sua cabeça dentro da paisagem.

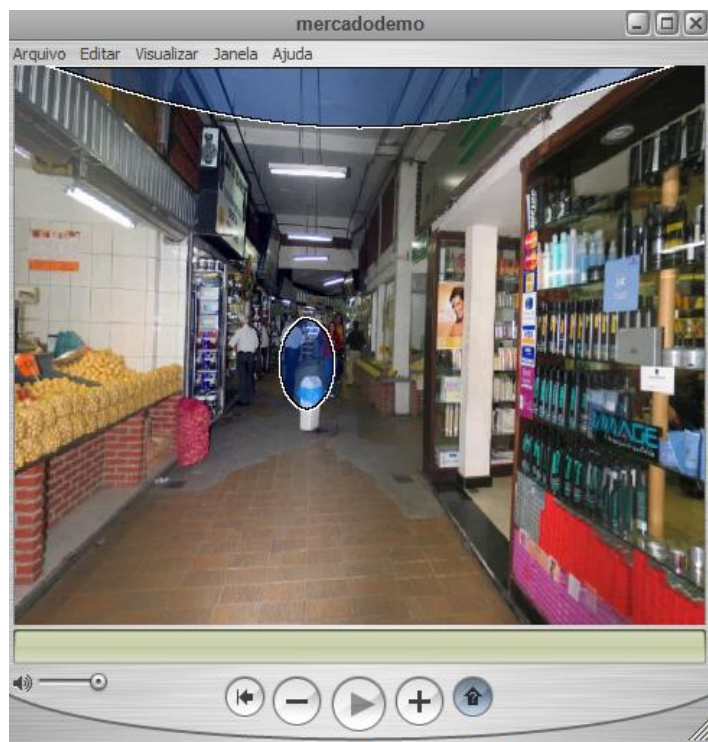


FIGURA 9 – Navegação através dos Hotspots.

A proposta de navegação virtual é repetir o olhar humano, pois são realizadas na altura de um observador inserido na paisagem, incorporando a escala humana. A visualização do ambiente é

por meio da visão azimutal. Estes aspectos permitem incorporar conceitos de percepção. (MOURA, 2003)

Para que o sistema funcione com eficácia, é importante que se obtenham taxas rápidas de atualização de imagens (boa placa gráfica ou, no caso de uso da internet, boa velocidade), para que o ambiente seja realista, e que aconteçam variações de escala. Fator fundamental é que o usuário consiga criar relações entre espaço representando (virtual) e espaço real (físico) e, através de seu conhecimento intuitivo, se transfira mentalmente para o mundo virtual.

A dimensão tempo, também conhecida como a quarta dimensão, é capturada pelo percorrer ao longo de um ambiente percebido em infinitos pontos de vistas, obtidos através do deslocamento do ângulo visual. Cada indivíduo possui memória espacial que possibilita concretizar a quarta dimensão e, através dela, o observador consegue se inserir na paisagem virtual. Essa sintonia só é possível devida à adoção da escala humana no conjunto de fotografias.

Através da navegação virtual, procura-se compreender a dimensão tempo, a dinâmica das paisagens. Contudo, segundo ZEVI (1978) o contato direto com o espaço nunca será substituído pela representação virtual, ainda que sejam construídos excelentes produtos na forma de plantas, perfis, perspectivas e realidade virtual. Não há experiência que substitua com exatidão o vivenciar no espaço, quando outras sensações além do olhar são aguçadas, como o olfato, a audição e o tato. Todavia, o interesse pela representação interpretativa do espaço sempre foi uma preocupação dos arquitetos urbanistas.

3.4.3.b Building Information Modelling

O segundo modelo tridimensional que permite o apoio a tomadas de decisões é uma nova metodologia que integra os *Building Information Modeling* e os Sistemas de Informação Geográfica.

O BIM refere-se a um processo e tecnologias baseadas em modelos 3D inteligentes ou 4D. Segundo o *National Institute of Building Sciences* (2000) o BIM “é uma representação digital das características físicas e funcionais de uma instalação, edifício ou ativos de infraestrutura. E como tal, serve como uma base centralizada de informações para apoio a tomada de decisões durante o ciclo de vida de um empreendimento, desde a sua concepção até sua demolição.”.

Uma premissa básica do BIM é a colaboração entre diferentes interessados em diferentes fases do ciclo de vida de um projeto provendo mecanismos para inserir, extrair, modificar, comunicar,

visualizar e analisar as informações. É também visto como uma evolução do CAD tradicional, mas não deve apenas ser compreendido com um *software* de modelagem de objetos 3D, ou uma biblioteca de objetos 3D, mas sim uma base de dados que contém informações geométricas e semânticas, com seus relacionamentos, custos, prazos, além de atributos com grande nível de detalhes como as dimensões, cor, capacidade, tipo de material, fabricante.

O aspecto mais significativo do BIM é a mudança na lógica de projeção associada à representação do objeto arquitetônico e urbanístico. No processo dito tradicional da representação os projetos, inicialmente eles eram elaborados na mente de projetista, que usava como instrumentos de saída da informação os croquis, seguidos de detalhada representação de planos contendo o detalhamento do objeto proposto. Assim, o projetista tinha o modelo total do objeto em sua mente, e a forma de representá-lo era promover a sua decomposição. Isto significava que um leitor, para entender o objeto projetado, deveria promover em sua mente a síntese de informações contidas em plantas, fachadas, cortes e, eventualmente, perspectivas. Esta era à base da representação de objetos arquitetônicos e urbanísticos dos desenhos a nanquim aos desenhos CAD.

A partir da tecnologia do BIM o objeto é pensado e representado pelo projetista já em sua totalidade e complexidade, e a decomposição de sua representação em planos (plantas, fachadas, cortes, etc.) é solicitada para serem executados pelo sistema e em caso de necessidade de representação da informação de modo mais bem estruturado. Como o objeto é representado como um sistema, qualquer alteração em alguma de suas características resulta em alterações e atualização de visualizações nos diferentes planos de representação da informação.

É no princípio de abordagem sistêmica e integração das informações que o BIM tangencia os princípios de SIG.

While BIM systems focused on developing objects with the maximum level of detail in geometry, GIS are applied to analyze the objects, which already exist around us, in most abstract way. Therefore, to visualize existing topography and a new facility to be developed together we need more research on integrating the data models of BIM and GIS (Bansal, 2011, p.159).¹⁹

BIM ainda é bem recente, e não possui a mesma maturidade do SIG, mas será a convergência e integração desses dois modelos, conceitos e sistemas que trarão para o geoprocessamento um

¹⁹ “Enquanto os sistemas BIM focada no desenvolvimento de objetos com o nível máximo de detalhes na geometria, SIG são aplicados para analisar os objetos, que já existem em torno de nós, na maioria de forma abstrata. Portanto, para visualizar topo-grafia existente e um novo sistema a ser desenvolvido em conjunto, precisamos de mais pesquisa sobre a integração dos modelos de dados de BIM e SIG” (Tradução Livre).

novo paradigma: o *Geodesign* e a Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial. (Moura, 2012).

Segundo Zipf, in Campagna, (2006, p.123) esta nova etapa que se anuncia para os SIGs já se conformam como novo paradigma do geoprocessamento:

*Conventional GIS are usually quite static, as they do not cover dynamic aspects of geo-objects in their data model. The information on the modeled domain is usually separated into models of geometric space (2D/3D) and thematic aspects (attributes). But if someone wants to develop a system that is capable of modeling objects of the environment including their history, presence, and future, most available systems lack expressive power. It has been demanded that a temporal GIS (TGIS) needs to provide functionality for spatiotemporal data storage, data handling, and analysis as well as visualization. These functions are usually more complex than in conventional GIS and are still an area of active research. Within the Deep Map/GIS project a flexible and extensive temporal objectoriented model had been developed [1–3]. The aim was to allow the management of 3D geo-objects of urban areas over historic epochs and act as a basis for the data management components of temporal 3D-GIS ("3D-TGIS" or more colloquial "4DGIS") to be developed in the future. Since the temporal part of this model is a selfconsistent OO-model for temporal structures, it can also be used with 2D geodata (ZIPF, 2006, p. 2013).*²⁰

O esquema a seguir (figura 10) mostra as fases do ciclo de vida de um projeto, onde se pode identificar atividades que hoje são endereçadas ao SIG, ou que pelo menos, necessita de informações mantidas por estes sistemas. São estas:

- a) Planejamento, estudos de viabilidade e projeto conceitual;
- b) Projeto básico e documentação;
- c) Validação e visualização;
- d) Coordenação da construção;
- e) Gerenciamento do ativo.

²⁰ "SIG convencional são geralmente bastante estático, uma vez que eles não cobrem aspectos dinâmicos georreferenciados em seu modelo de dados. A informação sobre o domínio modelado é geralmente dividida em modelos de espaço geométrico (2D/3D) e aspectos temáticos (atributos) . Mas se alguém quiser desenvolver um sistema que é capaz de modelar objetos do ambiente, incluindo sua história, presente e futuro, a maioria dos sistemas disponíveis não têm poder de expressão. Foi exigido que um SIG temporal (TGIS) precisa fornecer a funcionalidade para o armazenamento de dados espaço-temporal, a manipulação de dados e análise, bem como a visualização. Estas funções são geralmente mais complexas do que em SIG convencional e ainda são uma área de pesquisa ativa. Dentro do projeto Aprofunda Mapa / SIG, um modelo orientado a objetos flexíveis e temporais foi desenvolvido [1-3]. O objetivo era permitir que os gestores dos geo-objetos 3D das áreas urbanas pudessem analisar os dados através de épocas históricas e agir como uma base para a gestão dos componentes temporais 3D (" 3D-TGIS " ou mais coloquial " 4DGIS "), a ser desenvolvido no futuro. Uma vez que a parte temporal do presente modelo é um modelo OO - selfconsistent em termos de estruturas temporais, ele também pode ser utilizado em dados geográficos bidimensionais" (Tradução Livre).

Contudo, tendo em vista o tradicional problema da fragmentação dos documentos de projeto, assim como a coexistência de diferentes formatos de arquivos e padrões, entende-se que para o BIM ser de fato um processo de síntese, ele deve ser capaz de integrar os diferentes tipos de dados e de favorecer a interoperabilidade. É embasado no interesse em não apenas modelar retratos interpretativos, mas também gerar simulações da realidade, que os *Building Information Modeling* tomaram força dentro do contexto das tecnologias de representação digital, e caminham para serem incorporados ao geoprocessamento, através da simbiose BIM & SIG.



FIGURA 10 – Esquema BIM é um processo que promove integração
 Fonte: GOMES, 2012.

3.4.3.c Geodesign

Alguns autores têm defendido que todo o conjunto de processos - que inclui ampla aplicação de geoprocessamento nas etapas de caracterização, diagnóstico, proposição, simulação e reavaliação de resultados – caracteriza-se como um “*Geodesign*”, que é um conjunto associado de métodos de desenho e métodos de planejamento que permitem verificar os impactos da simulação do projeto proposto no contexto geográfico:

Is a design and planning method which tightly couples the creation of a design proposal with impact simulations informed by geographic context. In an ideal case, a planner or designer receives real-time guidance on

performance at every phase of design from early site visit or conceptual sketch to final detail. The use of contextual geographic information means that design performance can be evaluated relative to local conditions, and that evaluation can and should consider off-site impacts. The focus is on supporting “human in the loop” design, providing continuous feedback on multiple aspects of performance and improving designs-in-progress rather than on post-hoc evaluation. This visualization tools sketing interface within GIS to connect this directly to geoprocessing models so as to support a novel mechanism for rapidly generating spatial features with attributes, a tightly coupling design and assessment of sketch in the built georeferenced landscape and a design-time feedback (FLAXMAN, 2009, p. 29).²¹

Esses novos sistemas de suporte ao planejamento baseiam-se em ferramentas de apoio aos projetos que não se restringem mais apenas ao desenho do território, mas respondem as proposições de simulação da paisagem urbana com ferramentas que facilitam a comunicação do contexto urbano através de modelos 3D.

Os modelos podem se tornar ainda mais inovadores se a modelagem dos dados apoia a criação de cenários paramétricos da composição da ocupação do território, o que Moura (2012) tem chamado de “Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial”, ou “*Parametric Modeling of Territorial Occupation*”.

O novo caminho, das lógicas e princípios do *Geodesign* somadas à Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial, compreende um ambiente de pleno uso das geotecnologias para análise, simulação, proposição, detalhamento de projetos e comunicação com diferentes usuários. Para isso são necessários sistemas integrados, modelagem e construção de retratos interpretativos e simuladores da realidade, investimento em visualização e melhor envolvimento da comunidade, interoperabilidade entre sistemas.

As condições que ora se apresentam permitem que o urbanista simule, em realidade aumentada, as paisagens resultantes de suas proposições de zoneamento, modelos de

²¹ “É um método de projeto e planejamento que cumpre firmemente a criação de uma proposta de projeto com simulações de impacto informadas pelo contexto geográfico. Em um caso ideal, um planejador ou designer recebe orientação em tempo real sobre o desempenho em cada fase do projeto desde visitas ao local ou esboço conceitual ao detalhe final. O uso de informação geográfica significa que o desempenho do projeto pode ser avaliado em relação às condições locais, e que a avaliação pode e deve considerar os impactos fora do local, nos arredores. O foco é no apoio do design em loop, fornecendo feedback contínuo em vários aspectos de desempenho e melhorar projetos em andamento, em vez de avaliação pós construção. Esta interface de visualização de desenho com SIG para ser conectada diretamente com os modelos de geoprocessamento precisa dar apoio a um mecanismo de rápida geração de recursos espaciais com atributos, a um projeto fortemente embasado no desenho e avaliação de esboço na paisagem construída além de feedback no tempo da realização do desenho” (Tradução Livre).

ocupação e tabela de parâmetros urbanísticos em um ambiente de fácil visualização e comunicabilidade. Isto empregado mais amplamente como ferramenta de trabalho do urbanista irá permitir a ponte entre linguagem técnica, administrativa e da comunidade, pois ao se aprovar um Plano Diretor e suas peças, os usuários poderão ter uma representação virtual do significado dos parâmetros propostos. Todos poderão então decidir, de modo democrático e com o apoio de melhores formas de comunicação, sobre os projetos que resultem na paisagem esperada e condizente com os valores da cultura e da sociedade que a tem como território.

Os impactos visuais na paisagem afetam não apenas o valor do local, mas também, o estilo de vida e as formas de interação com os espaços, ou seja, as pessoas optam normalmente por interagir com ambientes que o agradem visualmente.

A grande dificuldade da avaliação do impacto na paisagem é definir os méritos visuais e desenvolver um *framework* de decisão para a avaliação formal dos impactos. Os méritos visuais podem ser trabalhados em avaliações em termos de qualidade, forma, escala beleza e harmonia. Já o *framework* deve ser uma avaliação de múltiplas etapas que permite a animação, multimídia e navegação virtual. É preciso o envolvimento de todos os atores no processo de decisão de mudanças na paisagem urbana, segundo Danahy and Hoinkes, 1995, incluindo “*urban planners, designers, local community groups, developers, tenants, investors and politicians*”.²²

Giacomelli, in Campagna (2006, p.187) e Chan et al. (1998) assim defendem a participação desses novos atores:

Understanding the spatiotemporal behavior of environmental processes and state variables at large scales involves the use of many different types of data, obtained from field measurement, remote sensing, digital terrain models, and numerical simulation. In such a context, the support of GIS data processing functions can be particularly valuable for the modeler. This makes the process more intuitive and relieves the user from tedious and error-prone processing tasks, while improving the accuracy in the description of the site under examination. At the same time, undertaking a modeling study in a GIS context provides a basis for the simplification of the interaction between the different players involved (data providers, modelers, and decision-makers), through the establishment of a common data structure, which can be visualized using the same GIS-based visualization tools. In this

²² “Urbanistas, designers, grupos comunitários locais, desenvolvedores, inquilinos, investidores e políticos” (Tradução Livre).

*way, there's tree approaches in the context of simulation models. The empirical models can serve as useful screening tools; conceptual models can generate what-if scenarios; the third class is ideally suited to research and can be used to conduct exploratory simulations to test new hypotheses and parameterizations, for example (GIACOMELLI, 2006, p. 187).*²³

*Interactive visualization of an urban simulation can realistically presents and assist in developing good decisions that help create consensus (CHAN et. al, 1998, p. 28).*²⁴

Ainda Giacomelli (op. cit.) afirma que a complexidade desses modelos e variedade e volume de informações precisam ser estudados em termos de ambiente de processamento e pós-processamento relacionados não apenas a tecnologia SIG, mas na ferramenta anfitriã que fará essa interface de sistema de visualização científica, processamento de imagens e gerenciamento de dados. Os modelos paramétricos da ocupação do território são resultantes da composição de diversos elementos que tornam sistemas robustos e pesados.

Surtem as primeiras dúvidas sobre como armazenar e gerenciar estes novos tipos de produtos:

Combining data, models, and tools into a robust and userfriendly system is a research topic that has seen approaches ranging from tight integration. This integration deliver full functionality, interactivity, user friendliness, and speed, it also usually requires profound changes in the constituent tools. The key architectural modification concerns the use of a common data model, shared by the different tools embedded in the system, typically GIS-based visualization and data management, and model-based simulation. This is important, since it allows reducing the “overhead” associated with any operation by eliminating the need to convert data from one format to the other, reducing actual processing time and simplifying data management strategies. However, from a cost–benefit analysis perspective, the effort of

²³ “Entender o comportamento espaço-temporal dos processos ambientais e variáveis de estado em grande escala envolve o uso de diferentes tipos de dados, obtidos a partir de medições de campo, sensoriamento remoto, modelos digitais de terreno e de simulação numérica. Em tal contexto, o suporte de funções de processamento de dados SIG pode ser particularmente valiosa para o modelador. Isso torna o processo mais intuitivo e alivia o usuário de tarefas de processamento tedioso e propenso a erros, melhorando a precisão na descrição das análises. Ao mesmo tempo, realizar um estudo de modelagem em um contexto SIG fornece uma base para a simplificação da interação entre os diversos atores envolvidos (provedores de dados, modeladores e tomadores de decisão), através do estabelecimento de uma estrutura de dados comum, o que pode ser visualizado usando as mesmas ferramentas de visualização baseada em SIG. Desta forma, existem três abordagens no contexto dos modelos de simulação. Os modelos empíricos podem servir como ferramentas de mapeamento úteis; modelos conceituais podem gerar cenários hipotéticos; a terceira classe é idealmente adequada para pesquisa e pode ser usado para conduzir simulações exploratórias para testar novas hipóteses e parametrizações, por exemplo” (Tradução Livre).

²⁴ “Visualização interativa de uma simulação urbana pode de fato apresentar e auxiliar no desenvolvimento de boas decisões que ajudam a criar consenso” (Tradução Livre).

attaining tight integration may result in excessive implementation time and/or costs (GIACOMELLI, 2006, p. 187).²⁵

A era dos *games* também tem significado rápido e impressionante desenvolvimento e difusão de tecnologias de comunicação e visualização. Advindo dos games, os sistemas de construção virtual de cidades começam a ser de interesse para integrarem as ferramentas de geoprocessamento. O interesse em utilizar os sistemas de modelagem de cidades para games aplicados como ferramentas de gestão do território real é latente. Em um primeiro momento é tarefa árdua, pois os sistemas ainda se mostram fechados à entrada e gestão de parâmetros urbanísticos, mas de um ganho enorme em termos de decodificação da linguagem cartográfica em um ambiente visual tridimensional de alta comunicabilidade.

3.4.4. Realidade Virtual e Realidade Aumentada

As Pesquisas conceituais em ambientes imersivos é uma área do conhecimento relativamente jovem, mas que vem crescendo rapidamente. Como sugerido por VERTEGAAL (2006), a realidade virtual (RV) e realidade aumentada (RA) pode contribuir de forma positiva para aumentar o interesse por um determinado assunto e auxiliar no processo cognitivo das pessoas em relação a estudos na paisagem.

No entanto, o potencial prático desses ambientes imersivos modelados sobre a ótima da realidade virtual e realidade aumentada ainda está sendo explorado para compreender como utilizar a tecnologia como apoio às atividades de aprendizagem. Existe ainda um desafio para designers e avaliadores para decodificar as melhores práticas e formas de desenho para aumentar o processo de comunicação entre o modelador e o usuário final.

²⁵ “Combinando os dados, modelos e ferramentas em um sistema robusto e de fácil utilização é um tema de pesquisa que tem visto abordagens que vão desde a integração. Esta integração apresenta funcionalidades, interatividade, facilidade de utilização e velocidade, também geralmente requer mudanças profundas nas ferramentas existentes. A principal modificação arquitetônica diz respeito ao uso de um modelo de dados comum, compartilhado por diferentes ferramentas embutidas no sistema, tipicamente com ferramentas e gerenciamento de dados baseadas em sistemas GIS. Isto é importante uma vez que permite reduzir a "sobrecarga" associado a qualquer operação, eliminando a necessidade de converter os dados de um formato para outro, reduzindo o tempo real de processamento e simplificando as estratégias de gestão de dados. No entanto, a partir de uma perspectiva de análise de custo-benefício, o esforço de alcançar a integração pode resultar em tempo de implementação excessiva e / ou custos” (Tradução Livre).

ZHOU et. al. (2008) define realidade aumentada (RA) como uma variação da realidade virtual (RV). Tecnologia de realidade virtual imerge completamente o usuário dentro de um ambiente sintético modelado. Enquanto imersos, o usuário não pode ver o mundo real ao seu redor. Por outro lado, a RA permite o usuário ver o mundo real, com objetos virtuais sobrepondo-se ou em composição com o mundo real. Portanto, RA completa a realidade, ao invés substituir completamente. Idealmente, seria exibido para o usuário de que os objetos virtuais e reais coexistir no mesmo espaço.

Quando aplicados em ambientes urbanos, tanto a realidade virtual quanto a realidade aumentada podem atuar como uma ferramenta útil no processo de design e comunicação para estabelecer uma experiência conjunta em revisões e feedbacks de projetos urbanos. Isso leva ao significado de experiência compartilhada no aprendizado, que é uma parte essencial do currículo em desenho urbano.

Underkoffler e Ishii (1999) relatam que as interfaces e ferramentas de design foram originalmente projetadas para suportar apenas um único usuário. Recentemente, veem sendo discutidas a necessidade de *shareability*, ou seja, a presença das partes interessadas no projeto urbano para decodificação das abstrações espaciais e negociações dentro do contexto do desenho urbano. Os autores ainda completam que esses modelos de realidade virtual e aumentada possuem representações tridimensionais e, quando inseridas na esfera urbana, devem ser apresentados em ambientes virtuais de imersão.

Nesse sentido, os ambientes de modelagem dos dados urbanos em ambientes virtuais se torna uma área de discussão importante dentro do âmbito do planejamento e gestão urbana. Schnabel and Kvan (2003) afirma que o sucesso da compreensão e colaboração dos modelos está relacionado ao nível imersão do usuário na cena.

CONROY (2010) afirma que a sensação de presença proporcionada pelos ambientes de imersão em interfaces tangíveis é um facilitador no processo de cognição do espaço vivido que agiliza processo de percepção da paisagem facilitando a participação coletiva.

3.4.4.a. *Cognição e Percepção Espacial – Modelos tridimensionais e ambientes de imersão.*

Para entender o processo de cognição e percepção espacial da informação tridimensional, é necessário compreender como o cérebro humano processa a informação visual gerando imagens mentais e a percepção espacial. Segundo Yuille & Ullman (1990), o processo de cognição visual acontece sempre nos níveis de alto e baixo nível de visão, conforme ilustra a figura 12.

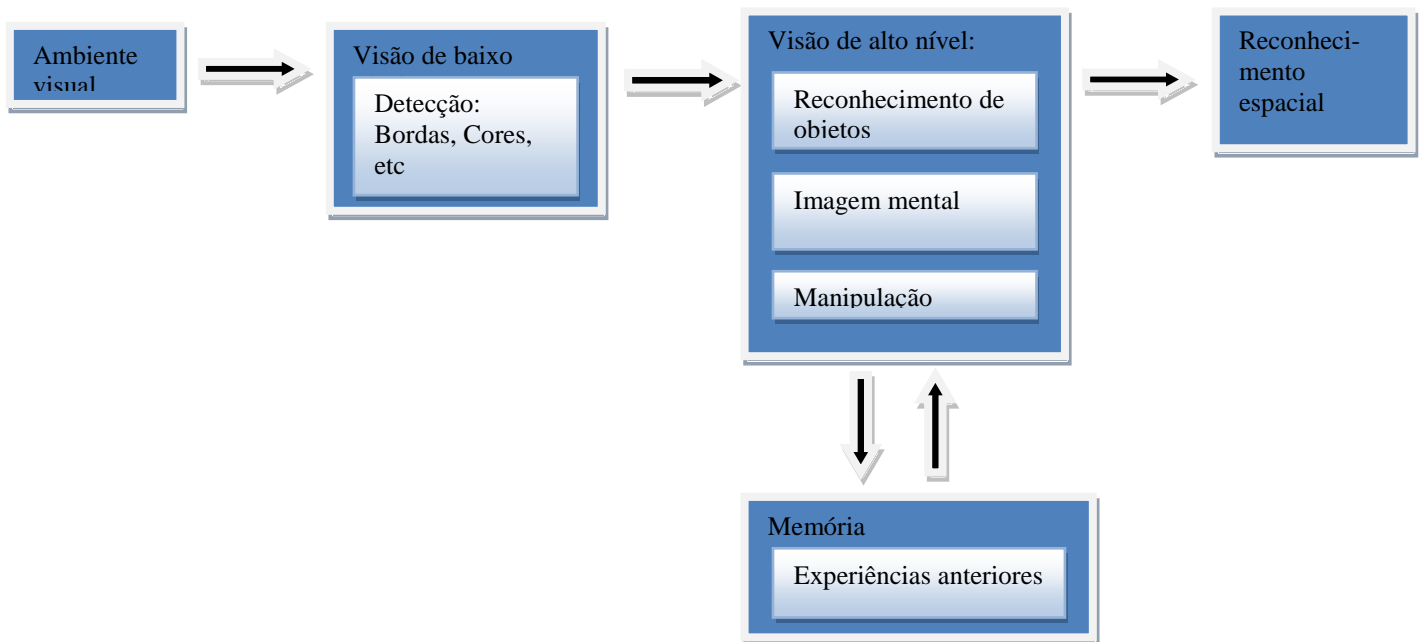


FIGURA 11 – Processo de cognição visual no cérebro

Fonte: YUILLE; ULLMAN, 1990, p. 37.

O processo cognitivo visual começa com a experiência de um indivíduo em um ambiente visual. Este poderia ser o impacto de uma imagem ou de uma experiência do mundo real. O processo cognitivo visual no cérebro funciona tanto como um processo de baixo nível quanto de alto nível. A visão de baixo nível detecta propriedades físicas do ambiente, tais como bordas e cores (Kosslyn, 1999). Os resultados do processo de visão de baixo nível são então analisados no processo de maior nível de visão, tentando relacioná-los com o conhecimento armazenado na memória de longo prazo.

O processo de visão de alto nível contém vários subprocessos, como o reconhecimento de objeto e geração e manipulação de imagens mentais (Kosslyn, 1999; Biederman, 1990). O processo de reconhecimento de objetos tenta classificar as informações em

padrões, os quais são, então, combinados e associados com objetos que o usuário tenha experimentado em outra oportunidade da vida.

Por exemplo, a teoria de reconhecimento-por-componentes (Biederman & Gerhardstein, 1995) postula que a mente humana utiliza formas 3D simples para representar objetos reais, por exemplo, uma caneca de café é composto de cilindros, as casas são compostas de paredes, janelas e portas. Um problema com a teoria é que as pessoas reconhecem objetos de forma mais lenta se os objetos são vistos a partir de pontos de vista incomuns. Essa limitação levou à criação de outras teorias. A abordagem centrada no espectador propõe que as pessoas armazenam um pequeno número de visualizações de objetos 3D e que os pontos de vista utilizados os ajudam a reconhecer os objetos (Dickinson, 1999; Tarr; Vuong, 2002; Vecera, 1998).

Este tipo de rotação mental requer muito tempo e esforço e pode causar erros no reconhecimento de objetos, que por sua vez pode causar problema de interpretação que levam a comunicação e tomadas de decisão imprecisa. No entanto, isso pode ser reduzida ao utilizar VR onde o espectador tem a capacidade de escolher livremente um ponto de vista e, assim, diminuir o processo de rotação mental e liberar mais recursos para o raciocínio. Além disso, a mente humana parece usar estas informações cognitivas visuais para o raciocínio espacial. Durante este processo, a mente tenta criar uma compreensão do espaço visual dentro de dois sistemas paralelos: o quadro de referência egocêntrico e um quadro de referência aloctêntrica centrado no ambiente (Burgess, 2006; Klatzky, 1998).

Ambos os sistemas interagem durante este processamento e recuperação de conhecimento espacial (Plank et al., 2010). No quadro de referência egocêntrica o espectador se compara com o objeto no espaço 3D. Durante este processo de análise Eu-para-Objeto, à distância e o rumo dos objetos são processados independentemente do meio ambiente global. Como o espectador navega através do ambiente, com parâmetros centrados no próprio indivíduo, a percepção do espaço deve ser constantemente processados e atualizados a cada mudança de visada no espaço 3D e, com isso, é sempre um ponto de vista que utiliza como referência as experiências individuais de uma pessoa.

Em contraste, o quadro de referência aloccêntrica é construída através da comparação objeto - objeto ou ambiente - objeto e é um quadro global de referência associado a ambiente visual. Estudos têm demonstrado que a percepção espacial dos modelos tridimensionais e de realidade vivida diferem (Kenyon et al., 2008). Na verdade, há muitas características que são processadas durante o raciocínio espacial do espaço 3D. Naceri et al. (2009) argumentaram que a percepção de profundidade nos modelos visuais ocorre com base na realidade ou com base em modelagens as incertezas, e dúvidas sempre irão coexistir. Uma das principais razões para isso é que os espectadores sentem uma diferença entre o ambiente real e o ambiente virtual sugerido pelos modelos exibidos.

Um fator importante para o enriquecimento da experiência está relacionado ao tamanho do campo de visão do sistema geovisualizador. Nikolic (2007) descobriu que os modelos de realidade virtual mostrado nas pequenas telas, tais como monitores de PC, tem que ser mais detalhada e fotorrealista, a fim de proporcionar a mesma experiência espacial que as grandes telas e proporcionar uma boa experiência espacial. Mullins (2006) testaram várias opções de geovisualizadores para avaliar qual traria uma maior percepção tridimensional. Comparando as opções com o ambiente real, Mullins opt. cit. descobriu que o ambiente virtual de tipo caverna digital²⁶ é o melhor espaço para modelos tridimensionais, pois é um espaço de melhor percepção, pois a mente humana usa o corpo para examinar o tamanho do ambiente circundante e com isso consegue ter uma ideia de escalas.

Em um estudo recente, Riecke et al. (2010) mostraram que, quando os usuários de RV estão autorizados a controlar rotações no ambiente simulado de acordo com os seus anseios, o resultado de percepção espacial bem como de realização de tarefas foi bem mais significativos do que uma mera visualização dos dados a partir de filmes já prontos sobre um determinado ponto de vista. O impacto de todos os fatores são claramente dependentes de como o ambiente e o modelo estão configurados bem como o conteúdo apresentado no modelo.

²⁶ Ambiente de realidade virtual que permite a imersão dos usuários no ambiente modelado.

Como mencionado acima, a mente humana utiliza as memórias juntamente com diferentes pistas visuais e padrões de espaço visual para determinar o tamanho dos objetos. Neste processo, a mente humana procura na memória de longo prazo as experiências anteriores relacionadas aos objetos e padrões. Este é um processo muito exigente para o cérebro, e se os objetos e padrões são complexos ou abstratos o resultado da compreensão e da comunicação do modelo, bem como a tomada de decisão pode ser influenciada (Evans, 2007; Finke, 1989; Kosslyn, 1999). Se as propostas urbanísticas são muito abstratas e complexas de analisar, os recursos limitados do cérebro focam na criação mental de imagens, em vez de utilizar para o raciocínio espacialmente sobre as propostas apresentadas e o reconhecimento do espaço (Chen, 2004; Kavakli & Gero, 2001).

Os resultados do julgamento de propostas urbanísticas dependem do julgamento das partes interessadas no processo de planejamento (Volker, 2010). Volker (op. cit.) classificou que a decisão de um planejamento urbanístico pode seguir duas categorias gerais, o primeiro envolve valores, técnicas funcionais que são tangíveis e, muitas vezes quantificável, e a segunda envolve perceptiva, subjetiva que são valores intangível e, portanto, difícil de medir. Os valores intangíveis são valores suaves e são muitas vezes ligado a emoções e percepção. Nesse caso é difícil compreender o motivo pelas quais as pessoas preferem determinada opção.

Neste contexto é importante ter em mente que, se o espectador tem que colocar muito esforço para o processo de interpretar da informação visual, menos recursos estarão disponíveis para a memória de trabalho visual e raciocínio espacial, e isso vai influenciar o resultado do entendimento e a comunicação do projeto. Isso afetará na aprendizagem, compreensão e raciocínio, que irá influenciar o julgamento e processo de tomada de decisão.

3.4.4.b. Viés Cognitivo na Tomada de decisões.

A tomada de decisão é um processo bastante difícil de definir especialmente quando tratado no contexto do planejamento urbano e no design da cidade.

O conceito que está por trás das teorias da tomada de decisão é da racionalidade limitada (Simon, 1957; Gigerenzer; Selten, 2002), que reconhece as limitações humanas, quando se trata de analisar, avaliar e escolher entre alternativas de decisão. Essas limitações podem ser de natureza cognitiva, mas também são afetadas por limitações decorrentes de que a tomada de decisão:

- É demorada;
- Requer uma grande quantidade de informações precisas;
- Exige a disponibilidade de critérios mensuráveis e racionais que precisam ser acordados em cima;
- Requer um processo racional e razoável, muitas vezes não disponíveis em um contexto político;
- Requer o conhecimento estável e completo de todas as alternativas, preferências, objetivos e consequências.

A abordagem racionalidade limitada pressupõe que os tomadores de decisão procuram opções: "suficientemente bom" ou "satisfatório" em vez de procurar pelas melhores soluções.

Nesse sentido, Weaver (2007) abordou como a participação coletiva da população pode mudar as opiniões dos atores públicos e políticos, gerando quadros diferentes e o que pode dar origem a um viés cognitivo na tomada de decisão. Essa força popular pode ser exercida e pressionar os agentes públicos na tomada de decisões. Esse processo ficou claro na caverna virtual. Alguns participantes estavam com opiniões positivas em relação às mudanças, mas na decisão final sobre aprovar ou não a alteração de parâmetros, que ocorreu após uma troca de experiências entre os integrantes, todos disseram que não faria a aprovação. Observa-se que inclusive foi o único teste em que todos os usuários tiveram a mesma decisão a respeito na não aprovação.

Maartola & Saariluoma (2002) descreveram a tomada de decisão nesse tipo de processo de planejamento urbano como muito complexo, socialmente estruturado, envolvendo tanto as decisões dos indivíduos, mas, especialmente, a influência das experiências e expectativas gerais do grupo. Sabemos que cada um dos integrantes tem seus próprios

interesses, expectativas e objetivos (AMBROSE, 1994; FALUDI, 1996; FRIEDMAN, 1996; HOCH, 1996).

O ambiente que favorece a tomada de decisão compartilhada consiste em uma combinação das características do grupo (incluindo história de cada um, tamanho do grupo, cultura, comportamento de liderança, coesão do grupo), a tarefa a ser executada (nível da tomada de decisão, dificuldade e sincronização do tempo), o contexto organizacional do grupo (estilo de gestão, maturidade de trabalho em grupo) e o sistema escolhido (WebScene, Filmes, Caverna Digital). Esses fatores influenciam no processo e na qualidade da decisão do grupo.

As abordagens dos sistemas de visualização de trabalho coletivo (SVTC) são muitas vezes baseadas na suposição de que problemas complexos exigem mais conhecimento do que qualquer indivíduo possui e, neste contexto, é necessário que todos os atores envolvidos para entender, participar, comunicar e colaborar um com o outro para se obter um resultado de qualidade superior (ARIAS et al., 2000). Muitas vezes a melhor opção está fora do entendimento comum e se concretizam quando os diferentes atores começam a entender a perspectiva dos outros.

Os processos de decisão em grupo têm a tendência de usar mais tempo e energia discutindo informações que todos os membros são familiarizados e menos tempo e energia discutindo informações que apenas alguns membros possuem (POSTMES *et al*, 2000). Neste contexto, praticamente todos os processos de grupo pode ser entendido através de uma análise de como cada membro do grupo processa a informação e raciocínio das informações relevantes ao grupo (SCHULZ- HARDT, 2000). Nesse sentido, é muito importante fornecer ferramentas para nivelar a informação e facilitar o processo cognitivo e de percepção espacial dos modelos tridimensionais para que o nível da discussão de baseie em informações compreendidas por todos.

3.4.5. Sistemas de Informação Geográficos tridimensionais

Um exercício típico de planejamento urbano requer acesso a uma grande quantidade de informações que permitam a caracterização e diagnóstico municipal. Um SIG, com seu banco de dados espacial e alfanumérico, pode guardar e deixar disponível dados de

diferentes escalas e precisões, como, por exemplo, área de projeção de edificações, quadras, trechos, bairros, etc. Todas essas informações são utilizadas como um framework para a tomada de decisões no planejamento urbano.

Segundo Nijkamp and Scholten 1993, “*GIS is used as the principal tool for developing planning proposal with 3D visualization providing the rendering of theses designs*”.²⁷

Assumindo que os desenhos urbanos são inicialmente trabalhados a partir de um sistema de informação geográfico, estamos inferindo a necessidade de agregar fortemente a visualização 3D ao sistema SIG. Isso significa um grande desafio, uma vez que são produtos bem diferentes. O sistema de informação geográfica é uma ferramenta genérica para armazenar, manipular, consultar e mostrar dados espacialmente localizados.

O SIG está mais relacionado à base de dados e representações de uma gama de informações territoriais. A lógica do modelo de dados representa mais que primitivas gráficas, pois ele possibilita a representação de feições do mundo real em termos de sua localização, relações espaciais, atributos alfanuméricos. Sua funcionalidade vai ao encontro às múltiplas interpretações analíticas e visuais dos dados. Sua capacidade em termos de visualização envolve, basicamente, a simbolização de classes e a classificações por componentes de legenda. Por outro lado, os sistemas de visualização 3D estão mais alinhados com os “*computer aided systems*”, os sistemas CADs.

Os CADs são tipicamente utilizados para construir e mostrar o dado tridimensional para desenhos de engenharia de ambientes construídos. Eles são programados para dar entrada e mostrar feições gráficas de um elemento, e não para criar um modelo abstrato de fenômenos territoriais, como os SIG. As funcionalidades do CAD são gerar e medir os desenhos sobre algumas perspectivas de visão normalmente envolvendo *renderização* complexa de grafos 3D de superfícies e feições paramétricas. A necessidade então é fazer a integração dos dois ambientes para somar as duas funcionalidades e dar aos planejadores um conjunto de ferramentas apropriadas para a tomada de decisões.

²⁷ “GIS é usado como a principal ferramenta para o desenvolvimento de proposta de planejamento com visualização 3D proporcionando provas dos projetos de design” (Tradução Livre).

As ferramentas de visualização de dados urbanos 3D precisam de interface para os planejadores e *geodesigners*, de modo a promoverem a interação das características do território e do ambiente construído:

Three dimensional (3D) and VR city models can be simply described as computerized graphical representations or visualizations of any city and their components. We emphasize that the information that exists about a metropolis is hard to comprehend in its totality therefore good representations allow rapid understanding of the relevant features of a data-set. (Thompson et al, 2011, p. 3).²⁸

As feições ou componentes da obra arquitetônica e urbanística devem ser combinadas em uma cena 3D, favorecendo a consulta e as mensurações dos objetos no sistema. É necessário possibilitar a transformação entre a representação 2D e a representação 3D. Essa troca de ambientes deve ser fácil e intuitiva:

For instance some users may wish to digitise a path on a 2D map display which is then traversed in the 3D Scene (Hoinkes et. al, 1995, p.54), or other users may wish to freely navigates in 3D Space (SMITH et. al, 1998, p. 159).²⁹

Segundo Buschmann et al 1996, “*related representations in 2D maps and 3D Scenes can be linked through a viewer-controller paradigm to synchronize user interaction with the database model.*”³⁰

Nesse sentido, os ambientes de alta imersão permitem a manipulação de componentes tridimensionais. Essa forma de interação precisa estar em harmonia com o processo de criação e desenho dos ambientes construídos:

A framework for modelling protocols based upon interaction and decisions for urban systems. Designers are provided with interaction tools to evaluate

²⁸ “Modelos de cidade tridimensional ou em realidade virtual pode ser descrita simplesmente como representações gráficas computadorizadas ou visualizações de qualquer cidade e seus componentes. Ressalta-se que a informação que existe sobre uma metrópole é difícil de compreender na sua totalidade, portanto, boas representações permitem a compreensão rápida das características relevantes de um conjunto de dados” (Tradução Livre).

²⁹ “Por exemplo, alguns usuários podem querer digitalizar um trechos em um mapa bidimensional e visualizar em cenas 3D (Danahy e Heinkes, 1995), ou outros usuários podem querer navegar livremente no espaço 3D” (Tradução Livre).

³⁰ “Representações relacionadas em mapas 2D e cenas 3D podem ser ligados através de um paradigma espectador-controlador para sincronizar interação do usuário com o modelo de banco de dados” (Tradução Livre).

*design choices, Manipulation of any kind needs to serve some purpose and this requires analytical functions to indicate how that purpose is being served. Design factors can be expressed in terms of spatial suitability for certain activities, or for locating design elements (BATTY et. al, 1998, p. 55).*³¹

*As a designer manipulates objects they are given direct feedback on how their design rates against specified criteria. Prototype decisions support systems have been developed for manipulating design elements in a GIS to evaluate urban design decisions further investigation is needed to understand design criteria for 3D scenes (PETIT; PULLAR, 1999, p. 81).*³²

A geração computacional de visualizações 2D e 3D de forma fácil, interativa e imersiva apresenta uma visão gráfica de uma representação abstrata do mundo real. Essa representação abstrata precisa incluir atributos para apoiar o processo de criação e entendimento de desenhos humanos, pois são essas representações que permitirão o maior envolvimento de diferentes atores da cidade.

*It can be said that the role of the most of these digital representations / models is not only for predicting what is going to happen but also for establishing links between stakeholders in order to explain, guide and promote discussion between parties (Epstein, 2008, p.5).*³³

O *framework* de avaliação do ganho de conhecimento e do valor do impacto visual no processo de planejamento e desenho da paisagem urbana utilizado nessa tese é testado através de um aplicativo que apresenta alguns recursos de Sistema de Informação Geográfico tridimensional (CityEngine), que permite trocar a visualização dos dados de 2D para 3D, navegar pelo ambiente sob as óticas na navegação virtual e a interação a partir da troca de parâmetros.

³¹ “Um quadro para modelagem de processos baseadas em interação e decisões para os sistemas urbanos. Designers estão equipados com ferramentas de interação para avaliar opções de design, manipulando qualquer tipo de necessidade para atender um propósito. Isso requer funções analíticas para indicar a aplicabilidade daquela proposta. Fatores de design podem ser expressas em termos de adequação espacial para determinadas atividades, ou para a localização de elementos de design” (Tradução Livre).

³² “A medida que o designer manipula objetos são dadas feedback direto sobre a forma como as suas ações impactam em relação a critérios especificados. Protótipos de sistemas de apoio à decisão foram desenvolvidos para manipular elementos de design em um SIG para avaliar as decisões de design urbano. Mais estudos são necessários para entender os critérios de projeto para cenas em 3D” (Tradução Livre).

³³ “Pode-se dizer que o papel da maioria dessas representações / modelos digitais não é só para prever o que vai acontecer, mas também para o estabelecimento de ligações entre as partes interessadas, a fim de explicar, orientar e promover a discussão entre as partes” (Tradução Livre)

O CityEngine possui alguns dos princípios de um sistema de informação geográfico como a importação de dados de diversas fontes, o armazenamento e visualização dos dados bidimensionais e tridimensionais. Todavia, não pode ser considerado exatamente um SIG, pois apresenta os recursos muito limitados de retroalimentação de banco de dados alfanumérico a partir da elaboração de consultas, limitações na aplicação de modelos de análise espacial e possui baixa interoperabilidade com outros sistemas de gerenciamento de dados territoriais. O CityEngine é um sistema que recebe dados de SIGs e que favorece a visualização da informação em visão tridimensional, assim como a simulação de paisagens tridimensionais. Contudo, ele é ainda se comporta como fim de processo, para visualização, e possui limitações para o retorno a etapas em que os SIGs são instrumentos de interesse para aplicações.

Nesse sentido, acredita-se que no futuro próximo, tendo em vista demandas e interesses dos usuários, surgirá um sistema que atenda à necessária e complexa interoperabilidade de processos, configurando um esquema de *Geodesign* completo. Por enquanto, o aplicativo por ser considerado, ainda com suas limitações, o que há de mais atual nos processos de *Geodesign* que tenham como objetivo a modelagem da paisagem urbana até a etapa de visualização de resultados dos parâmetros urbanísticos. No futuro, com condições de retroalimentação dos dados e interoperabilidade com Sistemas de Informações Geográficas, será possível dar um passo a mais para que, após a visualização, os ajustes de decisões locais e de capacidades de carga urbana (no sentido de capacidade de recebimento de coeficientes e volumetrias) sejam elaborados em sistema integrado de decisões.

Nesse sentido, vale uma revisão sobre a importância e estado da arte da visualização no contexto urbano para confirmação de que a preocupação com a representação da cidade por parte dos arquitetos urbanistas vem de convergência com o momento de importância da visualização no âmbito do geoprocessamento.

3.4.6. *Visualização Urbanística*

Moura e Santana (2014 b) defendem que os princípios de realidade aumentada sempre foram de amplo interesse para os estudos da representação arquitetônica e urbanística:

O arquiteto urbanista sempre teve como instrumento de trabalho as formas de comunicação gráfica que permitissem a ponte entre a suas ideias, as suas representações mentais, e a transferência dessas ideias para o público em geral. Dessa forma, os princípios de representação da forma sempre foram motivo de investigação do arquiteto, e as tecnologias digitais têm ampliado as condições de se simular ambientes propostos, construídos e observados (MOURA e SANTANA, 2014, no prelo).

Segundo as autoras (op. cit.):

In the history of urbanism, the representation of the cities in zenithal view, informing urban morphology, is object of research, which aims to understand the relationship between the form of cities and the construction of mental maps, perceptions and generation of links between users and territory, what, in essence, is the culture of the place. (MOURA et al, 2014, no prelo).³⁴

Essa relação é representada nas figuras 13 a 18.



FIGURA 12 - Cidade de Bologna – segunda metade do sec. XVI
Fonte: BENÉVOLO, 1976

³⁴ “Na história do urbanismo, a representação das cidades em vista zenital, informando morfologia urbana, é objeto de pesquisa, que tem como objetivo compreender a relação entre a forma das cidades e a construção de mapas mentais, percepções e geração de links entre os usuários e território, o que, em essência, é a cultura do lugar” (Tradução Livre)

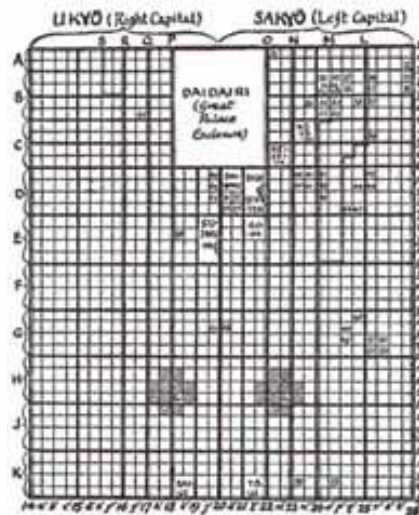


FIGURA 13 - Planta da capital Imperial de Kioto, Japão, 800 D.C.
 Fonte: BENÉVOLO, 1976

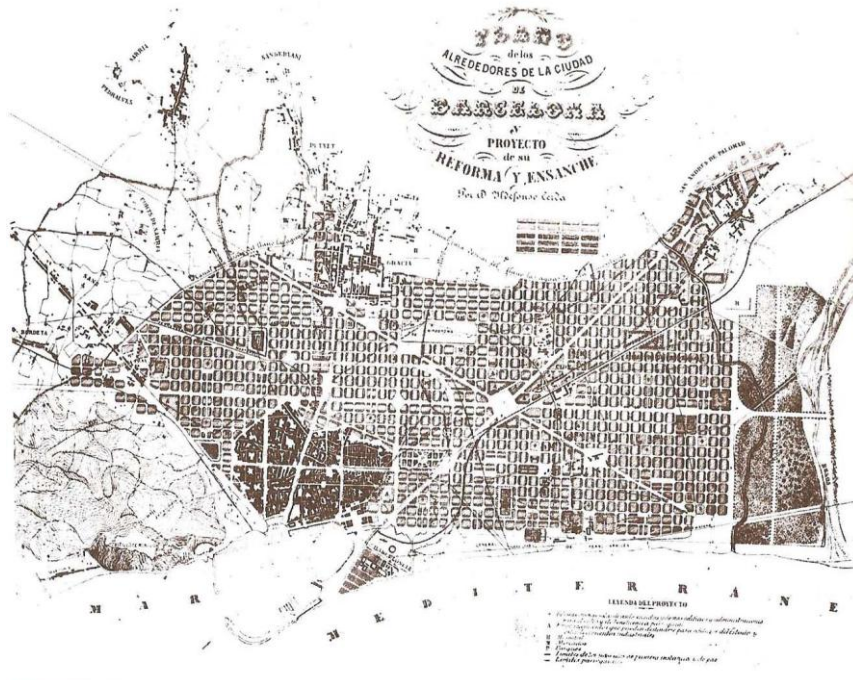


FIGURA 14 - O arranjo de Barcelona, projetado por Idelfonso Cerda em 1859
 Fonte: BENÉVOLO, 1976

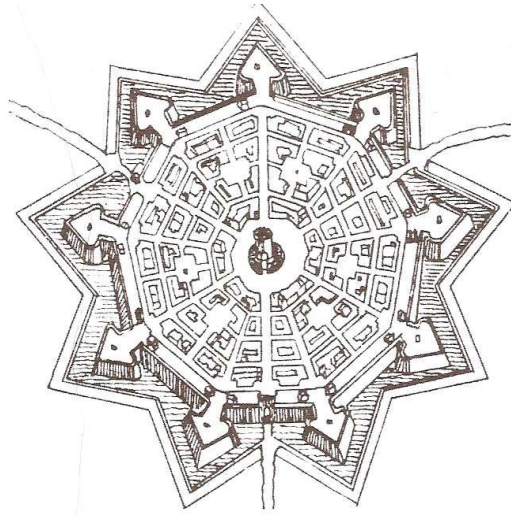


FIGURA 15 - Plano original da cidade de Palmanova, nas proximidades de Veneza, 1593

Fonte: BENÉVOLO, 1976

As representações de topo sempre foram acompanhadas dos croquis tridimensionais. Moura e Santana (op. cit.) afirmam que essa forma de representação traduz ainda que de forma simplificada, a essência da imagem que se objetivava construir para o lugar.

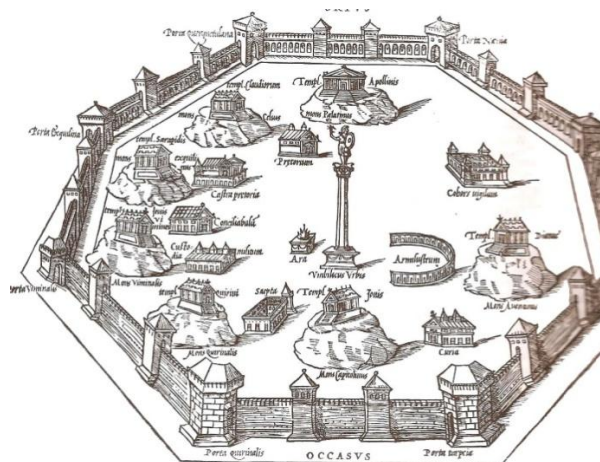


FIGURA 16 - Esquema de Roma – época de Sêrvio Túlio, gravura de 1527

Fonte: BENÉVOLO, 1976

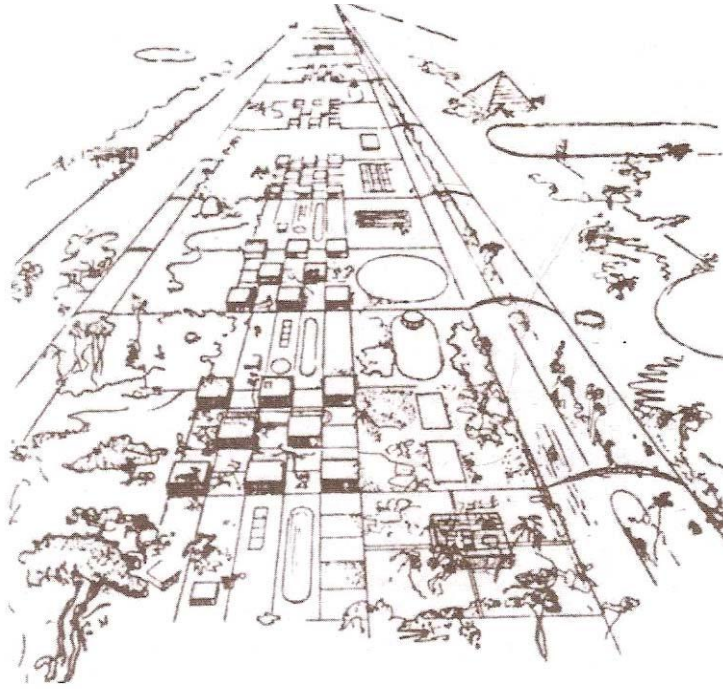


FIGURA 17 - Esboço do projeto proposto para cidade de Magnitogorsk, na URSS, concebida por Ivan Leonidov em 1930. Cidade linear
Fonte: BENÉVOLO, 1976

Esta representação da essência da morfologia urbana, que traduz as expectativas do modo de ocupação do território, chegou à escala de proposições de envelopes ou envoltórios, muitas vezes chamados de gabaritos, especificados para a escala das edificações.

São clássicos os envelopes ou desenhos elaborados por Hugh Ferriss, arquiteto e ilustrador, contratado na época da implementação da Lei de Zoneamento de Nova York em 1916. A referida lei visava propor medidas para se evitar a construção de edifícios com ocupação maciça do terreno comprometendo a iluminação e ventilação das ruas, e para isto estabeleceu limites de altura para os edifícios relacionados aos afastamentos sucessivos, sem impor limites de altura no geral. Como o princípio era novo, muitos arquitetos ficaram inseguros quanto às implicações da Lei e por isto, em 1922 o arquiteto Harvey Wiley Corbett contratou Hugh Ferriss para elaborar uma série de perspectivas demonstrando as consequências da Lei de Zoneamento (Figura 19).

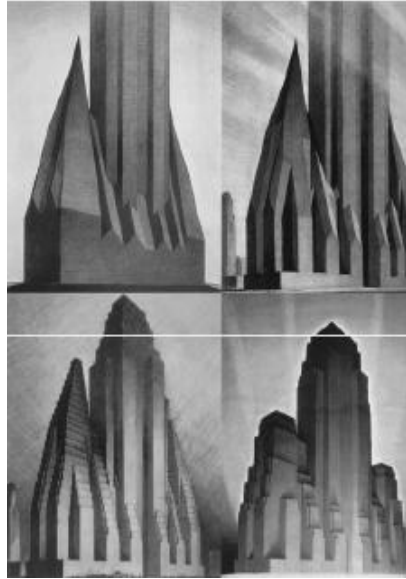


FIGURA 18- Desenhos de Hugh Ferriss para simulação da Lei de Zoneamento de 1916

Fonte: FERRIS, 1929.

Os resultados das simulações de Ferriss foram à decodificação das expectativas especificadas pela Lei e de parâmetros urbanísticos propostos, que se materializaram na paisagem como a ilustrada na FIGURA 20:



FIGURA 19 - Tipologia Arquitetônica resultante de parâmetros urbanísticos antes e depois da Lei de Zoneamento em Nova York de 1916. Edifícios: Equitable Building (1915) e Chrysler Building (1930)

Fonte: Google images – (consulta outubro 2012)

Conceitos semelhantes ao envelopamento foram propostas pelo urbanista francês Alfred Agache em 1926 em seu plano urbanístico para o Rio de Janeiro. No exemplo do croqui a seguir (Figura 21), o urbanista tinha como expectativa promover:

(...) um volume formado por plano traçado segundo regras indicadas. No interior do volume o construtor é livre de se mover, mas ele não tem o direito de excedê-lo. (...) para as construções no alinhamento das ruas, uma vertical é traçada do alinhamento, uma segunda reta é elevada a 50° em relação ao nível do passeio e a 5 metros acima deste último relativamente ao alinhamento oposto. O mesmo sistema será adotado para as áreas internas, e o cruzamento destas quatro retas nos dará o perfil do corte do edifício (...) A altura dos edifícios varia, pois, segundo a largura das ruas e das áreas internas (NORONHA, 1999, p. 42).

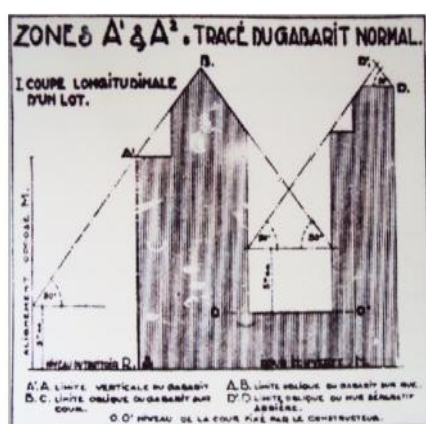


FIGURA 20 - Croquis de gabaritos propostos por Agache para o Rio de Janeiro, 1926-1930

Fonte: NORONHA, 1999.

Assim, inicialmente por croquis, e mais recentemente com o suporte da tecnologia de realidade aumentada, os urbanistas procuram antecipar o resultado de suas proposições através de instrumentos de expressão gráfica. É embasado no interesse em não apenas modelar retratos interpretativos, mas também gerar simulações da realidade, que os *Building Information Modeling* tomaram força dentro do contexto das tecnologias de representação digital, e caminham para serem incorporados ao geoprocessamento, através da simbiose BIM & SIG.

Para trilhar os caminhos da convergência entre BIM e SIG, cabe ainda abordar novos paradigmas na estruturação de cadastro e plantas urbanas que alimentam os novos Sistemas de Informações Geográficas e que atendem às novas necessidades de entender o território como sistema contínuo e integrado, e não mais fragmentado em primitivas gráficas que eram generalizações cartográficas.

3.4.7. Cadastros Multifinalitários e Parcelas

O modo de apropriação antrópica do território é dinâmico e está mudando ao longo do tempo como uma resposta às tendências gerais do desenvolvimento da sociedade. Da mesma forma, o papel do cadastro está mudando ao longo do tempo (ENEMARK, 2010).

O Estatuto da Cidade, com o objetivo de fornecer ferramentas e condições de gerenciamento do território urbano, requer a existência de um cadastro que caracterize a situação de uso, posse e propriedade do território urbano para que seus instrumentos sejam adequadamente aplicados. O Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) tem como objetivo mapear informações relativas à ocupação urbana e suas características, para a realização de um diagnóstico abordando questão fundiária, fornecendo informações sobre a propriedade e a posse dos imóveis. Uma de suas principais características é incluir dados cadastrais em um banco de dados único, que pode ser compartilhado entre diversos setores da prefeitura de forma integrada.

Segundo a Kaufmann e Steudler (1998), o Cadastro é um inventário público, metodicamente ordenado, de dados concernentes a propriedades dentro de certo país ou distrito, baseado no levantamento de seus limites.

O Cadastro consiste em um sistema de informações concernentes à ocupação territorial, com as geometrias e informações relacionadas aos limites das parcelas.

Tradicionalmente, o Cadastro tem por finalidade fornecer informações para possibilitar a tributação sobre o uso do solo (cadastro fiscal) e a garantia da propriedade (cadastro jurídico). No entanto, quando as medições cadastrais são georreferenciadas a um sistema geodésico e que tenham uma qualidade métrica estatisticamente comprovada, o Cadastro pode ser multifinalitário. Nessas condições, o Cadastro torna-se um importante instrumento de apoio às ações municipais, por possibilitar a integração de informações territoriais, sociais, econômicas, jurídicas, ambientais (BRANDÃO et. al, 2008, p. 2).

FIG - International Federation of Surveyors (2005, p.27) explica:

O cadastro pode ser estabelecido para fins fiscais (por exemplo, de avaliação e tributação equitativa), propósitos legais (transferência), para auxiliar na gestão da terra e uso da terra (por exemplo, para o planejamento e outros

propósitos administrativos), e permite o desenvolvimento sustentável e a proteção ambiental (FIG, 2005, p. 27).

Moura e Freire (2013) reforçam a importância do CTM afirmando que a sua estruturação resulta em expressiva e ordenada coleção de dados que favorece o processo de representação das características do território municipal.

O CTM permite que sejam elaborados retratos representativos do território que aumentam a condição de participação da população nas tomadas de decisão, pois passam a entender suas realidades através de suas potencialidades e restrições. Assim os técnicos poderão elaborar propostas urbanas com maior poder de comunicação com os usuários, desde a etapa de caracterização até as etapas de diagnóstico, prognóstico e proposição. Por sua vez, os usuários terão condições de atuar, através de seus votos e manifestações, como reais agentes de transformação de suas paisagens. O CTM, então, favorece os instrumentos do Estatuto da Cidade de referendo popular e plebiscito (MOURA; FREIRE, 2013, p. 320).

Em 2009, o Ministério das Cidades publicou a Portaria n.511, que estabelece diretrizes para a implementação de cadastros territoriais multifinalitários visando garantir a ênfase na questão fundiária e de reconhecimento da função social da propriedade, o primeiro passo é a elaboração de um retrato detalhado do território. Segundo o 2º artigo desta Portaria ministerial nº 511 (BRASIL, 2009) a parcela cadastral é a menor unidade do cadastro, definida como uma parte contígua da superfície terrestre com regime jurídico único (Figura 22). Seus incisos definem:

§ 1º É considerada parcela cadastral toda e qualquer porção da superfície no município a ser cadastrada;

§ 2º As demais unidades, como, lotes, glebas, vias públicas, praças, lagos, rios e outras, são modeladas por uma ou mais parcelas de que trata o caput deste artigo, identificadas por seus respectivos códigos;

§ 3º Deverá ser atribuído a toda parcela um código único (unívoco) e estável.

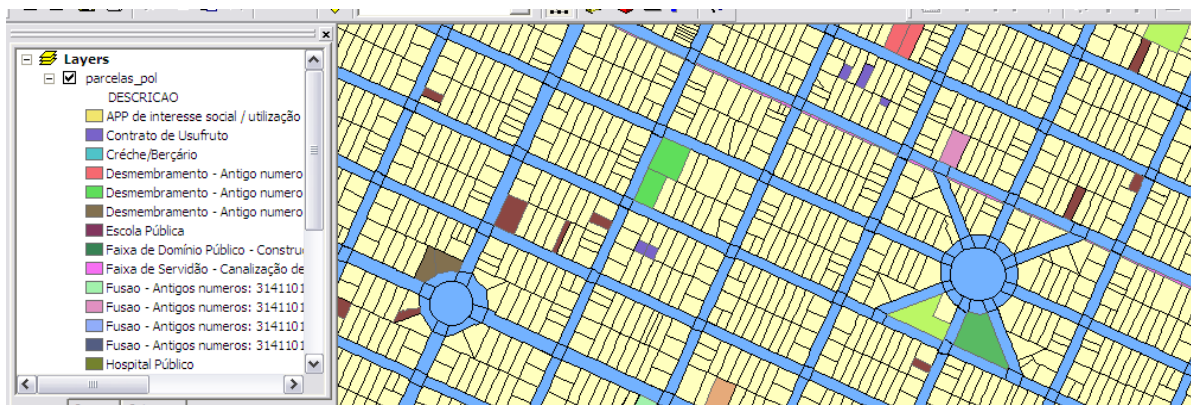


FIGURA 21 – Contiguidade das parcelas
 Fonte: MOURA; SANTANA, 2014.

FIG - International Federation of Surveyors (2005) afirma que a adoção do mapeamento através das parcelas auxilia na minimização dos conflitos relacionados ao direito de posse (uso) e propriedade (legal) sobre o imóvel. Trata-se de um sistema atualizado de informação territorial contendo um registro de interesses reais sobre imóveis (por exemplo, leis, restrições e responsabilidades). Normalmente, inclui uma descrição geométrica das parcelas de terra ligadas a outros registros descrevendo a natureza dos interesses, a propriedade ou controle desses interesses, e, muitas vezes, o valor da parcela e suas melhorias. É necessário que as parcelas possuam algumas informações mínimas: Tipo de propriedade, Descrição, Proprietário, Pose, Endereço e Código, como mostram a figura 23.

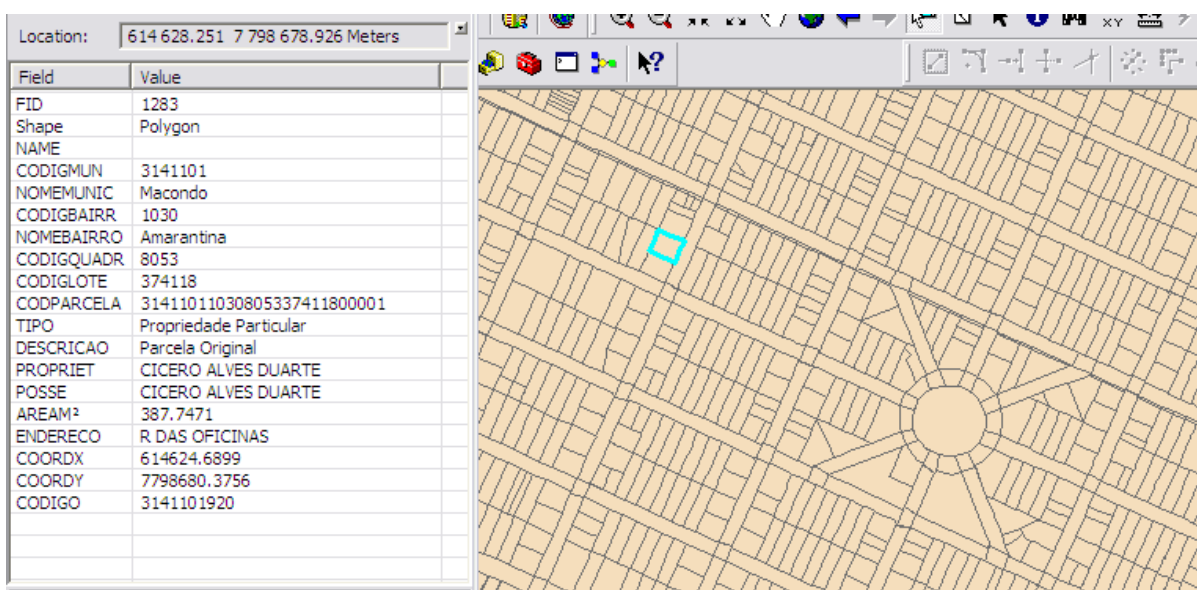


FIGURA 22 - Tabela associada à parcela

Fonte: MOURA; SANTANA, 2014.

É definido, então, uma nova unidade territorial. Essa nova referência mínima de mapeamento trabalha com áreas adjacentes e contínuas.

A parcela, esta unidade mínima, deve compor um mosaico perfeitamente justaposto, como se fosse um “lençol” desdobrado sobre o território, no qual não existe ausência de registros de qualquer vazio na superfície do município (MOURA; FREIRE, 2013, p. 320).

Uma porção de terra com limites definidos, no qual o direito de propriedade de uma pessoa ou grupo de pessoas ou uma entidade legal se aplica (BRASIL, 2009).

Vale registrar que cada parcela responde à legislação correspondente ao seu registro (Figura 24). Porém, é necessário o estabelecimento de padrões para sua caracterização, principalmente considerando o compartilhamento de informações fiscais ou jurídicas (WILLIAMSON et al., 2005).



FIGURA 23 - A parcela cadastral
Fonte: DALE; MCLAUGHLIN, 1990.

A escolha da parcela como unidade territorial considera a “*caracterização geométrica da unidade, seu uso, identificador único, localização e proprietário, detentor do domínio útil ou possuidor*”. (BRASIL, 2009). A disponibilidade de dados desagregados ao nível da parcela, oferecida pelo CTM, representa uma importante contribuição ao planejamento urbano. Os dados em micro-escala possibilitam modelar os processos urbanos com maior resolução, aumentando a capacidade de identificação e análise dos padrões atuais de uso do solo, mudanças econômicas, demográficas, etc.

Cabe, ainda, destacar o papel inovador do conceito de “parcela” como o novo elemento referencial de espacialização das ocupações territoriais. Os gestores municipais, a princípio, quando colocados diante do novo conceito, se assustam frente à complexidade para a sua aplicação. Mapear um território como um mosaico onde não há falhas entre seus elementos não é tarefa simples, e irá exigir mudança de paradigma. Não obstante, este novo paradigma é a tradução da topologia perfeitamente no território, pois é como se realizássemos uma representação matricial do território no qual todas as células recebem, necessariamente, um atributo. Assim é a realidade territorial, e este novo paradigma é uma forma de representar a realidade como ela é (MOURA; FREIRE, 2013, p. 324).

Esse novo desafio de mapeamento no CTM está alinhado com a constante necessidade de aproximação com a realidade permitindo que a visualização cidades projetadas em ambiente virtual sejam próximas da realidade observada. O rápido crescimento urbano somado a complexidade da distribuição de transporte, infraestrutura e serviços urbanos causam o aparecimento de legislações exigentes nos âmbitos de restrições e meio ambiente, necessitando de um suporte maior no processo de caracterização e diagnóstico maior do que os dados cadastrais baseados em plantas 2D podem oferecer.

Os cadastros usualmente representam as unidades territoriais mediante informações espaciais em 2D. No entanto, a ocupação cada vez mais complexa do território implica em direitos distintos sobre uma mesma projeção ortogonal. Assim, a implementação de cadastros contendo informações 3D tem sido tema de pesquisas e desenvolvimento. (CARNEIRO et. al., 2012, p.258)

Com o surgimento do modelo Cadastro 3D, os conceitos e a visão das parcelas cadastrais, dos objetos territoriais e do direito de propriedade começam a se modificar. (LOCH & ERBA, 2007, p.57)

Os limites dos imóveis, dentro dos cadastros e do mapeamento urbano de uma forma geral, têm sido historicamente representados através de linhas horizontais que não representam sua a compreensão do espaço construído tridimensional. As feições representadas a partir de linhas são resultado a interseção de camadas tridimensionais com o plano bidimensional de representação a exemplo da superfície do solo, pavimento de um edifício, etc.

O direito de propriedade é um dado que possui significação tridimensional no seu princípio, mas, assim como os demais dados geográficos, sua representação utiliza componentes bidimensionais seja devido a questões de dificuldades e restrições tecnológicas ou à sua atribuição de baixa relevância no passado. Hoje, a carência por

espaços e a complexidade que envolve o seu ordenamento, indicam a aponta a indispensabilidade de analisar os dados de sua volumetria.

Entre as limitações à propriedade a que se refere a legislação brasileira encontra-se a definição, pelo município, do potencial de utilização do espaço aéreo, através do estabelecimento de índices de aproveitamento do solo. Assim, observa-se uma distinção clara entre o Direito de Propriedade e o Direito de Construir. Esta discussão tem sido tema de debate entre acadêmicos e representantes dos setores que desenvolvem políticas do solo nas cidades latino-americanas e constituem em exemplo claro da importância de se começar a ver a cidade como um conjunto de objetos 3D sobre os quais incidem direitos públicos e privados que se interceptam entre si. (ERBA *et al.*, 2013, 889).

A adoção do conceito da parcela permitiu que os modelos paramétricos da ocupação territorial se tornem retratos interpretativos com propriedades e características próprias dos elementos reais. Pode-se dizer que a convergência do SIG e do BIM é resultante da presença dessa nova referência territorial que permite os SIGs uma nova representação do território seguindo as diretrizes de comunicação, visualização e qualidade topológica dos dados. Esse trabalho busca contribuir com a construção do cadastro territorial multifinalitário tridimensional considerado por ERBA, *opt.cit*, um modelo ideal porém ainda não é viável para a maioria dos municípios do Brasil por necessitar alterações na arcabouço legal do país e na forma de mapeamento atual das cidades brasileiras.

4 METODOLOGIA

O roteiro metodológico dessa tese inicia-se com a investigação de novos valores e conceitos no geoprocessamento, leitura e reflexão sobre o estado da arte das normativas de regulamentação das transformações da paisagem urbana e na escolha das ferramentas mais adaptadas às necessidades de planejamento e gestão da paisagem, tendo em vista os interesses específicos de estudo de auxiliar na visualização dos dados urbanísticos e permitir a interpretação mais relativa e contextualizada da paisagem da cidade. O fluxograma a seguir indica os passos seguidos por essa pesquisa (Figura 25)

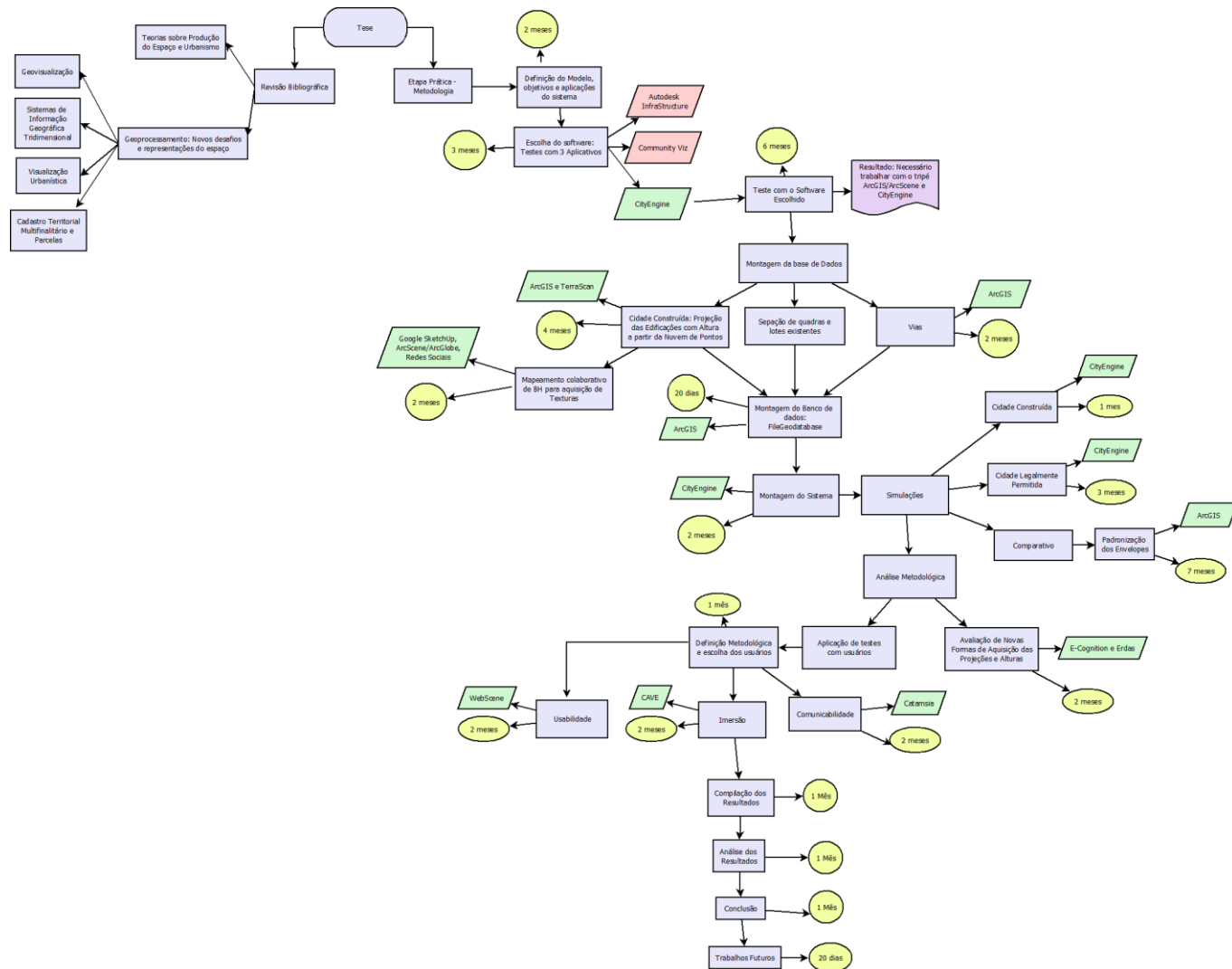


FIGURA 24 – Fluxograma das etapas da tese

4.1 Primeira etapa: Definição do *software*

A era dos *games* tem influenciado de modo significativo em rápido e impressionante desenvolvimento e difusão de tecnologias de comunicação. Advindo dos *games*, os sistemas de construção virtual de cidades começam a ser de interesse para integrarem as ferramentas de geoprocessamento. O interesse em utilizar os sistemas de modelagem de cidades para *games* aplicados como ferramentas de gestão do território real é latente. Em um primeiro momento é tarefa árdua, pois os sistemas ainda se mostram fechados à entrada e gestão de parâmetros urbanísticos.

Nesse sentido, o CityEngine (figura 26), *software* escolhido para ser o visualizador dos dados, é aplicativo de modelagem 3D especializado na geração de modelos do ambiente territorial, ambiental e urbano, mas sobretudo urbano com ênfase em modelagem de edificações. CityEngine foi desenvolvido na ETH Zurich, pelo autor Pascal Mueller, cofundador e *CEO da Inc Processual*. Durante sua pesquisa de doutorado na ETH Computer Vision Lab, Mueller inventou uma grande quantidade de técnicas inovadoras de modelagem processual de conteúdo 3D para a arquitetura, que foram compilados e hoje resultam no *software* CityEngine.

O CityEngine foi adquirido pela ESRI, empresa do principal *software* SIG comercial do mercado mundial (ArcGis). Em função desta mudança, o *software* passou a incorporar a lógica de espacialização georreferenciada dos dados, além das possibilidades de definição de padrões normativos do parcelamento do solo espaço urbano, se tornando interessante para um trabalho na direção dos MPOT.

Tendo em vista ser um *software* estrangeiro, que incorporou o pensamento da geoinformação recentemente em seu sistema, e por não ser ainda utilizado especialmente no Brasil, várias das técnicas de simulação de padrões urbanísticos que ele apresenta como “regras prontas” para serem aplicadas na modelagem da paisagem urbana, não são compatíveis com as definições de parâmetros urbanísticos existentes no país. Para fazer esses ajustes que modelem a realidade brasileira, é necessário fazer a programação das regras que simulem as definições dos parâmetros urbanísticos mais usuais no Brasil.

The CityEngine comes with inspiring examples that demonstrate different use cases. Included are ancient, contemporary and future cities at different levels of detail.



FIGURA 25 – Exemplos de modelagem territorial do cityengine

Dentre as potencialidades do sistema, pode ser citada a possibilidade de:

- Introdução dos modelos digitais de elevação para que a cidade adquira as representações de relevo e a inserção de mapas de obstáculos para informar onde deseja a criação de ruas e lotes no parcelamento urbano (figura 27),
- Informar tamanhos de lotes, quadras e largura de ruas (Figura 28),
- Definir padrão da morfologia viária urbana (Figura 29)
- Construção de ruas e lotes conforme parametrização do usuário (Figura 30)
- Construção de edificações tridimensionais com texturas (Figura 31)

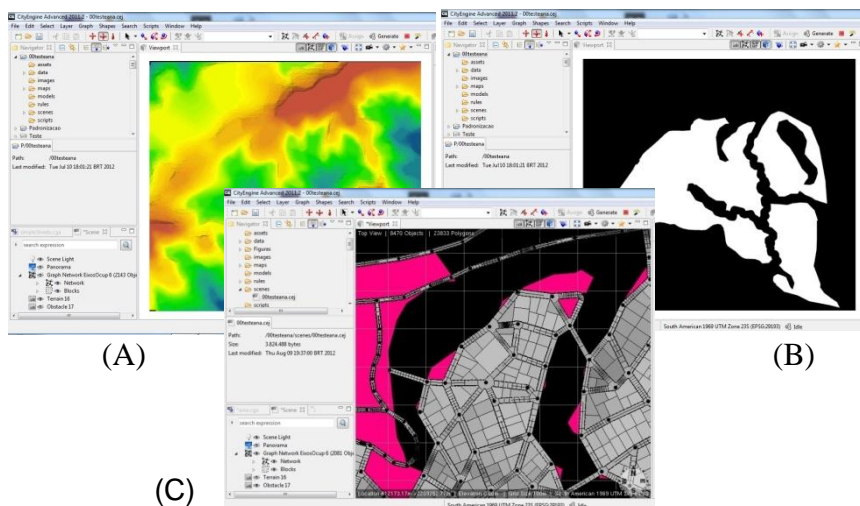


FIGURA 26 – Modelo Digital de Elevação, mapa de obstáculos e lotes criados

Na figura 27A é apresentado a entrada de um modelo digital de elevação previamente elaborado no ArcGIS para aplicação das regras do próprio sistema. A inserção do modelo digital de elevação permite que sejam criados alguns mapas, como, por exemplo, o de declividades e o mapa de obstáculos. O mapa de obstáculos, apresentado pela figura 27B representa as áreas

passíveis de ocupação e as áreas restritas à ocupação. Trata-se de um mapa binário onde as manchas em preto informa as áreas onde não se deve ter nenhum tipo de intervenção antrópica, como por exemplo, as áreas de preservação permanente. Esse mapa pode ser elaborado dentro do próprio CityEngine ou pode ser elaborado em outro software e importado para o sistema. A figura 27C mostra como as ruas, quadras e lotes podem ser criados respeitando os limites definidos pelo mapa de obstáculos.

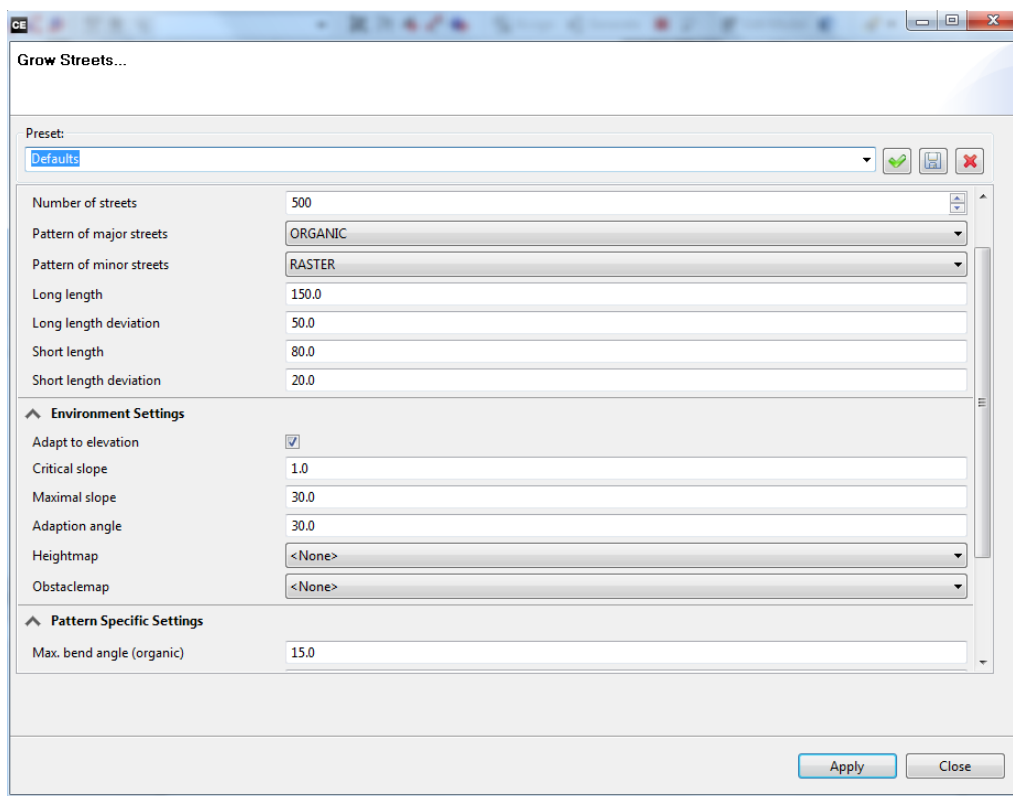


FIGURA 27 - Parametrização de lotes, vias e quadras - CityEngine

Essa figura 28 representa a opção de criação de uma cidade de acordo com a aplicação de um algoritmo (que chamaremos também de regras) da biblioteca nativa do sistema. Nessas regras *default* do sistema, o usuário está apto a definir alguns parâmetros como: tamanho da cidade, quantidade máxima de trechos de rua, largura máxima da via, tamanho mínimo e máximo dos lotes, morfologia das ruas, declividade máxima das ruas, ângulos máximos de conexão entre vias dentre outros.

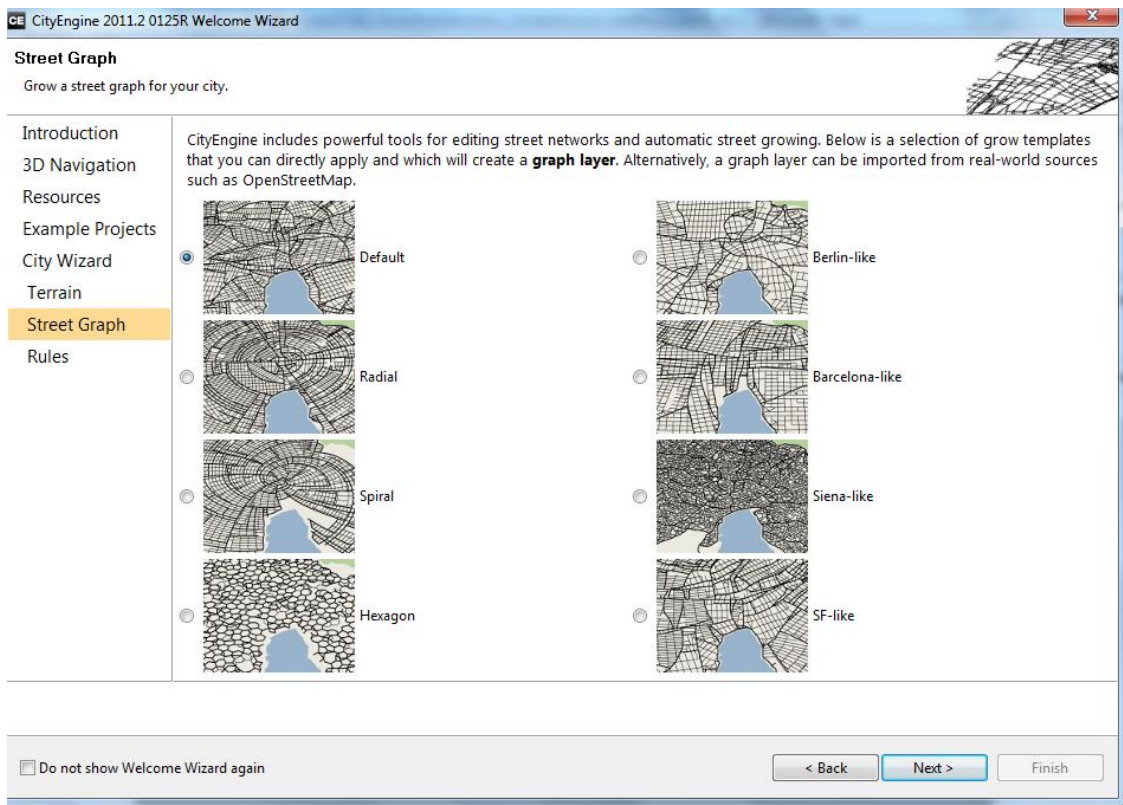


FIGURA 28 – Morfologia Viária Urbana – CityEngine. Essa ilustração apresenta as diversas opções de morfologia de vias ofertadas como template do software CityEngine.

Essa figura 29 ilustra a interface de seleção da morfologia das vias. Apesar de estar utilizado as regras do sistema, a interface de escolha dos parâmetros é bem simples e de fácil manipulação. Nessa opção, o usuário já fez a configuração das informações de tamanho da cidade, quantidade de trechos de vias, ângulo máximo de conexão das vias e outros. Cabe ao usuário fazer a definição de como essas ruas irão se conformar no espaço.

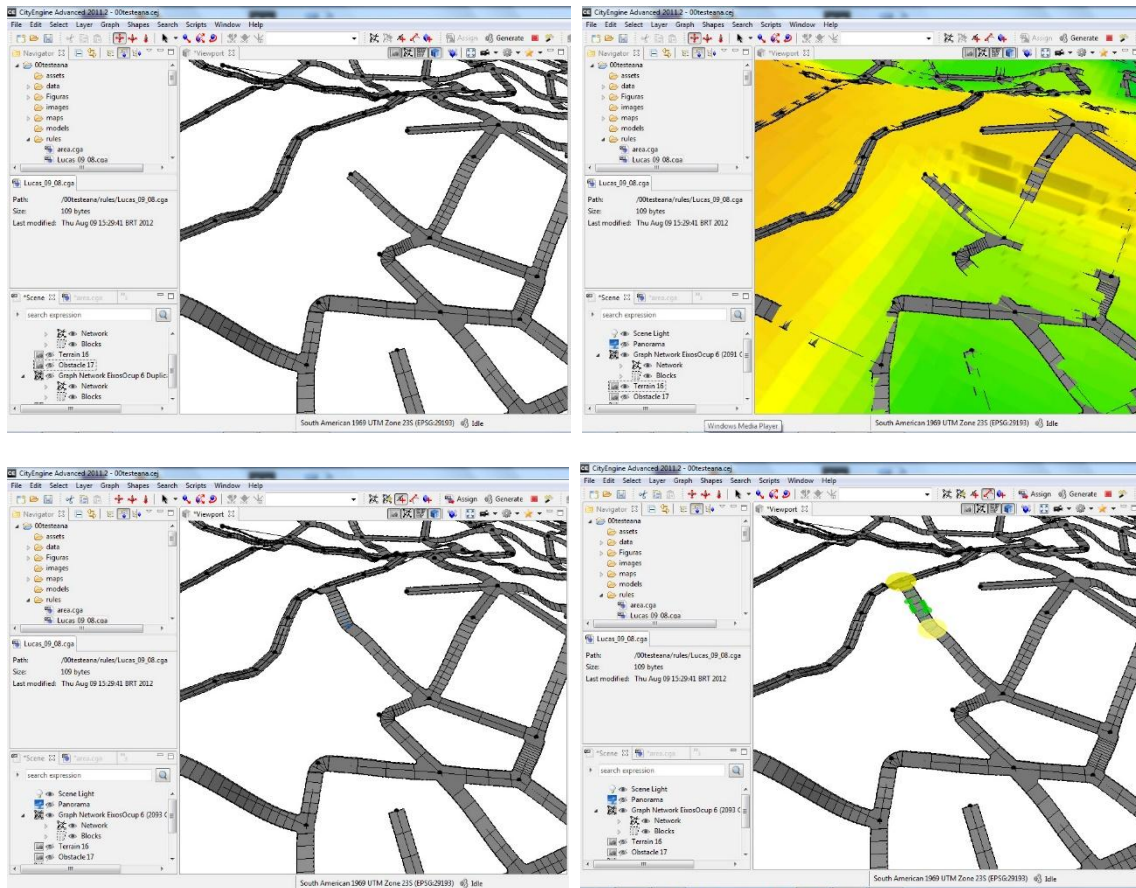


FIGURA 29 – Construção de ruas pelo usuário

Na figura 30 a cidade foi construída no sistema a partir das definições já configuradas pelo usuário. Esse exemplo mostra que os acessos foram construídos respeitando alguns parâmetros configurados na no momento a aplicação da regra, como é o caso do da declividade máxima de uma via. Observa-se que em alguns casos as ruas param sem que haja uma conectividade com outro trecho. Isso se deve pelo fato do *software* ter analisado e respeitado os limites regulatórios informados no início. Na última ilustração é apresentado que o usuário pode fazer as alterações nos parâmetros através de ajustes na regra ou mesmo através da vetorização das feições desejadas.

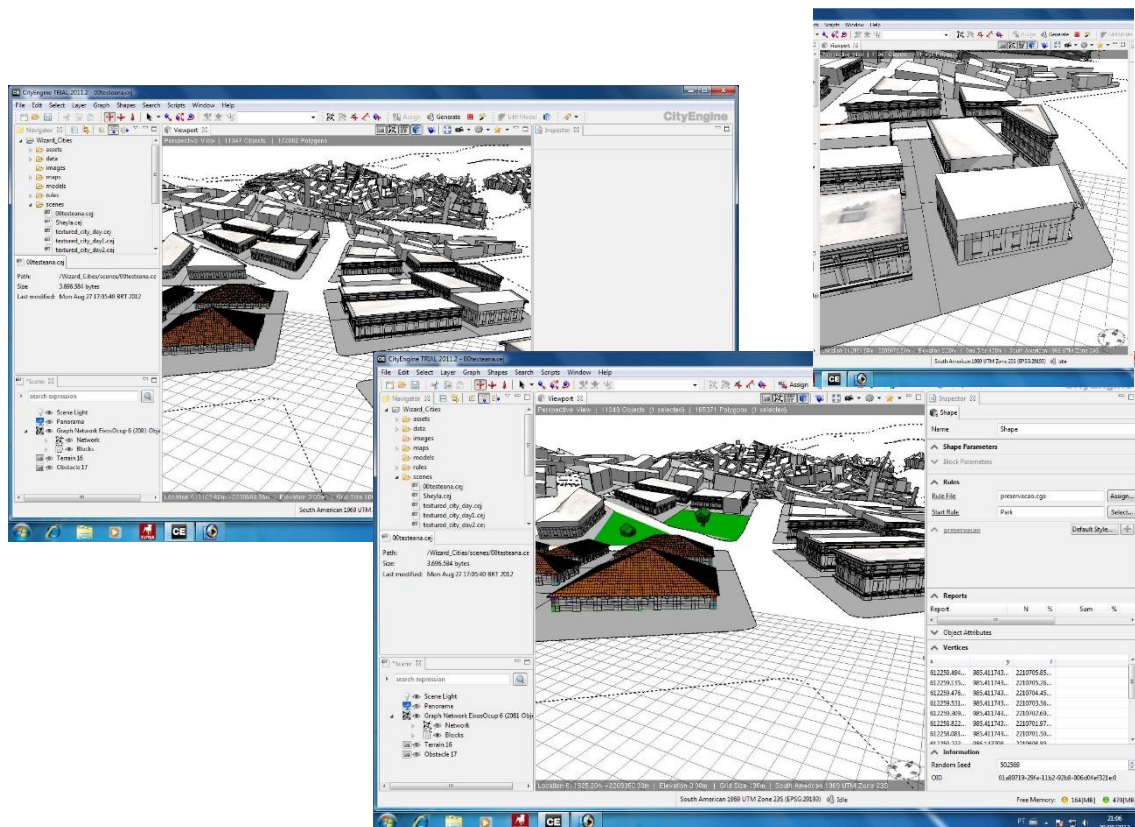


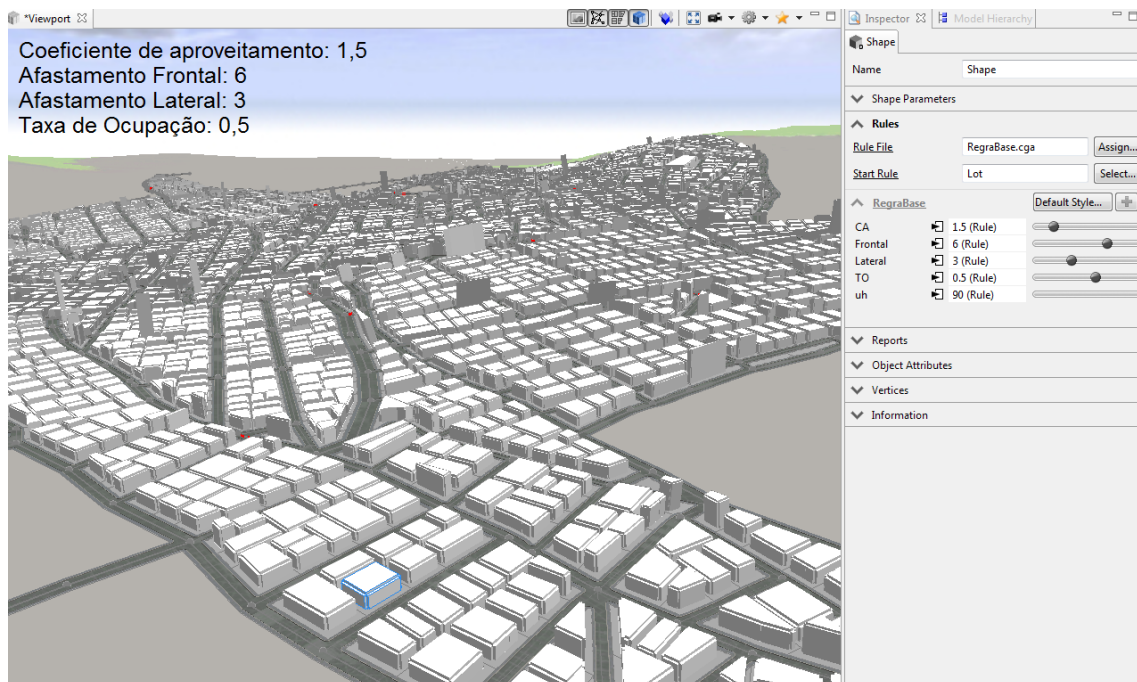
FIGURA 30 – Modelo com Edificações

A figura 31 mostra a criação de edificações de acordo com os parâmetros de tamanho do lote, afastamentos e zoneamento.

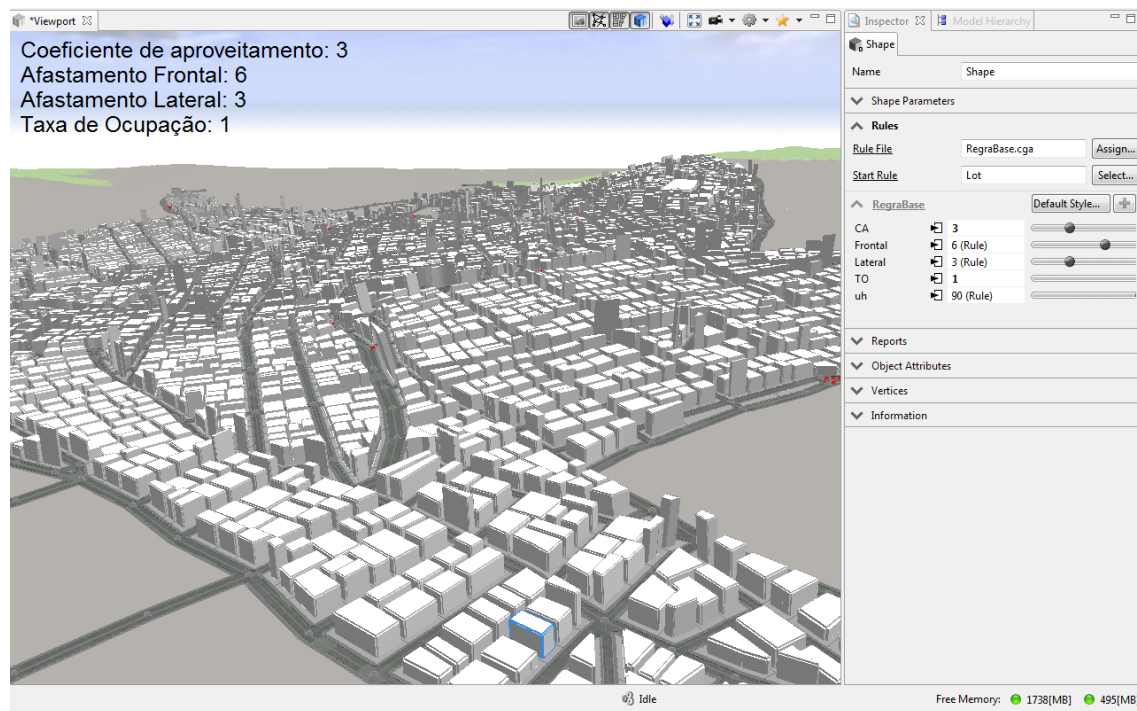
Cabe registrar que até esse momento, foi gerado modelos de cidade, vias, quadras e lotes utilizando as opções padrão do sistema para o teste do aplicativo em termos de modelagem tridimensional.

Após a avaliação das configurações *default* do sistema e verificar os potenciais em termos de abertura para programação de regras e modelagem tridimensional, iniciou-se uma etapa de avaliação com os técnicos. Foram realizados para verificação se o sistema realmente contempla a premissa básica de interação, para que o usuário final se torne um agente participativo das decisões sobre os limites aceitáveis que modelam a paisagem coletiva. Esse processo interativo inicialmente foi realizado com técnicos, com vistas a compreender se os planejadores urbanos teriam facilidade em entender as simulações relativas a resultados de aplicação de parâmetros urbanísticos. Esse teste foi realizado com o emprego do próprio *software* CityEngine, onde os voluntários puderam

utilizar barras de aumento e diminuição dos parâmetros de Taxa de Ocupação, de Coeficiente de Aproveitamento e Afastamento em relação às divisas. (Figura 32)



(a)



(b)

FIGURA 31 – Respostas paisagísticas para as mudanças de parâmetros

As figuras 32A e 32B foram geradas a partir da aplicação de uma regra base de criação de envelopes utilizando os parâmetros de coeficiente de aproveitamento, afastamentos frontal, afastamento laterais e taxa de ocupação. As imagens apresentam as mudanças paisagísticas diante da mudança nos valores dos parâmetros. Os usuários puderam

alterar esses quatro parâmetros através da digitação de um novo número e através de barras para verificar o resultado paisagístico das mudanças. Os usuários puderam aplicar a regra e as transformações em uma cidade previamente elaborada pelo próprio sistema uma vez que a intenção era apenas avaliar a facilidade de modificação dos parâmetros para verificar a interação homem-máquina e a pertinência da escolha do aplicativo.

4.2 Segunda Etapa: Teste do *software* escolhido

Após a lógica da construção do pensamento que orienta a investigação proposta nessa tese, iniciou-se a parte prática para apoiar e ilustrar os novos paradigmas aqui apresentados e introduzidos.

A etapa prática partiu dos estudos das possibilidades de integração do BIM com o SIG para a construção do modelo paramétrico da ocupação territorial, pois havia o interesse em chegar à escala da edificação com a aplicação de texturas das edificações. Sabe-se que trabalhar com BIM é muito mais do que apenas aplicar textura, pois significa gerenciar todas as etapas dos projetos da edificação, inclusive projetos complementares e executivos. Sabe-se que a pesquisa não chegaria a esse propósito, mas poderia ser uma primeira tentativa de levar da escala de análise territorial elaborada no SIG para a escala de modelagem volumétrica da arquitetura para estudos de parâmetros urbanísticos. Nesse sentido, inicialmente foi definido que seria utilizado o CityEngine como sistema de modelagem da paisagem urbana, por ser um aplicativo que possui possibilidades de parametrização e interação com o usuário final.

O primeiro passo foi avaliar se o aplicativo realmente estava aberto à inclusão de novos parâmetros que definem as normativas urbanas brasileiras. Para a construção das regras, foi necessário tabular as informações dos parâmetros urbanísticos de Belo Horizonte para verificar quais seriam as permissões e restrições de cada tipo de zoneamento.

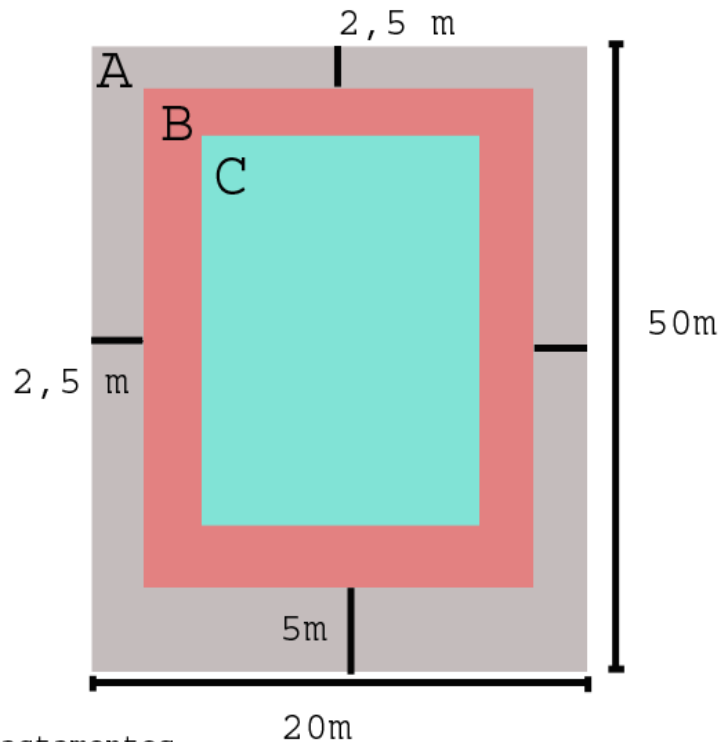
A partir do Plano Diretor de Belo Horizonte (figura 33) foram extraídas as informações de coeficiente de aproveitamento, cota de terreno, taxa de ocupação, altura máxima na divisa, afastamentos e outros:

ZONA	COEFICIENTE DE APROVEITAMENTO	COTA DE TERRENO POR UNIDADE HABITACIONAL	TAXA DE OCUPAÇÃO	TAXA DE PERMEABILIZAÇÃO	ALTURA MÁXIMA NA DIVISA
ZPAM	0,05	–	0,02	95%	–
ZP-1	0,3	2.500 m ² /un	0,2	70%	5,0 m
ZP-2	1,0	1.000 m ² /un	0,5	30%	5,0 m (exceto nas ADEs da Cidade Jardim e da Pampulha)
ZP-3	1,5	90 m ² /un	0,5	30%	5,0 m
ZAR-1	1,0	180 m ² /un	–	20%	5,0 m
ZAR-2	1,0	45 m ² /un	–	20%	5,0 m
ZA	1,5	40 m ² /un	–	20%	5,0 m
ZAP	1,7	25 m ² /un	–	20%	5,0m
ZHIP	3,0	10 m ² /un	–	20%	10,8 m (para a divisa de fundo)
ZCBH	3,0	20 m ² /un	–	20%	10,8 m (exceto na ADE Residencial Central)
ZCBA	2,0	25 m ² /un	–	20%	9,0 m
ZCVN	2,0	25 m ² /un	–	20%	9,0 m
ZEIS	parâmetros definidos em legislação específica				
ZE	parâmetros definidos em legislação específica				

FIGURA 32 – Quadro de parâmetros urbanísticos

Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte

Verificados os parâmetros que regem cada zoneamento, foi necessário desenvolver uma lógica para dar base ao algoritmo de parametrização a ser inserido no sistema. Foi definido que nesse primeiro momento de testes na criação de regras os parâmetros utilizados seriam Coeficiente de Aproveitamento, Taxa de Ocupação, Altura Máxima da Divisa e Afastamentos. Esses parâmetros foram os selecionados por se mostrarem de maior complexidade na entrada do algoritmo (Figura 34). Essa regra inicial foi elaborada através de estudos desenvolvidos no Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura com a colaboração de Lucas Saliba (aluno de graduação da EAUFMG).



- 1-Afastamentos
- 2-Calcular a área em B
- 3-Se
 - $B > (\text{Taxa de Ocupação}) * \text{Área de A}$
 - faça:
 - De um fator de escala onde:
 - Escala: $\text{Area de A} * \text{Taxa de Ocupação} / \text{Area B}$
 - Logo: $B * \text{Escala} = C$
- 4- $\text{Área A} * \text{Coeficiente de Aproveitamento} / C =$
Altura

FIGURA 33 – Algoritmo base das regras de zoneamento

Para se entender o que faz esta primeira regra gerada, compreendida como regra de base, cita-se um exemplo: considerando a área de um lote de 1000m^2 sendo as extensões de 20 m de frente e 50 de profundidade. Respeitados os afastamentos frontal (5m), lateral (2,5m) e de fundos (2,5m) a área que pode receber ocupação retirada apenas os afastamentos é de $637,5\text{m}^2$. Contudo, esta área é reduzida pela definição da taxa de ocupação, pois supondo que nesse lote ela é de 0,5, ela limita a ocupação em 500m^2 . Como $637,5\text{m}^2 > (0,5 * 1000\text{m}^2)$, então deve-se aplicar um fator de escala no desenho do polígono possível para o recebimento da edificação. Este fator de escala é: $1000\text{m}^2 * 0,5 / 637,5\text{m}^2 = 0,78$. Logo, será necessário fazer uma redução na área passível de construção de $637,5\text{m}^2 * 0,78 = 497,25\text{m}^2$. Além disto, tendo como coeficiente de aproveitamento 0.5, a altura da edificação será $1000\text{m}^2 * 0,5 / 497,25 = 1$ pavimento. Caso o coeficiente de

aproveitamento seja 1 (100%), o número de pavimentos é assim calculado em função da área de projeção da edificação: $1000\text{m}^2 * 1/497,25 = 2$ pavimentos.

Essa regra foi aplicada a todos os zoneamentos, conservando a álgebra e substituindo, para cada zoneamento, as variáveis de Coeficiente de Aproveitamento, Taxa de Ocupação, Afastamentos e Altura Máxima na Divisa, que entram como atributos do sistema. Vale registrar que nos zoneamentos que não possuem informação de taxa de ocupação, o valor utilizado é correspondente ao valor inverso à taxa de permeabilização, ou seja, se a taxa de permeabilização é 20% e a taxa de ocupação é 0 na tabela, utilizamos o valor de 80% para essa última variável. Contudo, isto pode ser revisto para os casos especiais em que a Prefeitura aceita medidas compensatórias para a permeabilidade, como a inserção de caixas de captura de água pluvial, entre outras. Como as variáveis contidas da regra entram como atributos, os ajustes, ainda que em lotes específicos, são totalmente possíveis.

Para os zoneamentos para os quais existe a altura máxima na divisa superior a cinco, foi necessário fazer outro algoritmo. Para este, o processo foi:

1. Calcular a área do lote e multiplicar pelo coeficiente de aproveitamento
 $CA * \text{AreaLote} = \text{Total construtivo somada as áreas de todos os andares (ATC)}$
2. 1º andar: Afastar 5,9m frontal e subir 3m (valor da altura de cada pavimento) Calcular a área.(A1)
2 e 3º andar: Subir 3 metros para cada. Calcule a área dos dois (A2)
Calcule a área dos três pavimentos: $A1 + A2 + A2 = A3$
3. A área do total possível de construir somado todos os andares menos a área dos três primeiros pavimentos vai dar o valor da área de construção possível = ATCp
É necessário fazer um novo cálculo de área considerando os afastamentos que serão necessários a partir do terceiro pavimento (1,5 lateral e 5 fundo) = A4
Logo $ATCp / A4 = \text{número de pavimentos que podemos subir}$.

A conformação dessa edificação, na vista lateral, corresponde à ilustrada na figura 35.

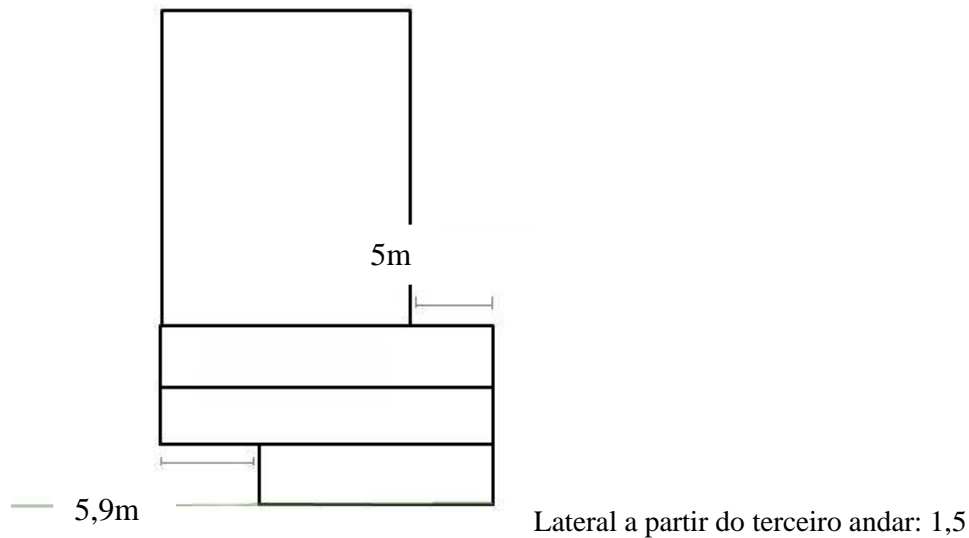


FIGURA 34 – Ilustração das edificações dos prédios nos zoneamentos cujo parâmetro altura máxima da divisa é superior a 5m

Definiu-se pelo desenvolvimento de uma regra por zoneamento, aplicando-se texturas diferentes para cada uma delas com o objetivo de diferenciá-las visualmente e, posteriormente, aplicar fatores randômicos para que a paisagem do modelo se assemelhasse ao que de fato acontece na realidade, onde não existe homogeneidade.

As texturas são regras já prontas e disponibilizadas pelo *software* que representam elementos de fachada e cobertura, tais como distribuição e tipo de janelas, material de revestimento, material de cobertura, entre outros. Eventualmente seria possível compor regras para novas texturas, mas o interesse da presente tese se limita a usar o aplicativo como apoio para a simulação parametrizada da paisagem, o que justifica não se investir em texturas e se restringir a adotar regras de texturas já prontas e disponíveis.

Os zoneamentos ZHIP e ZCBA; ZCBH e ZCVN foram agrupados uma vez que os valores de taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento e altura máxima nas divisas são exatamente iguais segundo o quadro apresentado na FIGURA 33. Como possuem os mesmos valores, não houve justificativa de geração de regras idênticas para dois zoneamentos diferentes.

Nessa primeira definição de regras e algoritmos, os parâmetros de cota de terreno por unidade e as áreas descontáveis no cálculo de área (caixa de elevador, escadas, varandas, etc.) ainda não foram contemplados. De qualquer forma, segundo as pesquisas

realizadas com dois grandes escritórios de arquitetura de Belo Horizonte, ficou constatado que a média de descontos para as áreas de circulação variam entre 25 e 35m² e as áreas para varanda variam entre 35 e 45m², sendo que as varandas são praticamente ausentes em edifícios comerciais e em edifícios de menor padrão, e nas edificações de empreendimentos praticamente não são realizados descontos.

Esse parâmetro irá afetar a altura máxima das edificações, pois considerando as áreas a serem descontadas, a tendência é o aumento da altura dos edifícios. Contudo, a simulação com maior exatidão não seria possível, posto que, o resultado depende totalmente de decisões de projetos arquitetônicos. Desta forma, a melhor simulação, considerando essas alterações nas alturas finais possíveis, seria realizada em outra escala temporal e espacial: na escala de cada lote, mediante cada projeto apresentado para aprovação na Prefeitura, e na escala temporal não de planejamento da paisagem com um todo, mas sim de gestão de cada lote.

A cota de terreno por unidade é também um parâmetro que incide em redução da altura da edificação, uma vez que é o instrumento que controla o nível de adensamento volumétrico nos lotes, como consequência do número de unidades habitacionais autorizadas por área de lote. Ela funciona especificando quantos metros quadrados de lote são necessários para cada unidade domiciliar.

Tanto a cota de terreno como aplicação dos descontos no cálculo das taxas de ocupação foram estudados para verificação de como considerá-los nos algoritmos já programados, mas não farão parte do escopo da presente tese, pelos motivos já explicados de precisarem ser aplicados caso a caso, lote a lote.

Duas regras base foram então elaboradas na primeira etapa de testes: a regra que não contempla a variável de altura máxima nas divisas e a regra que contempla esse parâmetro. Após da criação desses dois algoritmos que dão base à simulação da cidade de Belo Horizonte, foi necessário trabalhar os dados de quadras, lotes e ruas para a construção de um protótipo e o teste das regras. Nessa primeira fase de testes, foi selecionada uma área com doze quarteirões com diferentes zoneamentos para validação

da consistência das regras. Esses lotes possuem a conformação espacial real e foram selecionados em área central de Belo Horizonte, conforme ilustra a figura 36.

Como o objetivo era apenas avaliar se o CityEngine era o caminho para os estudos da modelagem parametrizada da ocupação territorial, os zoneamentos associados aos lotes foram fictícios, embora fossem tipologias de zoneamento contidos no Plano Diretor de Belo Horizonte. Vale registrar que foram criados alguns lotes para simular um padrão de assentamentos precários entre a Rua Curitiba e Alvarenga Peixoto, o que também não corresponde à realidade, apenas para se testar o aplicativo nessa morfologia de lotes.

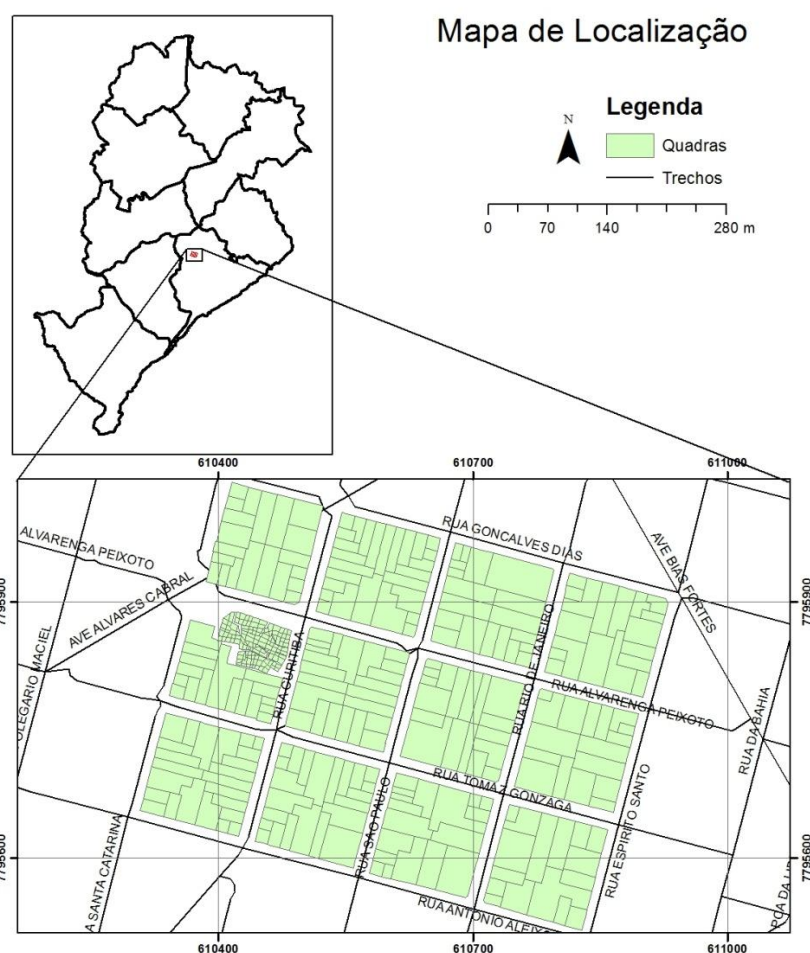


FIGURA 35 – Mapa de localização dos lotes escolhidos para serem validadores das regras criadas

No software ArcGIS, foi desenvolvida a primeira etapa de pré-processamento das informações. Na tabela de atributos desses doze lotes foram inseridas informações sobre

o tipo de zoneamento, assim como qual seria a “regra base” correspondente ao zoneamento indicado, conforme ilustra a FIGURA 37. Esse trabalho desenvolvido no SIG automatizou o reconhecimento das regras que servem de base no CityEngine, pois este último aplicativo lê os atributos registrados no polígono do lote e aplica a regra específica para o zoneamento correspondente.

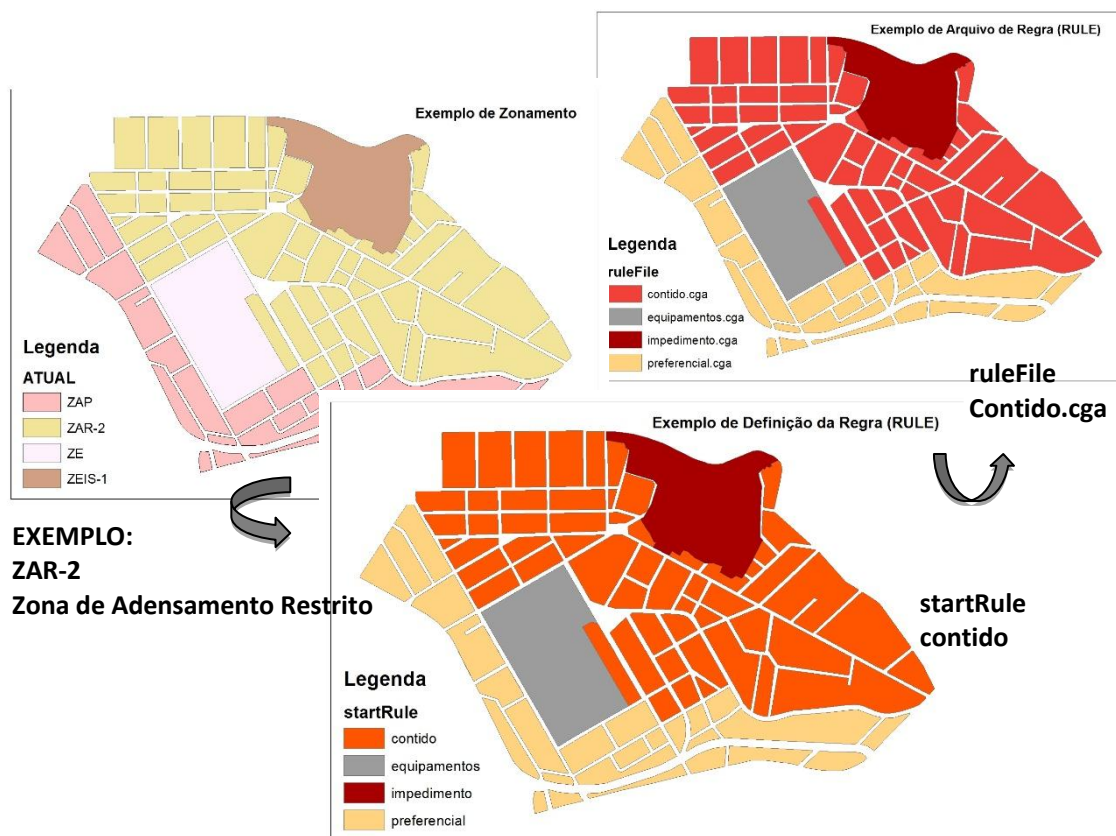


FIGURA 36 – Pré-processamento dos dados no ArcGIS

Destaca-se a aplicação da lógica de discretização do território em parcelas, seguindo a mesma lógica proposta pelas novas diretrizes para a criação do Cadastro Territorial Multifinalitário. Da mesma forma que a lógica de parcelas já foi compreendida como a melhor forma de se registrar e gerenciar o uso, a posse e a propriedade do solo urbano, a lógica das parcelas deve ser compreendida como a melhor forma de representar o território por ferramentas virtuais, uma vez que o solo é visto como composto por unidades contíguas, nas quais serão aplicadas as diferentes regras (“rules”) de simulação de possibilidades de ocupação. Assim, existem parcelas que representam ocupações por vias (e cada segmento é um trecho de via), parcelas que representam lotes (e cada

polígono é um lote e eles podem receber regras de ocupação segundo um zoneamento), há parcelas que representam propriedades públicas (e que podem receber diferentes regras de simulação de ocupação segundo seus usos destinados, tais como parques, praças, entre outros).

Em função da lógica das parcelas e da lógica de aplicação de regras de simulação da paisagem, as quadras, lotes e vias devem formar uma superfície justaposta e contínua para que seja possível trabalhar com as simulações urbanas. Nesse sentido, a feição geográfica que ficou com a representação diferente a usual foi as vias que passaram a ser representadas em forma de polígonos.

O CityEngine, que é um aplicativo que no futuro pode favorecer a convergência entre o BIM e o SIG, trabalha com muito mais facilidade quando o cadastro é estruturado segundo o conceito de parcelas, em se tratando das vias, pois assim temos a continuidade espacial. Para isso, foi elaborado uma ferramenta dentro do ArcGIS para o preenchimento dos vazios entre os lotes e o cálculo da largura das vias (Figura 38).



FIGURA 37 – Parcelas de Ruas

Após a finalização de preparo da base de dados das vias, quadras e lotes no SIG, iniciou-se o trabalho no CityEngine. O primeiro passo foi a elaboração de uma cena para a área de trabalho. O CityEngine trabalha com o contexto de criação de uma cena para o armazenamento das informações territoriais georreferenciadas da cidade, conforme ilustra a Figura 39.

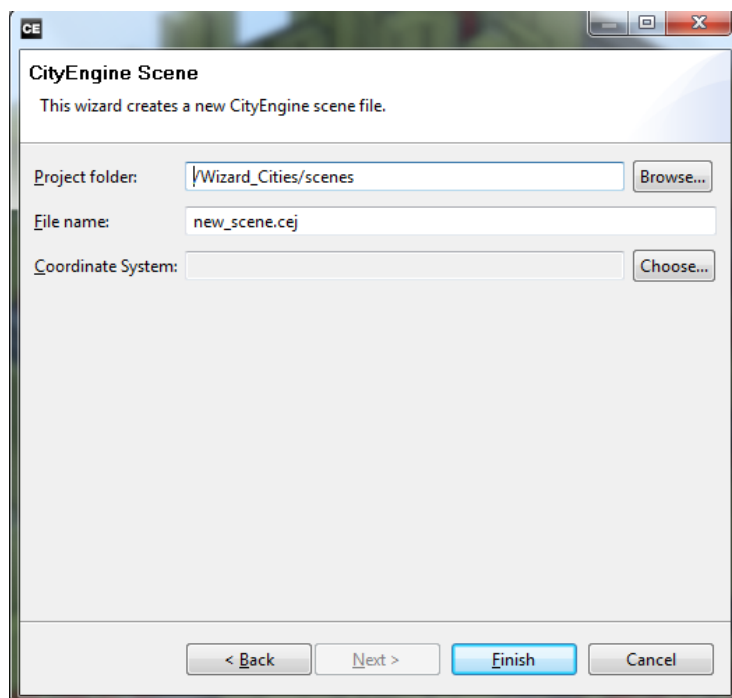


FIGURA 38 – Criação de cena no CityEngine

Posteriormente foi feito a importação das quadras selecionadas para serem testados os parâmetros e as parametrizações dos lotes, conforme figura 40.

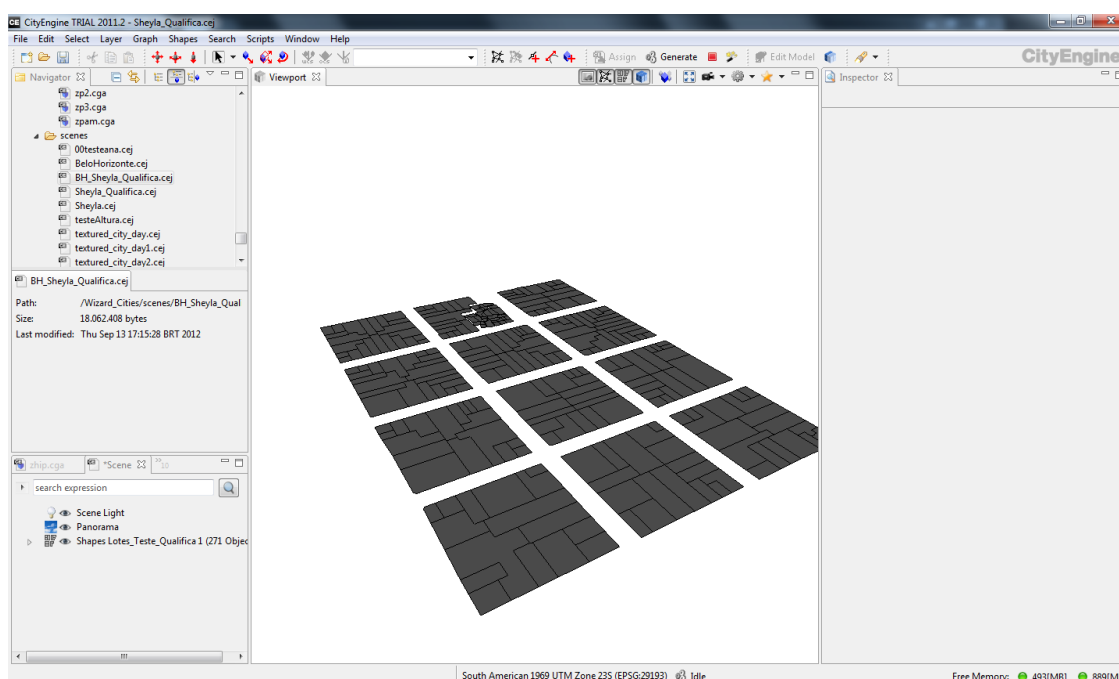


FIGURA 39 – Quadras e lotes importados para dentro do CityEngine

Todos os parâmetros dos zoneamentos de Belo Horizonte têm como ponto de partida os afastamentos laterais, frontais e de fundo. Para se especificar quais os lados do lote que têm visada para a rua, ou seja, quais são as testadas dos lotes, foi necessário fazer essa identificação no próprio software. Infelizmente, esse processo ainda é manual, uma vez que os *scripts* para definição automática ainda não funcionam adequadamente (Figura 41). Quando foi utilizado o procedimento automático, o software eliminou alguns lotes importantes para a análise. Diante disso, o procedimento foi realizado individualmente para cada quadra nessa etapa da tese.

O motivo deste cuidado em se especificar a frente principal do lote acontece porque o *software* reconhece inicialmente apenas uma testada por lote, identificada como os dois primeiros vértices do polígono que conforma o lote. Este fator restringe a representação de lotes de esquina que possuem duas saídas para a rua e nos quais a aplicação de parâmetros como os afastamentos, por exemplo, devem considerar que se têm duas fachadas. Além disso, o que o aplicativo considera “os dois primeiros vértices” está relacionado aos dois primeiros vértices (e conseqüentemente a polilinha) desenhados (e conseqüentemente armazenados) na elaboração do arquivo vetorial de lote. Como não existe esse cuidado topológico de se definir o desenho inicial segundo regras que depois serão úteis no desenvolvimento de aplicativos SIG e de análise espacial, é necessário fazer o ajuste, e não há ferramentas automatizadas para o processo.

Esse tipo de dificuldade foi comum no início da transição entre CAD e SIG, quando elementos registrados pela lógica de desenho, por exemplo, rios e vias, que depois passaram a ser trabalhados pela lógica de redes (em que interessa particularmente os pontos de início e fim na rede de conexões, pois interessa a estrutura de direção do fluxo), tiveram que ser ajustados por limpeza topológica. No que se refere especificamente à limpeza topológica para definição de “frente” do lote, ainda não foram identificados aplicativos robustos que executem a correção, sobretudo quando se tem a possibilidade de identificação de duas frentes de lote (lote de esquina) e cada frente pode receber um parâmetro de afastamento diferenciado (frente voltada para uma avenida e frente voltada para rua de caráter local). O processo de ajuste desta informação ainda é manual, mas o Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura da UFMG está trabalhando na estruturação da lógica para proposição de soluções futuras.

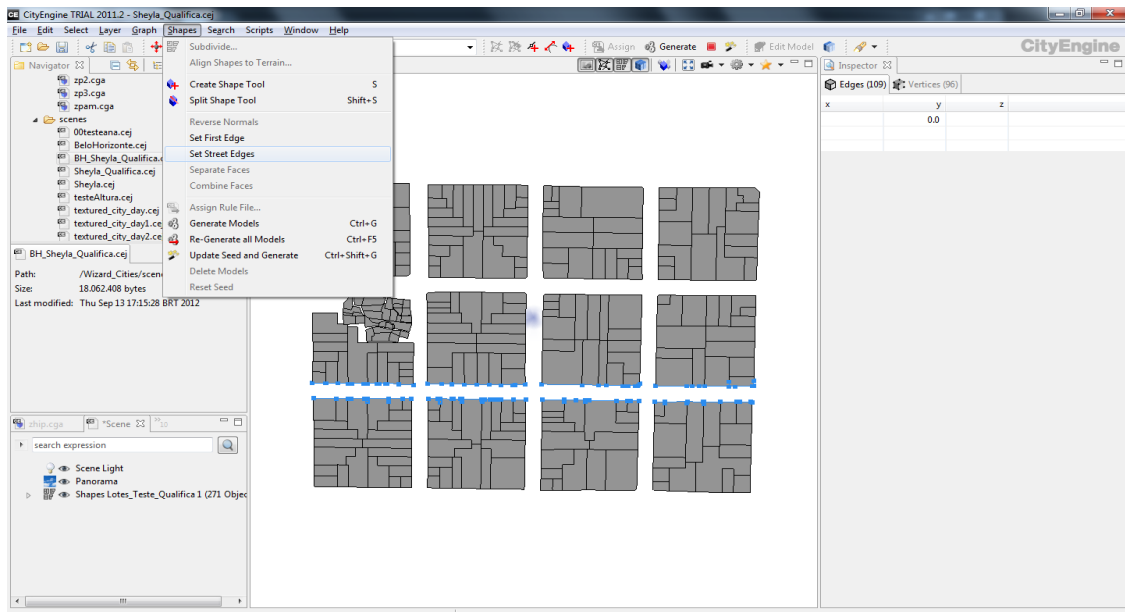


FIGURA 40 – Definição das faces do lote que dão frente para a rua

Organizada a base cartográfica na forma de parcelas para o arquivo de vias e definidas quais regras de simulação de paisagem seriam aplicadas em cada tipologia dos lotes, deu-se início à elaboração das regras (Figura 42). A elaboração de regras e algoritmos de parametrização dos zoneamentos se mostrou uma atividade bem complexa e de grande dificuldade. Como inicialmente não foram encontrados outros pesquisadores ou usuários investigando esses procedimentos no Brasil, o desenvolvimento de regras não conta com a colaboração de uma comunidade virtual.

O desenvolvimento é realizado em Python ou na interface própria do sistema, o CGA, que é uma biblioteca de funções, texturas e algoritmos previamente disponibilizados para que o usuário monte as suas regras (“*shape grammar*” e “*procedural modeling*”) (Figura 43 a 45). Nessa etapa ficou claro que seria mais ágil elaborar uma regra por zoneamento, para ser possível tratar cada caso especificamente.

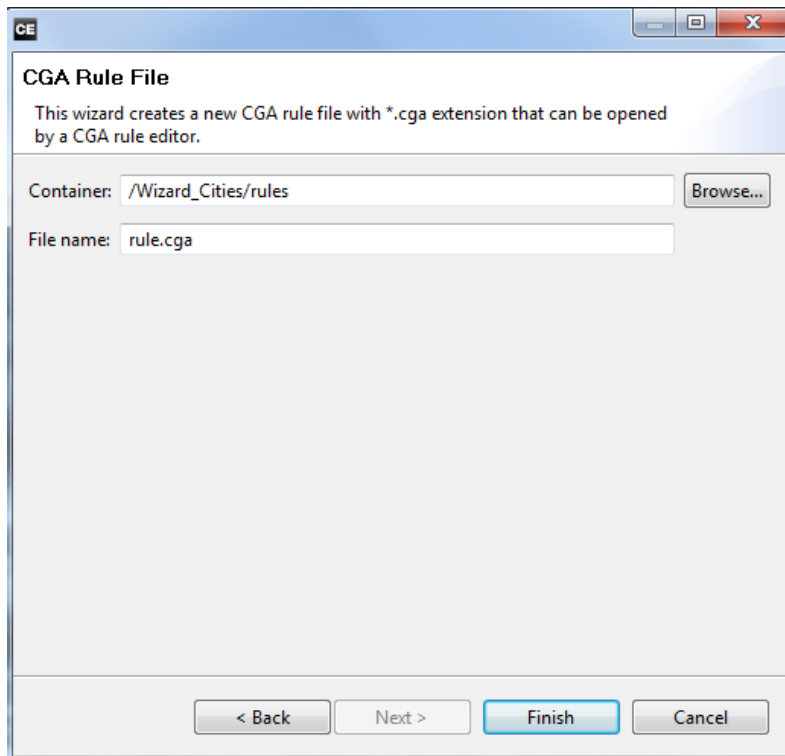
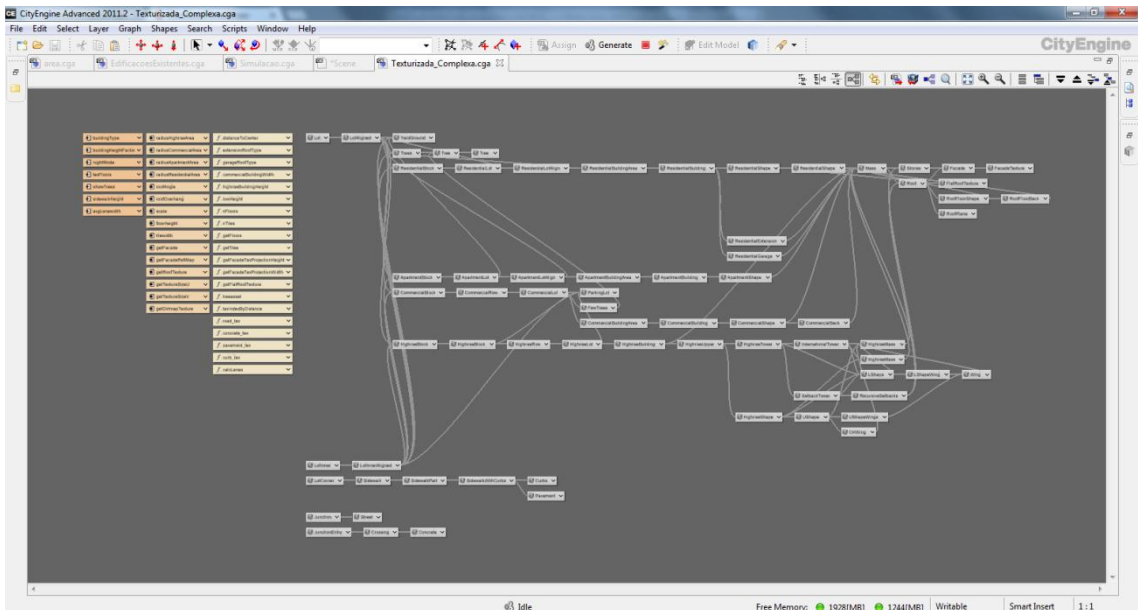
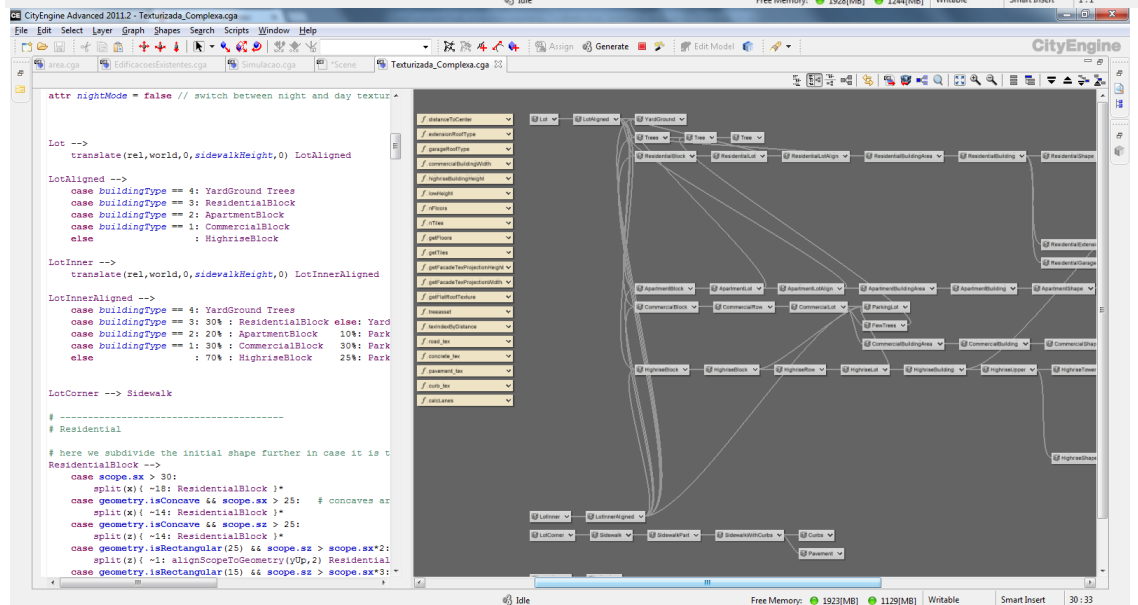


FIGURA 41 – Tela para criação das regras de parametrização

Essa figura 42 apresenta a interface gráfica do sistema para a elaboração das regras que serão utilizadas para a elaboração dos envelopes tridimensionais.



(a)



(b)

FIGURA 42 – Regras desenvolvidas em Python e na interface do sistema

Na figura 43A a janela de códigos onde é possível desenvolver as linhas de programação em Python, como foi o exemplo das regras para conversão do *shapefile* estático para dinâmico, que será apresentado ainda nessa tese. Na Figura 43B, a programação do arquivo CGA que permite a estruturação do processo das regras através de uma interface gráfica.

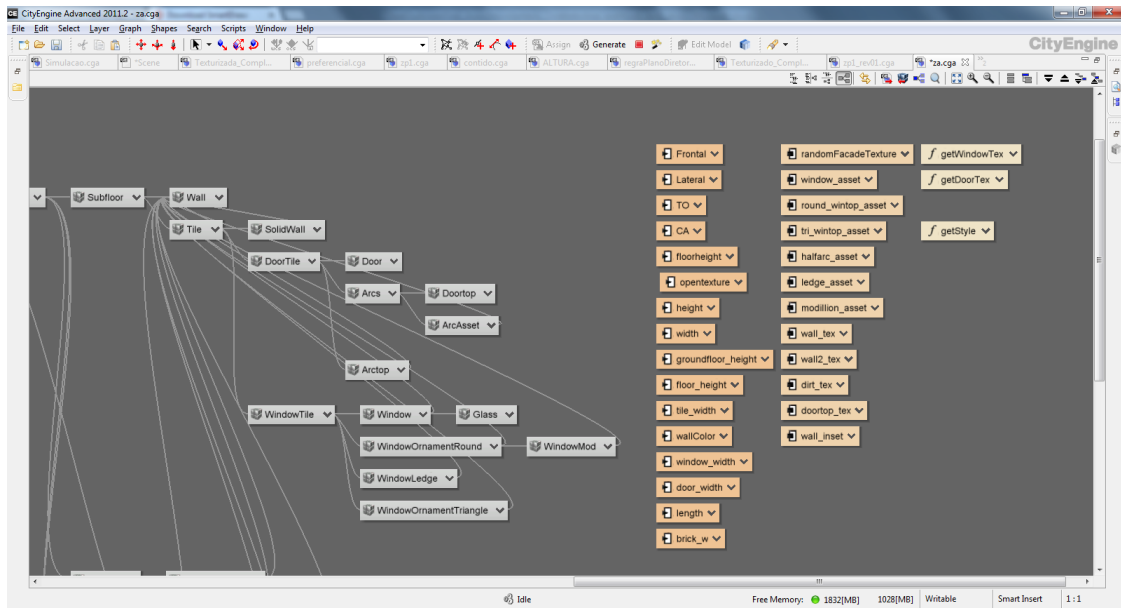
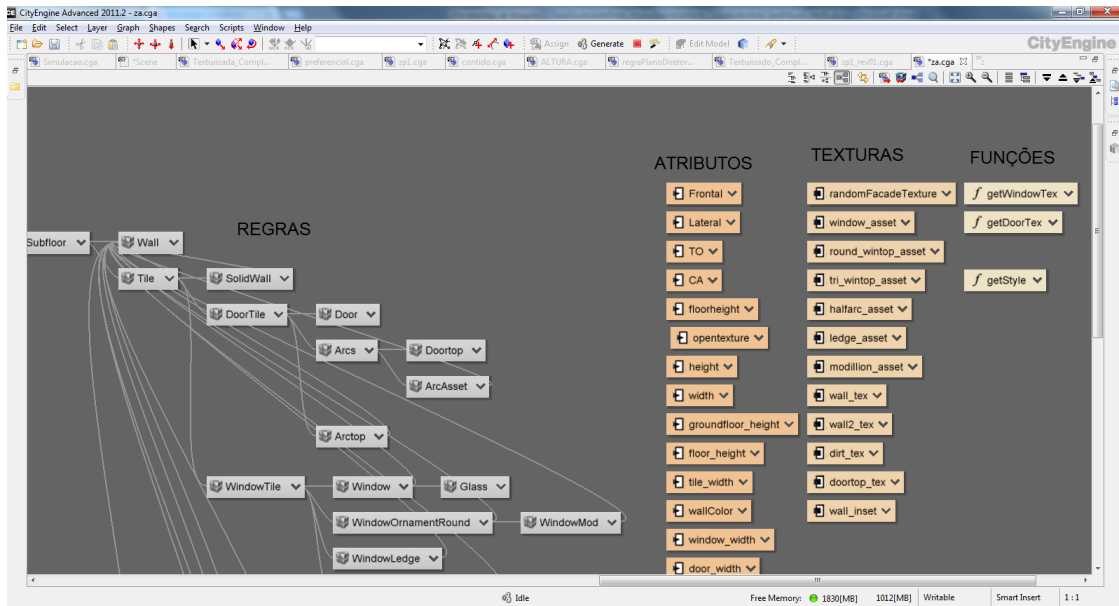
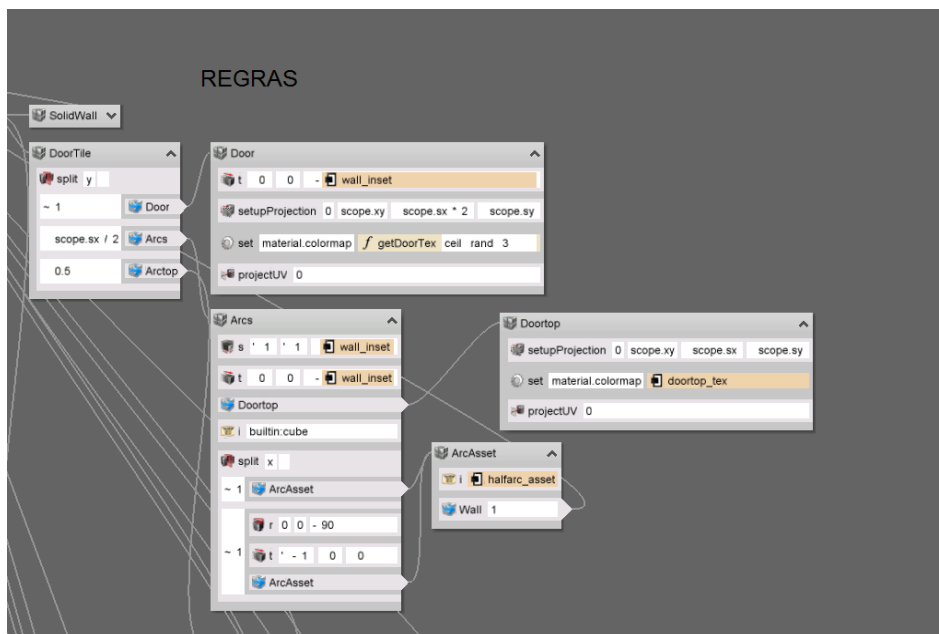


FIGURA 43 – Regras paramétricas no CityEngine

A figura 44 ilustra a complexidade do processo de elaboração regras para a construção dos envelopes tridimensionais através da interface gráfica do CGA.



(a)



(b)

FIGURA 44 – Estrutura das regras no CityEngine

A figura 45A ilustra a forma de organização das regras onde devem ser definidos inicialmente os atributos, texturas, funções para, posteriormente, fazer a definição das regras e comandos para a modelagem tridimensional. A figura 45B faz um zoom para ilustrar a forma de construção das regras.

O algoritmo implantado na primeira regra (que foi denominada “regra base”, pois dela se desmembraram outras no desenvolvimento do trabalho), foi definida a partir de especificações de afastamentos, taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento. A sua lógica foi a seguinte – veja comentários do código após o símbolo de exclamação:

```

attr Frontal = 6 !Tendo como atributo o afastamento frontal 6m
attr Lateral = 3 !Tendo como atributo o afastamento lateral 3m
attr TO = 0.4 !Tendo como atributo o Taxa de ocupação 0,4m
attr CA = 1 !Tendo como atributo o coeficiente de aproveitamento 1m

Lot --> Area(geometry.area) !Calcule a area do lote e gere um novo
arquivo chamado AREA

Area(area) --> setback(Frontal) { streetSide : NIL | remainder :
Afast_L(area) }!Nesse arquivo AREA, de um afastamento frontal conforme
atributo e gere um novo arquivo chamado Afast_L com a projeção
resultante.

Afast_L(area) --> setback(Lateral) { noStreetSide : NIL | remainder :
projecao(area) }!Nesse arquivo afast_L, de um afastamento Lateral
conforme atributo e gere um novo arquivo chamado Projecao com a projeção
resultante.

projecao(area) --> case geometry.area > area * TO : Redimensiona(area,
geometry.area) !Nesse arquivo Projecao, aplique uma regra caso a área
desse arquivo for maior que a área do lote multiplicado pela taxa de
ocupação, gere um arquivo chamado Redimensiona.

else : Sobe(area, geometry.area) !Caso contrário, gere um arquivo
chamado Sobe

Redimensiona(area, areaP) --> s('area*TO/areaP, 'area*TO/areaP, '1)
center (xz) Sobe (area, geometry.area) !Para o arquivo Redimensiona,
aplique um fator de escala no qual a área do lote vezes a taxa de
ocupação dividido pela área do arquivo projeção, gere o arquivo Sobe.

Sobe (area, areaSC ) --> extrude(3*(area*CA/areaSC)) !Nesse arquivo
chamado Sobe, suba um volume igual a área do lote vezes o coeficiente de
aproveitamento dividido pela area do arquivo multiplicado por 3 gerando
um envelope tridimensional nesse arquivo chamado Sobe.

```

Nesse momento foi observado que a referência de valores que o aplicativo emprega para se especificar a altura do envelope não é dado em número de pavimentos, mas sim em metros. Para que fosse possível representar realmente a realidade na proporção visual foi necessário multiplicar o valor final de número de pavimentos por 3, considerando que cada pavimento tem a média de 3 metros de altura.

Para a regra dos zoneamentos que possuem altura máxima nas divisas superior a 5 metros, a regra base inicial foi assim adaptada:

```

attr Frontal = 5 !Tendo como atributo o afastamento frontal 5m
attr Lateral = 1.5 !Tendo como atributo o afastamento lateral 1,5m
attr FrontalR = -5 !Tendo como atributo o recuo frontal 5m
attr Fundo = 5.9 !Tendo como atributo o afastamento nos fundos 5,9m
attr TO = 0.4 !Tendo como atributo o Taxa de ocupação 0,4m
attr CA = 3 !Tendo como atributo o coeficiente de aproveitamento 3m
Lot --> Area(geometry.area) !Calcule a area do lote

Area(areaT) --> Afast_F(areaT) !A partir do shape do lote, crie um
novo arquivo chamado Afast_F

Afast_F(areaT) --> setback(Frontal) { streetSide : NIL | remainder
: Bloco(areaT) } !Nesse arquivo afast_F, de um afastamento frontal
conforme atributo e gere um novo arquivo chamado Bloco com a projeção
resultante.

Bloco (areaT) --> extrude (3) 2Andar(geometry.area) !Suba 3 metros
dessa projeção chamada Bloco e gere um novo arquivo chamado 2Andar.
Armazene o cálculo de área construída.

2Andar (areaT, A1) --> Offset (FrontalR) Extrude (2*3)
Edificio(areaT, A1, geometry.area) !Desse arquivo 2Andar, dê um recuo
frontal conforme atributo e suba mais 6 metros gerando o arquivo
Edificio. Armazene o cálculo de área construída.

Edificio(areaT, A1, A2) → Offset (Lateral) | offset (Fundo) Sobe
(areaT, A1, A2, geometry.area) !Desse arquivo Edificio, Aplique o
afastamento lateral e fundos conforme os atributos gerando calculando
a área total do novo arquivo denominado SOBE. Armazene o cálculo de
área construída.

Sobe (areaT, A1, A2, A4) --> extrude(3*((areaT-(A1+2*A2))/A4))
Predio !Nesse arquivo chamado SOBE, verifique quantos pavimentos
ainda podem ser construídos considerando a área do lote e os três
pavimentos já construído. Suba o quantidade possível de pavimentos.

```

Essas duas regras base contemplam apenas a construção de envelopes, que são blocos inteiros sem nenhuma textura. Após o desenvolvimento desses algoritmos, foi realizada a etapa de testar e desenvolver texturas.

Após a composição de regras que traduzissem cada tipologia de zoneamento e seus tipologias de zoneamento misturadas, para verificar a composição paisagística do conjunto. Para essas regras iniciais optou-se por considerar todo o potencial construtivo de cada um dos lotes em seus respectivos zoneamentos. Isso porque o primeiro modelo pretende ilustrar como seria a cidade se todas as pessoas decidissem construir tudo que é permitido em cada um dos lotes. Após a aplicação das regras nos lotes utilizados como área-piloto, a área recortada para testes apresentou a representação de paisagem simulada segundo os parâmetros urbanísticos especificados por zona, a exemplo dos definidos no plano diretor de Belo Horizonte, conforme ilustram as figuras 46 a 49.

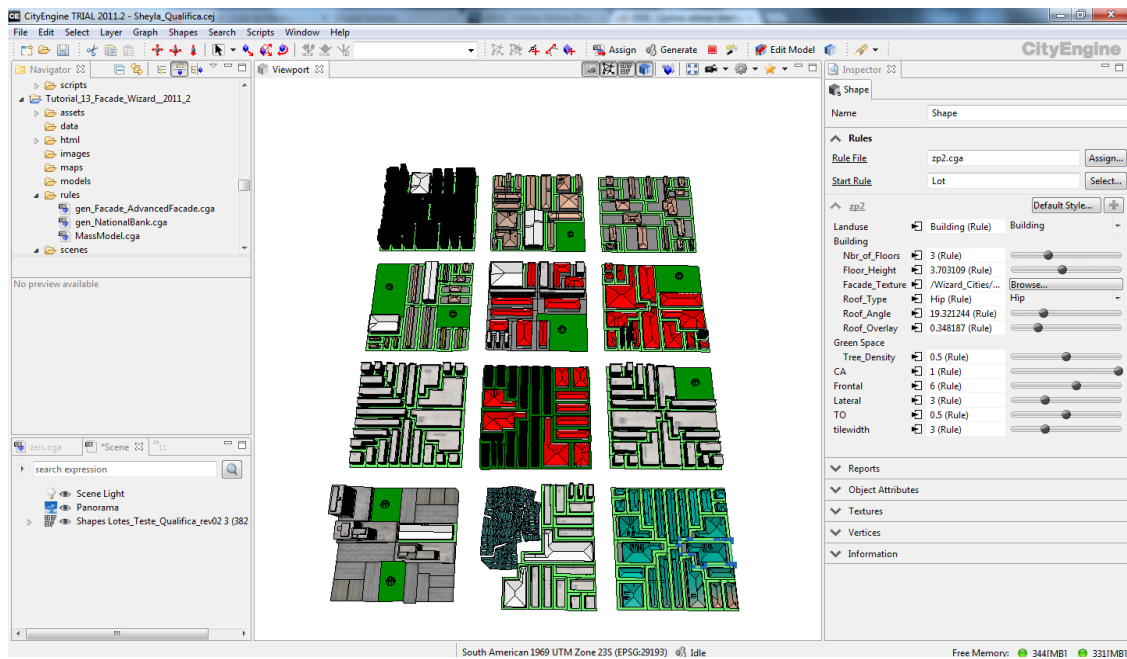


FIGURA 45 – Modelo da cidade – Perspectiva 1

Essa figura 46 mostra a área piloto modelada de acordo com a aplicação das 14 regras correspondentes aos zoneamentos existentes para Belo Horizonte. Cada quadra recebeu um zoneamento aleatório para testar as regras. Nessa etapa optou-se por colocar uma cor e um tipo de edificação para cada um dos zoneamentos e padrão de edificação para ficar mais simples a identificação do funcionamento das regras e do modelo de uma forma geral. Observa-se que, ainda nas regras elaboradas, foi possível definir que se a edificação ficasse com até dois andares, o envelope gerado deveria ser do tipo casa, caso contrário, deveria ser gerado um edifício.

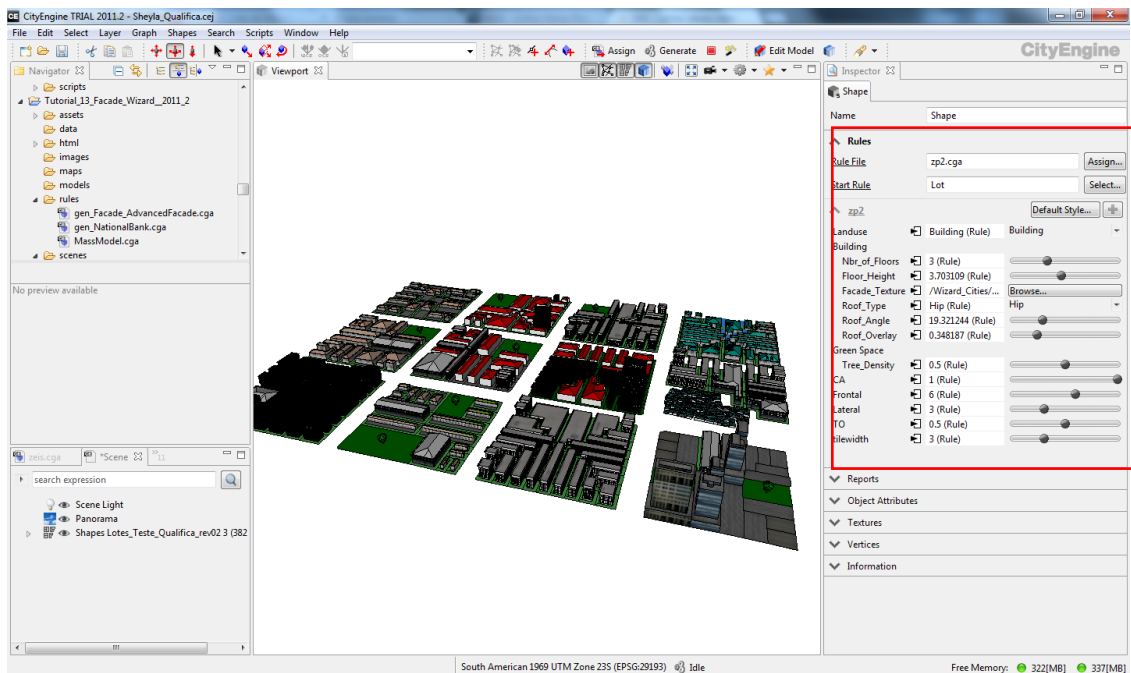


FIGURA 46 – Modelo da cidade – Perspectiva 2

Essa figura 47 visa ilustrar as edificações modeladas e os parâmetros que ficaram abertos para alteração (quadrado vermelho) para que os usuários pudessem fazer a modificação dos valores e verificarem as respostas paisagísticas.

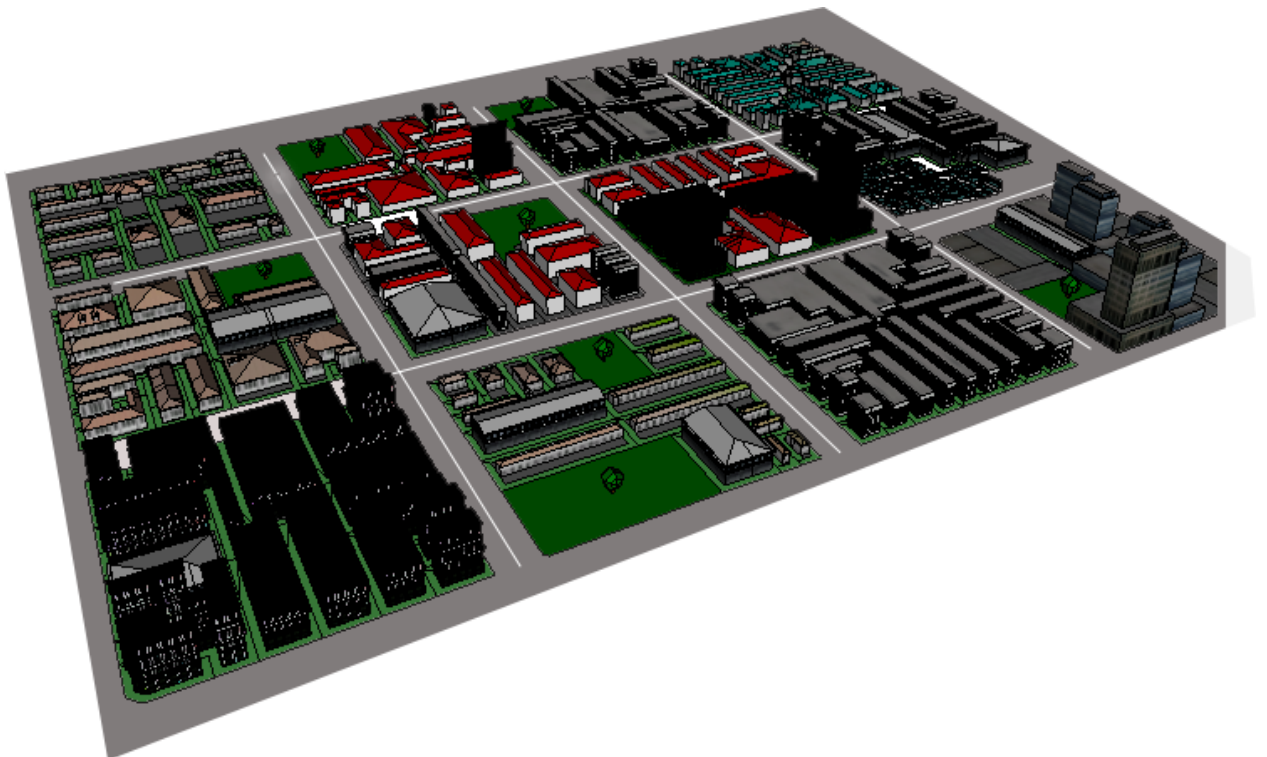


FIGURA 47 – Cidade Modelada – Perspectiva 3

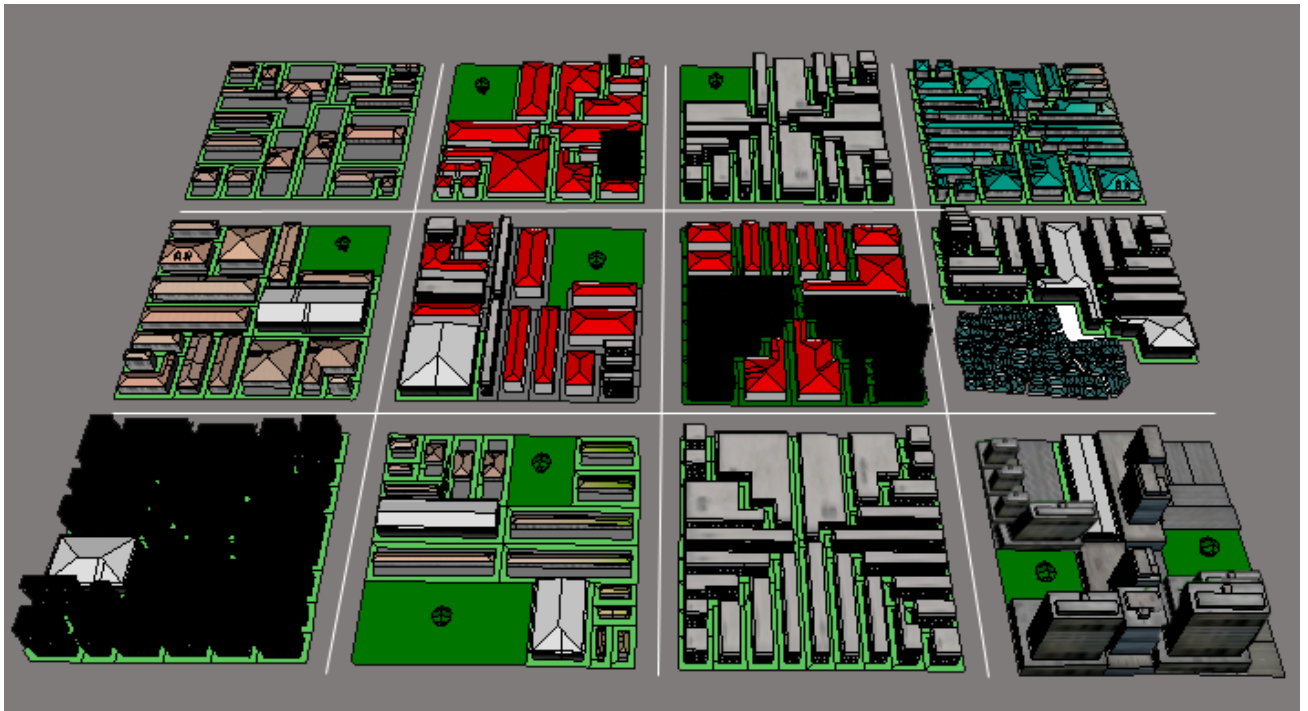


FIGURA 48 – Cidade Modelada – Perspectiva 4

As duas últimas imagens (Figuras 48 e 49) permitem um maior zoom para a melhor visualização das construções criadas a partir das regras elaboradas até essa etapa da tese.

Apenas depois de criadas e testadas todas as regras, foi possível entender que o CityEngine, pelo menos até o momento presente e com as funcionalidades até então disponíveis, não seria o *software* completo para a construção de todas as etapas metodológicas desenvolvidas nessa tese. Mas isto não desmerece o trabalho elaborado, visto que esse conjunto de valores e conceitos esperados, de lógicas de trabalho desejadas e objetivos de seus usos, ainda são muito novas e não explorados. Foi necessário dar um primeiro passo, construir críticas, na expectativa de desenvolvimentos adicionais. Sem essa primeira contribuição não seria possível aprender com os resultados, em processo de análise exploratório guiada pelos objetivos e resultados obtidos.

Dentro do conceito do *Geodesign*, considerando o ambiente de modelagem de processos, o CityEngine se enquadra no tripé de aplicativos escolhidos para a criação de um cenário de suporte ao planejamento urbano que compreende os novos conceitos de comunicação e interação. Nesse tripé entra o ArcGIS como software para a construção

da base de dados, o ArcScene/ArcGlobe para análises espaciais 3D e o CityEngine como Geovisualizador 3D, tanto em desktop como na WEB.

Após esse entendimento de limitações e possibilidades, foi realizada a definição dos sistemas que seriam utilizados nesse trabalho, constituindo assim as etapas metodológicas:

- Montagem da base de dados
- Montagem do sistema
- Simulações: Visualização das relações entre a cidade real e a cidade legal, permitida por lei, de modo a criar condições de compreensão para diferentes atores da cidade (cidadãos, técnicos, políticos e empreendedores).
- Testes de avaliação dos resultados.

5 ETAPAS PROPOSITIVAS

Os testes iniciais e definições das etapas metodológicas foram realizados a partir do processo exploratório de análise de resultados *vis-à-vis* com os objetivos traçados nos estudos do escopo conceitual. Para a verificação das possibilidades de construção de um modelo que seja possível utilizar para outras cidades como apoio a tomada de decisões no planejamento e gestão da paisagem urbana, foi iniciado o processo de expansão do protótipo para um estudo de caso mais robusto em que foi necessário fazer toda a etapa de construção da base de dados, montagem do banco de dados, montagem do sistema, elaboração de análises e validação do modelo criado.

5.1. Organização da base informacional

A organização da base de dados precisou enfrentar o desafio de representar a paisagem de Belo Horizonte em terceira dimensão, para se modelar tanto a paisagem autorizada (resultado de aplicação da parametrização de valores por zoneamento), como a paisagem real (a existente, através de emprego da nuvem de pontos que são suporte para a construção do modelo digital de superfície).

A existência de dados de alta qualidade como os de captura laser, que geram nuvens de ponto e que permitem a separação entre o modelo digital de terreno (topográfico) e o modelo digital de superfície (modelagem tridimensional dos elementos naturais e antrópicos acima do terreno, tais como árvores e edificações), foi condição essencial para o desenvolvimento do trabalho.

Caso essa qualidade de dados não existisse, seria necessário planejar metodologia para se simular a representação tridimensional do conjunto real. Talvez isso pudesse ser feito com a construção dos volumes a partir de projeções horizontais das edificações (se elas existirem em cadastro) e a aplicação de alturas informadas pelo número de andares construídos (registrados em cadastros de BCI – Boletim de Cadastro Imobiliário, ou de IPTU, ou de outros órgãos que gerenciam o patrimônio imobiliário da cidade).

5.1.1. Modelagem da cidade existente, através de nuvem de pontos (tecnologia Lidar).

Utilizou-se a base existentes de Belo Horizonte para a construção do modelo da cidade real. Esses dados foram adquiridos a partir do voo a laser e do manuseio de nuvem de pontos (Figura 50).

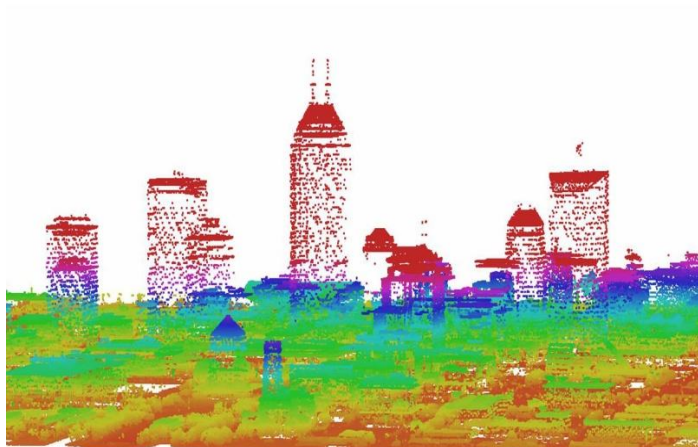


FIGURA 49 – Visão de perspectiva da nuvem de pontos que permite uma visualização do resultado do levantamento a laser e o grau de detalhamento das feições capturadas pela tecnologia citada.

Segundo MAYER (2008) e SHUFELT (1999), a tecnologia *Light Detection and Ranging* (LIDAR) essa é a forma mais rápida e precisa para a aquisição de dados sobre a superfície da terra. Todavia, o processamento necessário para a definição de objetos de forma automática, precisa e eficiente ainda precisa de muitos estudos.

Após o perfilamento a laser (captura de dados em sistemas aerotransportados), foi disponibilizada a nuvem de pontos bruta para todo o município de Belo Horizonte. O primeiro passo foi a inserção dessa nuvem de pontos no *software MicroStation* através da extensão TerraScan.

Uma vez carregados os dados no aplicativo, é necessário promover a visualização através da escala hipsométrica, que trabalha com a simbologia de ordem de cores para a compreensão dos elementos mais altos e mais baixos (altimetria). Nessa etapa foi solicitado gerado um mapa temático ordinal com dez classes e intervalos iguais de 6 em 6 metros (equivalente a 2 andares) para facilitar a identificação das áreas mais altas (em vermelho) e as áreas mais baixas (em azul claro) (figura 51).



FIGURA 50 - Vista de topo da nuvem de pontos através da representação de cores hipsométricas

O processo de mapeamento temático da nuvem facilitou, então, a identificação dos pontos mais altos da cidade. A identificação desses pontos, exibidos em vermelho, é a base para a identificação das edificações e o ajuste dos pontos incorretos. A partir da constatação dos pontos mais altos, verificou-se visualmente o posicionamento das edificações. A definição do posicionamento das edificações é necessária para saber até onde vão os pontos que correspondem feições do território e onde estão os pontos que foram resultados de erros no processo de aquisição dos pontos pela varredura a laser (Figura 52). Após verificar as edificações, foi feito um perfil para saber em qual altura estavam posicionados os pontos incorretos para darmos continuidade no processo de filtragem e limpeza da nuvem de pontos para cálculo da altura estimada das construções (Figura 53).

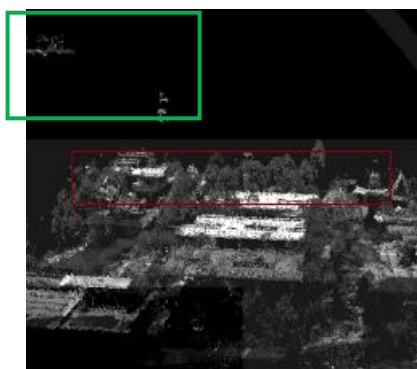


FIGURA 51 - Identificação visual das edificações. Nessa imagem é possível ver um aglomerado de pontos que mostram as feições existentes na paisagem (sinalizado através do retângulo vermelho) e alguns pontos bem acima desse aglomerado (sinalizados pelo retângulo verde). Os pontos que se encontram deslocados da concentração dos pontos são erros no mapeamento a laser que devem, então, ser excluídos da amostragem dos pontos.

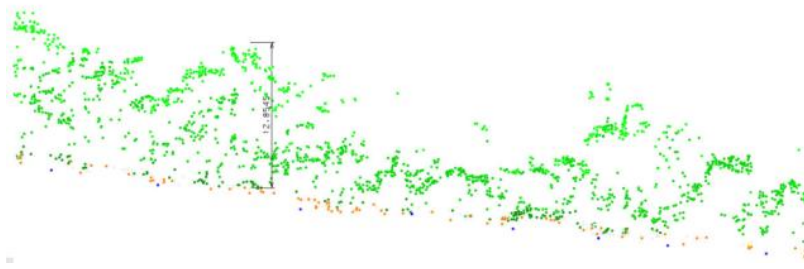


FIGURA 52 - Vista de perfil dos pontos e cálculo da altura os pontos mais altos. Essa imagem corresponde a vista de perspectiva do retângulo vermelho da imagem 50. Mostra a edificação mais alta e, conseqüentemente, o valor da altura que deve ser considerado no momento de correção das amostras dos pontos.

Após a definição da altura considerada correta para a definição das edificações, foi feita uma limpeza na nuvem de pontos para extração dos pontos com valores de altura incoerentes com o espaço analisado. Após a limpeza dos pontos incorretos, foi necessário separar os pontos correspondentes ao terreno, os pontos correspondentes à vegetação e as demais feições da cidade.

Para a construção do modelo digital de terreno, foi feito uma filtragem de pontos indicando as alturas de algumas feições conhecidas, como tamanho máximo das edificações, altimetria do terreno e outros. Após a indicação desses valores e dos pontos mais baixos do terreno indicados pelo modelo digital de elevação, executa-se a rotina “Classify Ground” e consolida a elaboração de uma superfície triangulada. Por interação, a rotina pesquisa, avalia e classifica automaticamente os demais pontos que compõem o terreno, gerando o modelo digital de terreno (Figura 54).

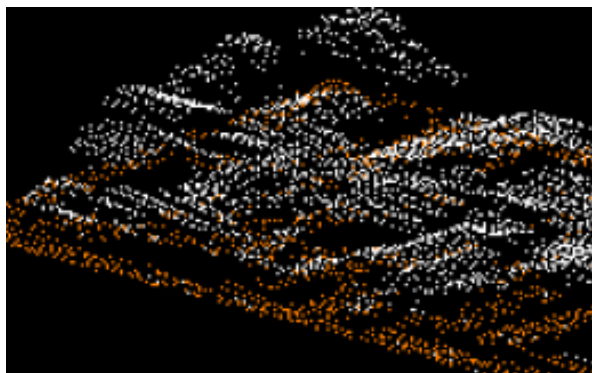


FIGURA 53 - Modelo Digital de elevação considerando que os pontos em laranja representam os pontos relacionados ao terreno e pontos brancos correspondem às demais feições

A separação dos pontos da vegetação dos pontos de edificações, foi feita a partir da seleção todos os pontos entre 0,5 e 3 metros de altura.

Após essa classificação dos pontos correspondentes ao terreno, dos pontos médios da vegetação baixa e dos pontos incorretos das varreduras foi possível identificar os pontos correspondentes às edificações (Figura 55 e 56).

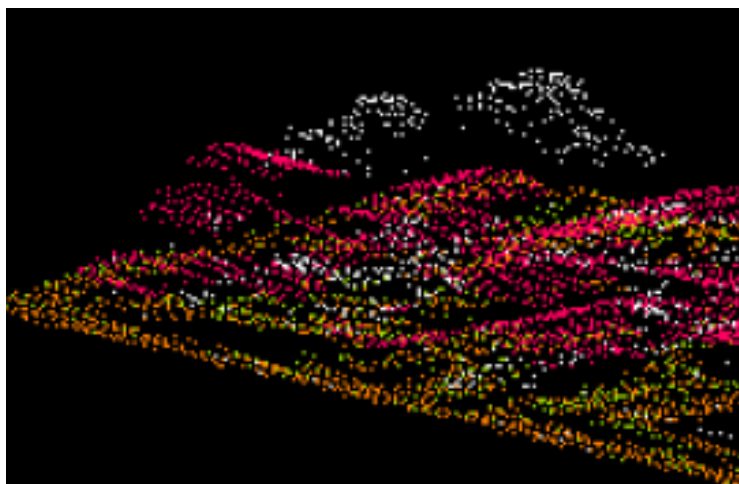


FIGURA 54 - Pontos em laranja correspondem ao terreno, pontos em verde correspondem à vegetação, pontos brancos correspondem aos erros de varredura e os vermelhos, as edificações.

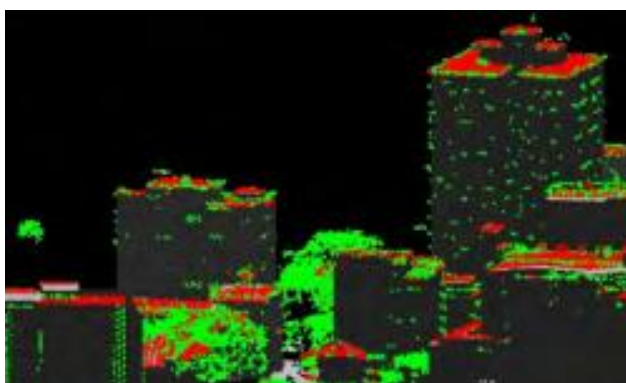


FIGURA 55 - Vista de perfil dos pontos em vermelho correspondentes a edificações e verdes correspondem à vegetação

O último processo foi da vetorização automática que consistiu na detecção de pontos correspondentes a superfícies planas e critérios, tais como a máxima distância entre os planos; área mínima de edificação para representação; máxima inclinação do telhado; entre outros parâmetros existentes na rotina *default* do TerraScan.

O início da construção dos vetores foi iniciado pelo edifício de maior projeção. Posteriormente, foram definidos os telhados e lajes, seguindo a lógica de funcionamento do software. Demais detalhes da composição das coberturas das construções foram contemplados de forma mais simplificada nessa proposta metodológica (Figura 57).



FIGURA 56 - Em vermelho, o vetor gerado automaticamente a partir dos pontos relacionados às edificações.

Após a elaboração dos vetores poligonais referentes às edificações, foi necessário realizar um processo para a o cálculo estimado da altura das edificações.

Para esse trabalho foi necessário fazer uma interseção do laser com o modelo digital de elevação para ser possível fazer o cálculo da altura das feições, conforme ilustra as figuras 58 a 59.



FIGURA 57 – Modelo Digital de superfície – Modelo Digital de Elevação juntamente com as edificações a partir dos dados de laser

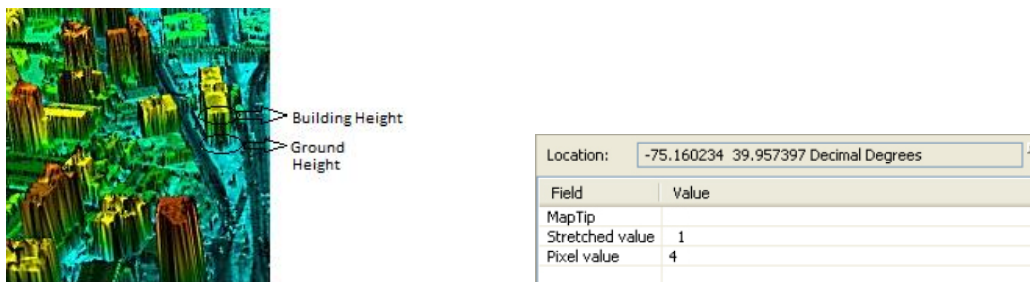


FIGURA 58 – Cálculo da altura a partir do ponto mais alto da edificação a partir do ponto mais baixo do terreno

A partir das projeções das edificações, foi feito uma seleção dos pontos que estão contidos dentro dos polígonos para identificar o ponto mais alto e a média entre os valores. Esse dado foi importante para a definição de qual seria o valor a ser utilizado como base para o cálculo estimado da altura.

Esse mesmo processo foi repetido para todas as edificações existentes (figura 60). Após o término do processamento, foi utilizado o Google Street View em 147 pontos da cidade distribuídos de forma aleatória para a verificação entre o valor estimado da altura de uma edificação através do método proposto e a realidade visualizada a partir da fotografia. Foi escolhido fazer a validação com 147 pontos pois isso significaria aproximadamente a avaliação de 30 a 40% do total de edificações existentes na base de dados.

A partir de cada um dos pontos visitados no Google Street View, foram verificadas as edificações existentes do entorno (360°). Foi feito uma comparação para avaliar se todas as edificações existentes na base de dados estavam presentes e com o calculo de altura no modelo gerado a partir dessa metodologia. O procedimento posterior foi contar quantos andares a edificação possui na imagem do google e verificar se o numero de pavimentos na realidade esta compatível com o calculo de altura estimado pelo procedimento descrito.

A partir desse 147 pontos distribuídos de forma aleatória, foi possível avaliar 1792 edificacoes, ou seja, 34% das edificações totais geradas pela metodologia proposta. Registrou-se um acerto de 92% de acerto, ou seja, das 1792 edificações analisadas na amostra, 1623 tiveram a altura estimada correspondente à altura real. Do conjunto

restante, 5% das edificações restantes estavam com erro médio de 2,83 metros e 3% estavam com erro médio de 4 metros. Foram levantadas 518.908 edificações ao todo.

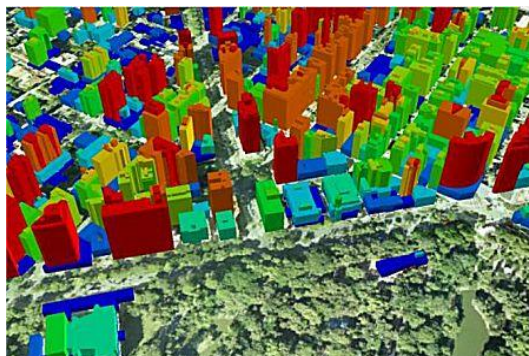


FIGURA 59 – Modelagem tridimensional de uma porção da cidade de Belo Horizonte

Em paralelo ao processo de modelagem laser, com o objetivo de aplicação de texturas das edificações para melhor representação da paisagem real, foi realizado um empenho para que usuários se envolvessem no mapeamento tridimensional colaborativo.

Com o aparecimento de diversos dispositivos denominados smarts com acesso a internet, inicia-se uma nova etapa na projeção do espaço geográfico. A percepção da possibilidade de aproximação entre os indivíduos e os espaços projetados permite o surgimento do mapeamento colaborativo ou crowdsourcing.

Estes dispositivos permitem que qualquer pessoa com acesso aos dispositivos possa construir um mapa, personalizando e divulgando seu conteúdo na internet, transformando-se em agente ativo do processo, como um produtor de informação (NOY et. al, 2008, 65).

Abordando os mapas colaborativos pelo viés da comunicação, verificamos que esses dispositivos apresentam características e funções pós-massivas (LEMOS, 2007, p.142), uma vez que se estabelecem a partir da produção e do consumo de conteúdos informacionais descentralizados e personalizados em seus domínios. Esses conteúdos geográficos são produzidos a partir da inteligência coletiva e voluntária através da geração de dados personalizados e descentralizados.

As novas tecnologias permitem uma mediação para novas relações entre a sociedade e o espaço vivido ampliando a percepção do ambiente e reconfigurando as representações

sociais do território. Isso permite a construção de novas camadas de informação relativas ao espaço.

O mapeamento colaborativo, ao mediar uma relação com o espaço e ao permitir a adição de uma nova camada de conteúdos informacionais na sua plataforma, possibilita - além do desenvolvimento de um sistema com fluxo de informações descentralizadas e personalizadas -, a emergência de uma espacialidade marcada pela experimentação do espaço, em detrimento de uma espacialidade contemplativa, presente na cartografia clássica. (RIBEIRO et al, 2011, p. 45)

Nesse sentido, a geocolaboração na produção dos dados espaciais permite o mapeamento do território de forma bem mais ágil e barata descentralizando o fluxo de produção dos dados espacialmente localizado. Essa nova forma de mapear o espaço permite que o indivíduo se aproprie da paisagem gerando laços de estreitos com o território compartilhando o conhecimento e as experiências.

Para tanto, foi criado um perfil em uma rede social com o apelo: “Se todos mapearem sua casa, seu trabalho e o lugar que mais gosta da cidade, Belo Horizonte em pouco tempo estará toda tridimensional”. A divulgação realizada através dessa página na rede social, indicava o mapeamento colaborativo tridimensional a partir do Google SketchUp.

O processo baseia-se no encaixe de blocos nas diversas visadas das edificações conforme ilustra as figuras 61 e 62. Ele pode ser feito por qualquer usuário da cidade que conheça bem um edifício e se disponha a representá-lo por seus volumes básicos, em aplicativo de livre acesso e de fácil emprego. A colaboração do usuário é submetida ao gerenciador do Google Sketch, que avalia a qualidade da representação e autoriza o *upload* no sistema.

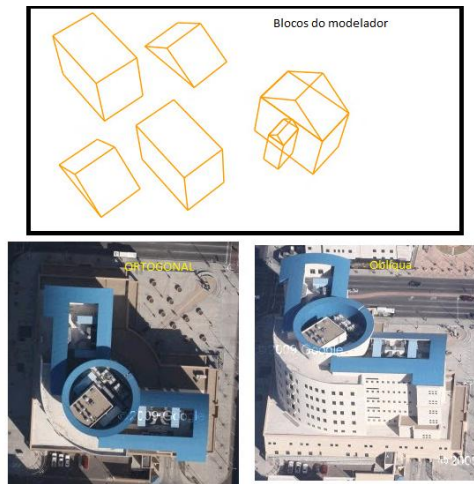


FIGURA 60 – Metodologia que mostra as opções dos blocos modeladores e as visadas das edificações na imagem de satélite nas quais devem ser encaixadas os blocos modeladores para a construção da edificação texturizada.



FIGURA 61 – Exemplo de encaixe dos blocos na edificação e processo de texturização automático.

Após o encaixe dos blocos modeladores na edificação em cinco visadas diferentes, existe um processo de fazer o crescimento vertical (*extrude*) a edificação utilizando a textura presente na imagem de satélite. Observa-se que para que seja possível utilizar a imagem de satélite na texturização, as imagens de satélite utilizadas não estão ortorretificadas. É possível constatar isso uma vez que na imagem não se tem a visão exata de topo, e sim uma visão de perspectiva da cidade. O cálculo de altura utiliza um algoritmo que considera o número de janelas e o volume da edificação de acordo com os encaixes dos blocos realizados pelo usuário.

Nesse processo, foram modeladas 352.853 edificações, que corresponde a aproximadamente 68% das edificações totais - 518.908 - levantadas através da nuvem de pontos. As principais áreas escolhidas para modelagem foram às localidades turísticas, conforme exemplos das figuras 63 e 64 visualizadas a partir do ArcScene/ArcGlobe.

O processo de geocolaboração para a construção das edificações texturizadas de acordo com suas reais aparências foi iniciado a partir de uma campanha criada pela autora dessa tese. Foram gerados perfis e páginas nas mídias sociais e solicitado que cada um mapeasse o local que mora, o local que trabalha e o local que mais gosta em Belo Horizonte. Essa divulgação foi feita através de atualizações nas páginas e através de e-mails. Ao iniciar o processo de mapeamento colaborativo, Belo Horizonte tinha aproximadamente 29% das edificações mapeadas. Após a iniciativa, foram captadas 68% das edificações. O aumento desses 39% de edificações modeladas aconteceu em um prazo de 65 dias.

O objetivo do mapeamento colaborativo foi a ideia de inserção desses modelos em testes relacionados a cidade percebida com o grupo de testes e também porque, até esse momento da tese, pensava-se em trabalhar não apenas com o conceito da modelagem tridimensional, mas com alguns princípios de BIM. Sabe-se, como já comentado, que BIM não apenas representar a arquitetura por suas texturas, mas sim um processo integrado que chega nas etapas de projetos complementares, executivos e o gerenciamento da execução propriamente dito; mas a existência de uma representação tridimensional da cidade poderia facilitar a atuação dos arquitetos no sentido de promoverem a visualização da inserção de seus projetos no território real.

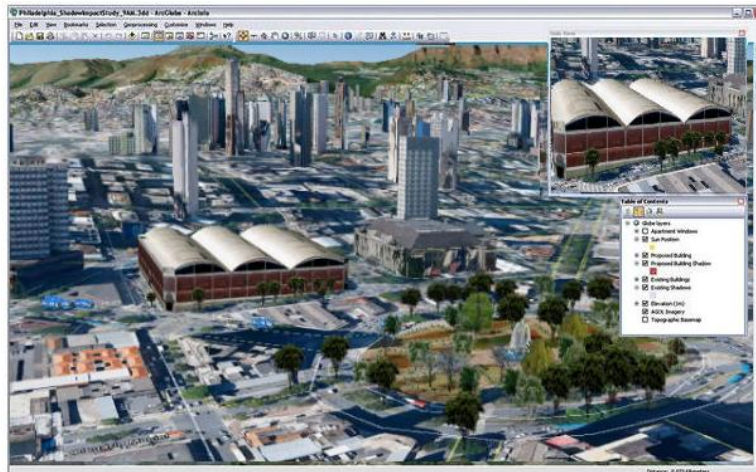


FIGURA 62– Mercado Central Modelado a partir do Google Sketch up e exportado para o ArcScene/ArcGlobe.

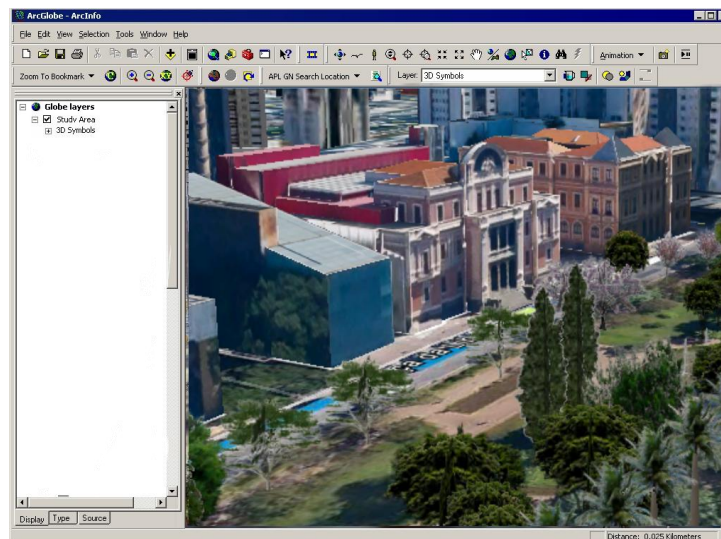


FIGURA 63 – Zoom na Praça da Liberdade com edificações modeladas a partir do Google Sketch up e exportado para o ArcScene/ArcGlobe.

Após a criação das projeções com as informações de altura na tabela de atributos e a associação da informação de textura às edificações, estas foram levadas para o CityEngine para testar a capacidade de processamento e resultados visuais do *software*, conforme figura 65.

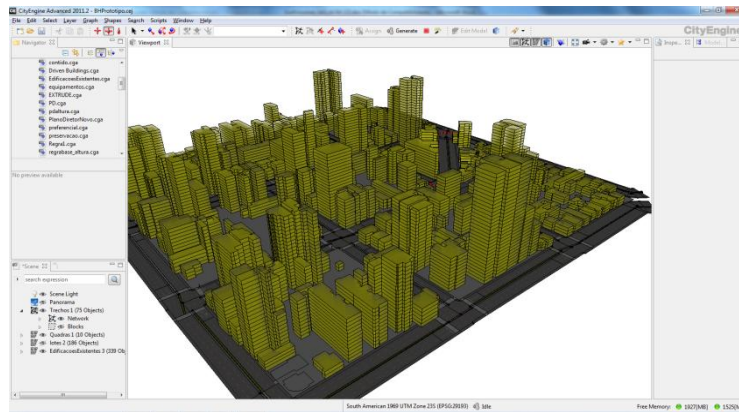


FIGURA 64 – Recorte da cidade real extrudada sem textura vista através do software cityengine

Percebeu-se que por uma dificuldade de *hardware*, é necessário fazer a modelagem de pequenas porções do território, pois os modelos tridimensionais demandam muito processamento dos computadores. É por esse motivo que as figuras apresentam recortes de uma porção da cidade.

5.1.2. Modelagem das vias de acesso.

Seguindo os novos paradigmas de representação do território, as vias devem ser compostas por uma malha justaposta no território e não apenas pela *centerline* entre duas quadras, como é a representação padrão nas bases de dados cartográficas (vias representadas por trecho).

As vias, na lógica de parcelas e na lógica de modelagem paramétrica da ocupação territorial, não são “ausência de dado”, ou aquilo que sobra como o “não-quadra” e “não-lote”, mas são elementos que integram a ocupação e que devem ser representados segundo a contiguidade existente no território. De toda forma, como as parcelas ainda são um conceito muito novo, os *softwares* de representação CAD ou SIG, possuem dificuldade de reconhecimento de que uma rua estará representada a partir de uma feição poligonal, mas que é necessário reconhecer a integração entre polígono e polinhas da estrutura, ao mesmo tempo em que os *softwares* de modelagem paramétrica, como o exemplo do CityEngine, possuem dificuldade de reconhecimento de que uma rua estará representada a partir de uma feição poligonal, pois ele promove a geração de poligonais a partir do trecho, mas não promove o ajuste de faces das vias geradas com as faces de quadras e lotes.

Verificou-se, então que os *softwares* de visualização 3D paramétrica, tanto o CityEngine como o Community Viz, necessitam da entrada das vias a partir de uma linha com a informação de largura na tabela de atributos, e que a partir destes valores, o próprio software gere os polígonos de vias e, conseqüentemente, de quadras e lotes. Não foi identificado um processo que favoreça a tangência e contigüidade entre vias e quadras.

Diante disso, foi necessário montar a base de dados de vias seguindo as exigências do software. Para a montagem de dados foi utilizado o ArcGIS Desktop.

O primeiro passo foi pegar o limite municipal e o arquivo vetorial de quadras. Para gerar um polígono das vias a partir das quadras (figura 66), foi feito um corte negativo utilizando os dois dados como base.

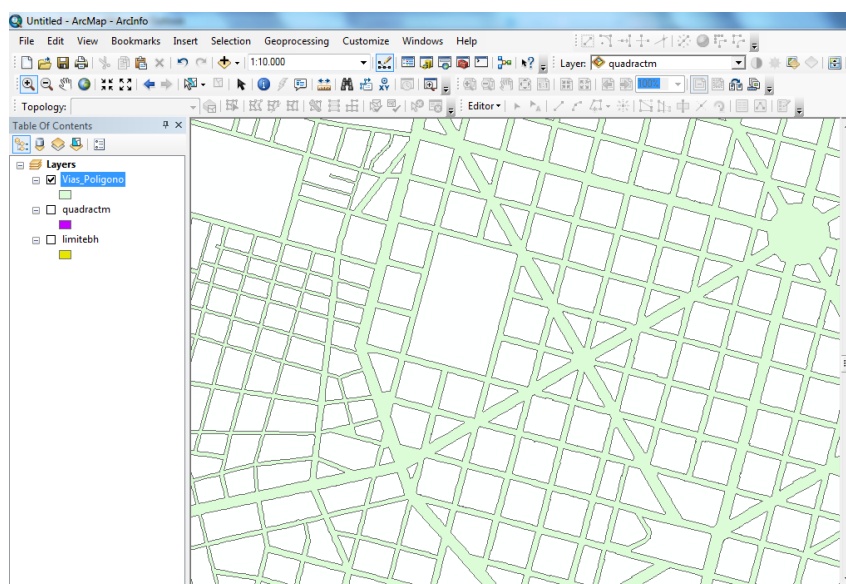


FIGURA 65 – Polígono das vias

Com o polígono das vias gerado, foi necessário gerar o *centerline* nos polígonos para inserção da informação de largura. Foi necessário transformar o polígono em linha e posteriormente solicitar a criação de uma linha central entre as duas linhas de contorno.

Após a criação da *centerline*, foram identificadas as distâncias entre o eixo central e as bordas. Para isso foi necessário criar um ponto a cada 1 metro do eixo, para então

promover a leitura da medição (Figura 67). A definição de pontos a cada metro de deu através da verificação visual de que a mudança de larguras acontece, em muitos casos, ao longo de uma mesma via.

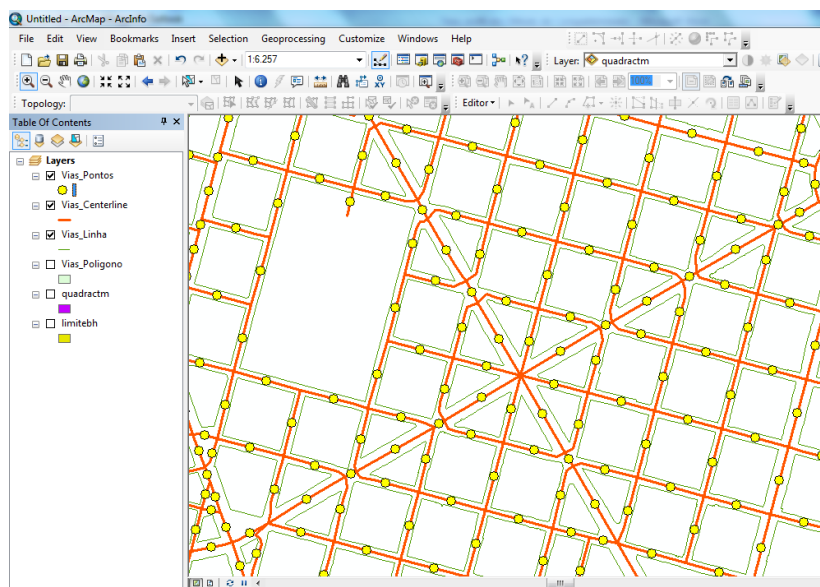


FIGURA 66 – Pontos das vias para cálculo de largura

A partir de cada ponto lançado, foi criada uma rotina para verificar as distâncias entre o ponto da linha central (*centerline*) e a borda das vias e armazenar essa informação na tabela de atributos. É necessário que a *centerline* seja gerada a partir dessa rotina descrita para que o eixo fique exatamente no meio, garantindo que as distâncias do ponto sejam as mesmas para as duas faces da via.

Foi gerado um ponto na borda alinhado com o ponto da *centerline*. Para isso foi gerada uma tabela de pontos mais próximos, utilizando os dados do ponto central e da linha de borda, e posteriormente esses valores XY foram especializados em pontos.

Na tabela de atributos gerada é possível verificar que há coordenadas do ponto central e do ponto mais próximo, além do FID original (número indexador que reconhece o elemento gráfico) que será importante para gerar novamente as *centerlines* a partir do ponto central com a informação de largura, disponível na tabela na coluna NEAR_DIST. Utilizou-se o script *point to line*, que permite indicar qual será o ponto inicial e o ponto final a partir de uma coluna da tabela de atributos.

Para a leitura automática da informação de largura por parte do CityEngine, foi necessário criar uma nova coluna na tabela de atributos, chamada “WIDTH”, e copiar o valor de largura para ela.

Ao se levar o arquivo gerado para o CityEngine, foi possível verificar que o roteiro metodológico funcionou adequadamente, conforme figura 68, no que diz respeito a representar as vias de modo adequado, reconhecido pelo sistema como vias, compostas por eixo e polígonos. Mas ainda havia o desafio de reconhecer a contiguidade entre vias e quadras, posto que o arquivo de quadras foi importado para o sistema, pois ele é o cadastro de quadras urbanas oficial, e não foi gerado pelo sistema como a parte geométrica que constitui o negativo das vias.

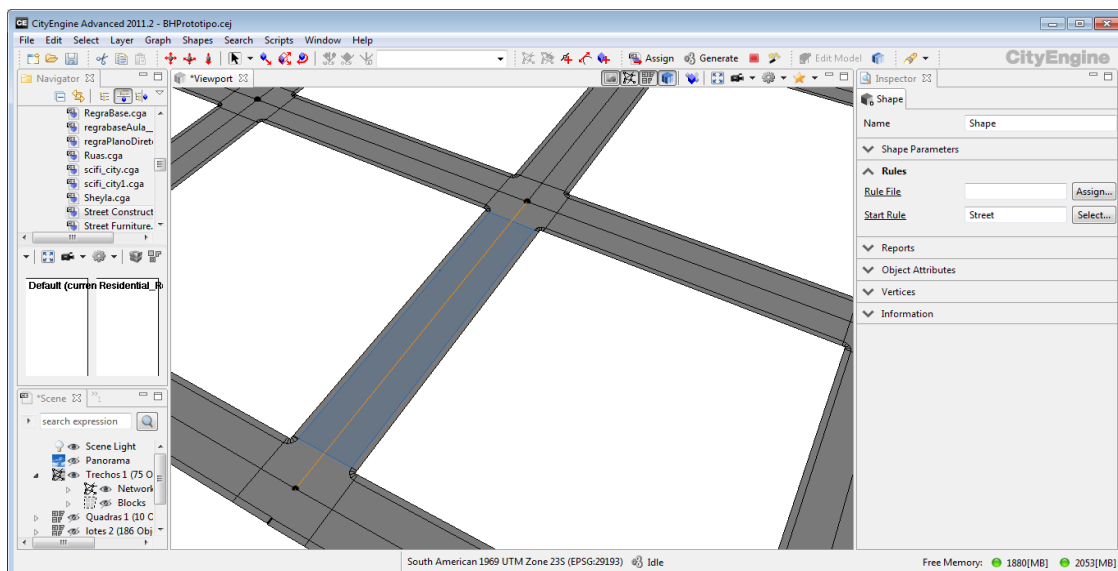


FIGURA 67 – Modelo das vias no CityEngine

5.1.3. Montagem do File Geodatabase.

Com o processamento dos dados brutos e transformação em informações passíveis de serem utilizadas na construção do modelo tridimensional, nessa etapa já é possível unir todas as camadas de informação necessárias dentro de um banco de dados único que possui interface com o CityEngine. Foi elaborado um *file geodatabase*, banco de dados proprietário da família ESRI, no ArcGIS Desktop, com as camadas de quadras e lotes –

existentes no município, edificações – construídos a partir do laser e vias conforme rotina já descrita.

Ao inserir os lotes no *geodatabase*, foi identificado em qual zoneamento ele está posicionado e gerada uma coluna na tabela de atributos informando a regra de início e o nome do arquivo da regra, por exemplo, *zpm.cga*, para que o CityEngine reconhecesse quais são os parâmetros que aquele lote deverá seguir para a construção do seu envelope. Isto significa que, uma vez criadas todas as regras relativas a cada zoneamento da cidade, eles estavam prontas para serem aplicadas em cada lote, pois o atributo de qual zoneamento incidia sobre cada lote foi registrado em uma coluna na tabela associada aos lotes.

5.2 Montagem do Sistema

A etapa constitui o processamento de dados para simular a paisagem tridimensional da cidade construída e da cidade legalmente permitida, para comparação entre elas.

O primeiro passo foi entrar com as camadas de informação no sistema, conforme figura 69.

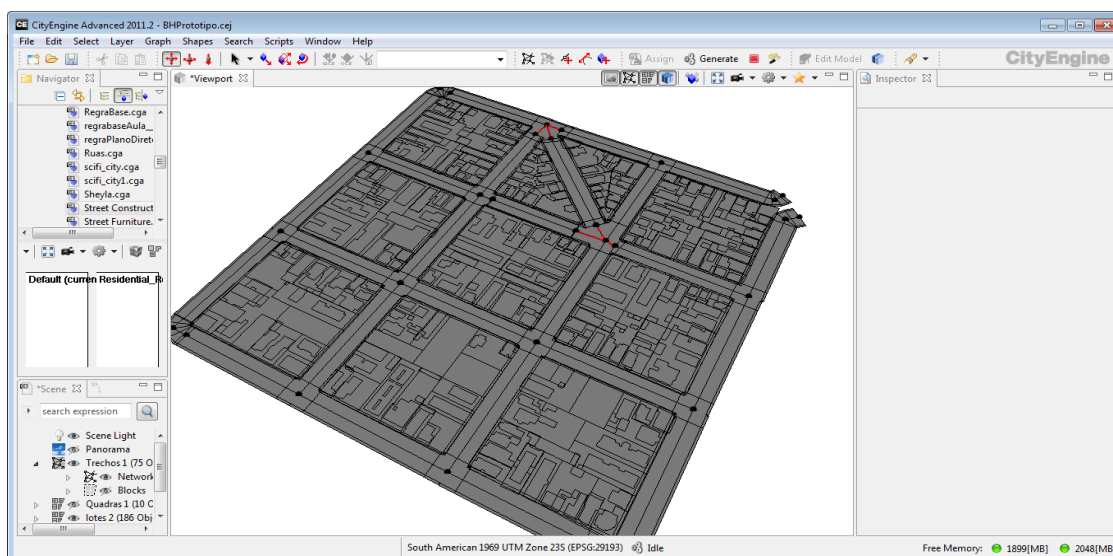


FIGURA 68 – Entrada dos dados no CityEngine

5.2.1. Cidade Construída

Após a inserção do dado das projeções das edificações existentes – dado consolidado na etapa descrita no item 5.1.1., foi necessário a elaboração de uma regra para que o CityEngine conseguisse gerar envelopes a partir das projeções das edificações considerando as alturas informadas na tabela de atributos. A regra para a construção da cidade construída pode ser visualizada nos anexos.

Definiu-se que para trabalhar com a análise específica de comparação de volumes construídos com os volumes permitidos por lei, os envelopes não seriam tratados no até a etapa de aplicação de texturas, uma vez que a beleza de uma edificação pode impactar no processo de aprovação de um projeto e pelo fato de que a comparação entre os volumes ficaria comprometida.

A redução na visualização é muitas vezes necessária, quando se representa a realidade segundo algum objetivo ou ponto de vista. Esta simplificação é necessária em um momento em que o excesso de informação põe o observador em um labirinto de possibilidades. McCormick et al. (1987) alertaram que o excesso de dados gerados por diferentes sistemas e origens pode resultar em limitações de interpretação devido à falta de ferramentas. Por outro lado, o mesma preocupação é manifestada por Andrienko et al (2007) quando escrevem sobre o risco do labirinto de informações em contraposição com a ausência de dados.

No caso em específico, como o objetivo era a comparação volumétrica, para evitar juízo de valores sobre as proposições ou simulações, foram evitadas as texturas. Isto porque não se pode afirmar que as texturas são retratos do possível, pois o emprego de materiais de acabamento ou elementos arquitetônicos pode levar à expectativa ou falsa ideia de que a ocupação seguirá aquele padrão ou resultará naquele aspecto de paisagem. E isto interfere nos julgamentos e compreensões sobre o objeto de análise, que é a volumetria.

A modelagem de uma porção da cidade construída pode ser visualizada na figura 70.

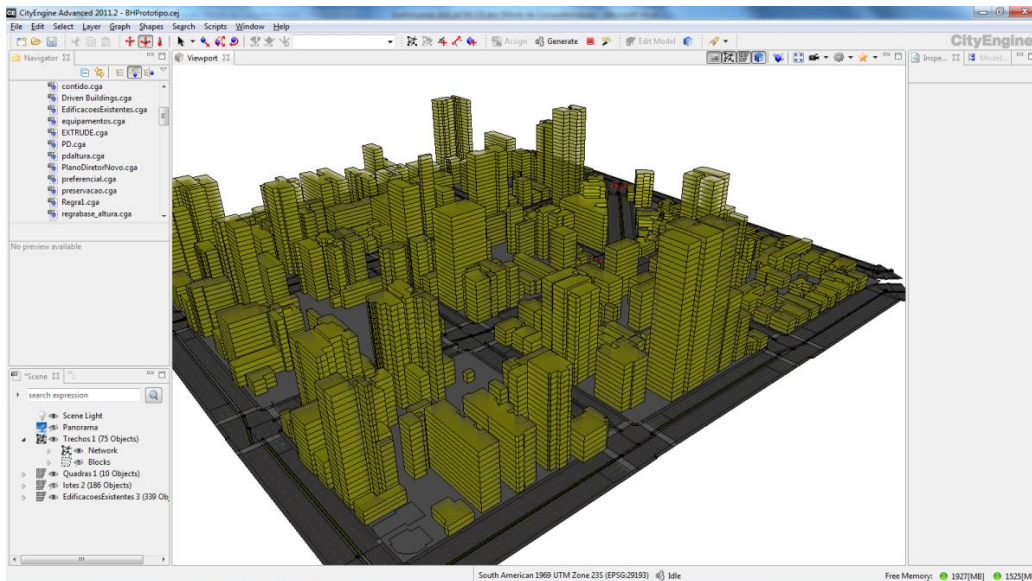


FIGURA 69 – Cidade construída modelada em 3D no CityEngine

5.2.2 Vias

Após o pré-processamento das vias no sistema Desktop ArcGis, os trechos, ao serem inseridos no CityEngine, adquiriram a representação poligonal esperada. Para dar maior veracidade para a cidade simulada, optou-se pela elaboração de uma regra que permitisse um melhor tratamento gráfico da informação.

A regra escrita para a representação das vias pode ser visualizada nos anexos. Optou-se por deixar alguns parâmetros de configuração de semáforos, mobília de rua e outros como opção de inserção ou exclusão do usuário final, conforme figura 71.

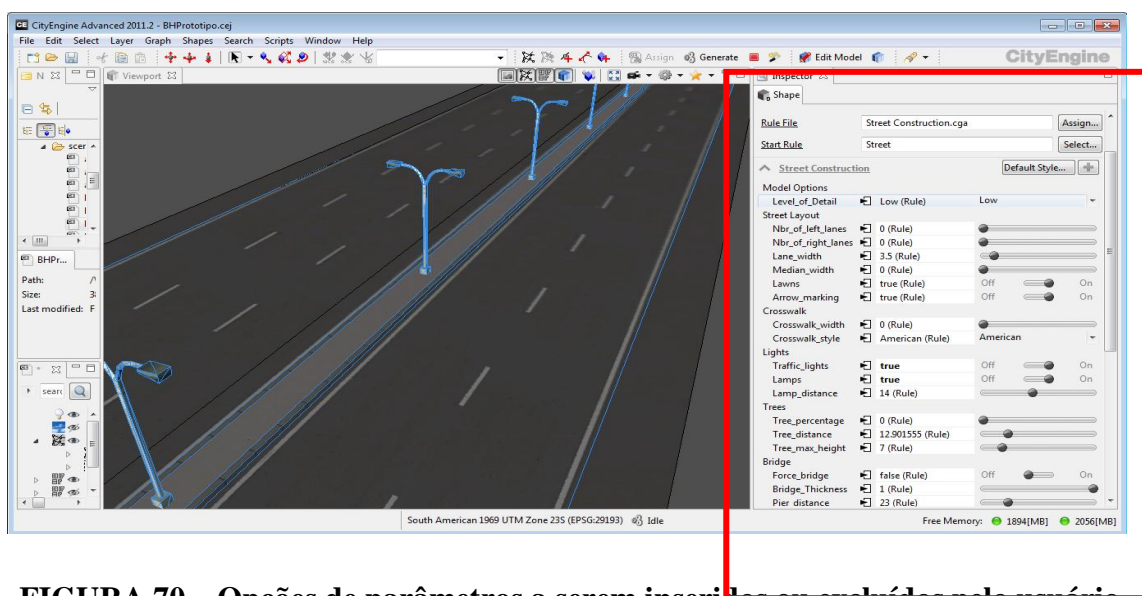


FIGURA 70 – Opções de parâmetros a serem inseridos ou excluídos pelo usuário

A representação das vias de acordo com a regra elaborada pode ser visualizada na figura 72.

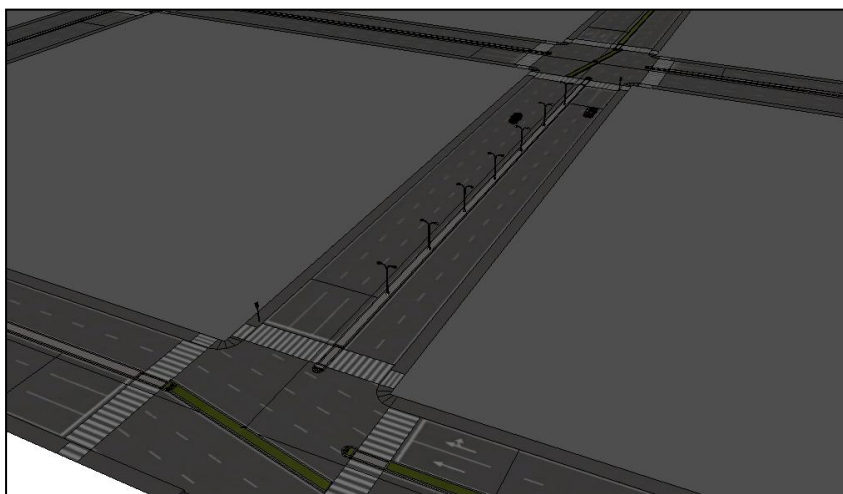


FIGURA 71 – Representação de vias

5.2.3. Cidade Legalmente Permitida

Essa etapa consiste na fase mais complexa dessa tese, pois a modelagem das edificações deve seguir as definições urbanísticas de acordo com os zoneamentos e seus respectivos parâmetros do Plano Diretor. A modelagem dos envelopes deve ser criada a partir dos lotes.

Para isso, foi necessário um processamento dentro do CityEngine para a indicação de quais faces do lote têm visada para a rua. A definição das faces com saída para a rua são de extrema importância, pois um dos parâmetros contemplados é o afastamento frontal.

Verificou-se que ao importar os lotes estáticos, ou seja, construídos fora do CityEngine, ele automaticamente transforma o polígono em um *multipath*. Esse tipo de arquivo consiste em uma feição tridimensional no qual cada vértice do polígono recebe um número e é compreendido como uma feição única dentro do todo, como mostra a figura 73.

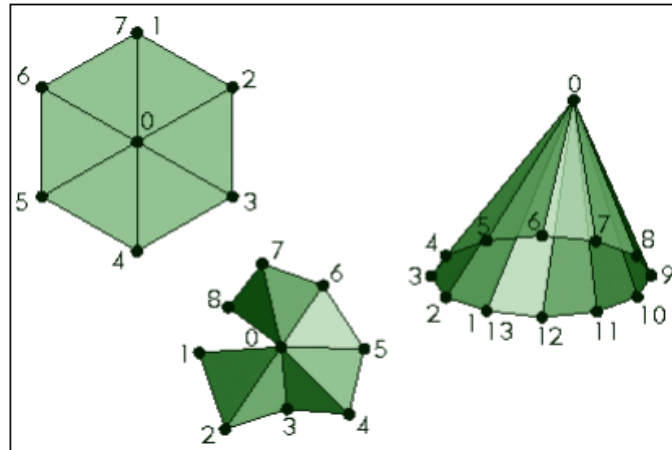


FIGURA 72 – Polígonos Multipath no qual cada vértice recebe um número identificador

Fonte: ESRI, 2010.

Os números são definidos de acordo com a forma que os polígonos foram desenhados. Com isso, o vértice inicial do desenho recebe o número 1 e assim por diante, conforme ilustra a figura 74.

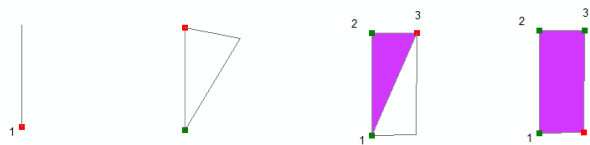


FIGURA 73 – Ilustração de numeração dos vértices de acordo com a forma de desenho da feição

Fonte: ESRI, 2010.

A primeira etapa foi utilizar um script criado pelo técnico responsável pelo CityEngine, Matthias Buehler, para alinhar os vértices dos lotes com os vértices da via mais próxima àquele lote. Esse script permite que o arquivo estático dos lotes importados a partir de um arquivo externo ao sistema seja convertido em arquivos dinâmicos. A partir da execução dessa rotina é que o CityEngine consegue compreender os arquivos de lote importados de maneira semelhante com os arquivos gerados dentro do próprio sistema. O script pode ser encontrado nos anexos dessa tese.

Em uma fase posterior foi executado um segundo script chamado SetStreetEdge.py (também de autoria de Matthias Buehler) que identifica as faces do lote com saída para a rua. Esse script cria uma informação de chamada StreetWidth no arquivo de lotes

dando o valor “1” para os segmentos do polígono que tem saída para a rua e “0” para aqueles que não possuem visada para a rua. Esse script faz uma consulta por todos os segmentos do lote que possuem adjacência dos dois vértices com um vértice das vias.

Após a identificação desses segmentos, é atribuído o valor “1” informando que aquele segmento tem saída para a rua. Nesse sentido, vale registrar que essa versão anexa nessa tese permite que um lote tenha mais de uma frente para a rua, todavia ele não permite a diferenciação do tipo de via, ou seja, ele consegue apenas definir se é frente para a rua ou não, mas não consegue dizer se é frente para uma rua local, arterial ou coletora. Essa limitação faz com que não seja possível aplicar diferentes afastamentos frontais de acordo com o tipo de via (ruas, avenidas, alamedas, etc). Em seguida, a preparação dos lotes para a aplicação das regras, foi necessário criar um arquivo de regras para cada tipo de zoneamento de acordo com os seus parâmetros definidos no Plano Diretor.

Nessa etapa da tese, as regras para cada tipo de zoneamento foram aperfeiçoadas e já incluíam o parâmetro de Média das áreas de desconto de acordo com cada zoneamento. Por isso foi necessário atualizar os arquivos de regras de cada um dos zoneamentos para a inclusão de todos os parâmetros e para a solicitação de *reports*, ou seja, relatórios finais que ficam disponíveis para visualização e consultas com as informações de volumetria, área da projeção, área construída, área do primeiro andar e área dos demais andares.

As contribuições dessa tese estão relacionadas à criação de regras que contempla os seguintes parâmetros:

- Afastamentos;
- Coeficiente de aproveitamento;
- Taxa de ocupação;
- Altura máxima das divisas;
- Média das áreas de desconto de acordo com cada zoneamento.

A regra base para todos os zoneamentos com todos os parâmetros descritos acima e a opção dos relatórios podem ser visualizados nos anexos.

Identificou-se nessa etapa a dificuldade de processamento e armazenamento das informações 3D geradas. As regras devem ser aplicadas isoladamente para cada trecho de interesse na cidade, pois a modelagem simultânea de todo o município é um processo que demanda muito *hardware* e, até o momento, não foi possível identificar uma máquina capaz de suportar.

Um exemplo da cidade legalmente permitida pode ser visualizado a partir da figura 75.

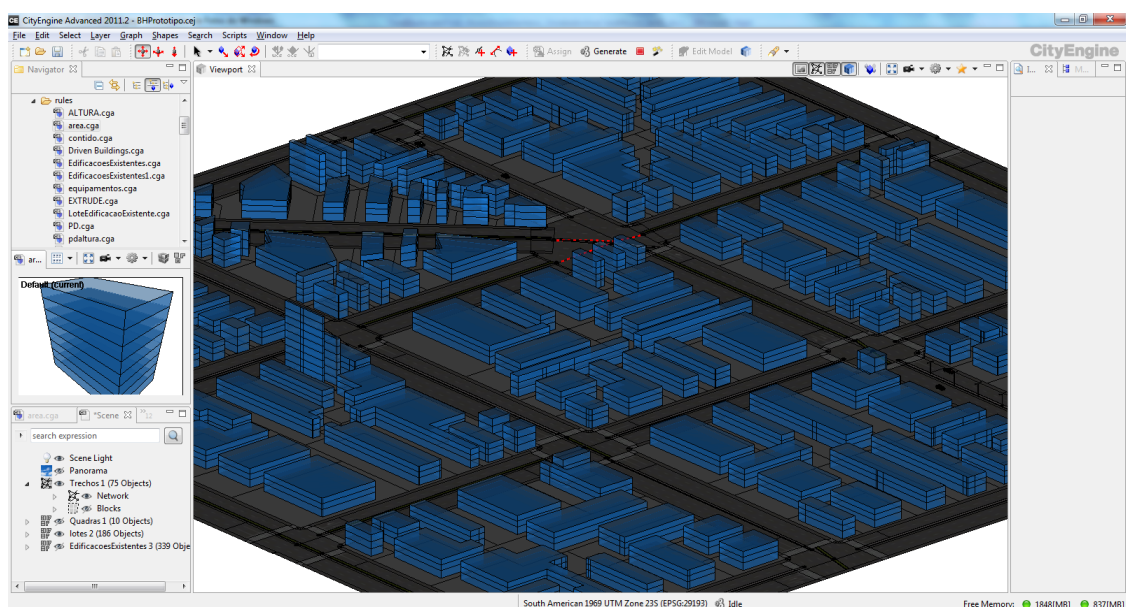


FIGURA 74 – Exemplo de um recorte da cidade Legalmente construída em modelos tridimensionais

5.3 Simulação

Com a simulação tridimensional da cidade construída e da cidade legalmente autorizada, iniciou-se a etapa de análise dos dados e compreensão do potencial da ferramenta como um instrumento de visualização que permita um melhor entendimento da cidade. Ainda nessa tese será mostrada a avaliação com o grupo de testes que testou o aplicativo verificando as potencialidades e dificuldades da ferramenta como instrumento de planejamento e gestão urbana.

A primeira etapa foi manter habilitados para visualização os dois modelos 3D para verificar os estoques construtivos existentes na cidade, figura 76.

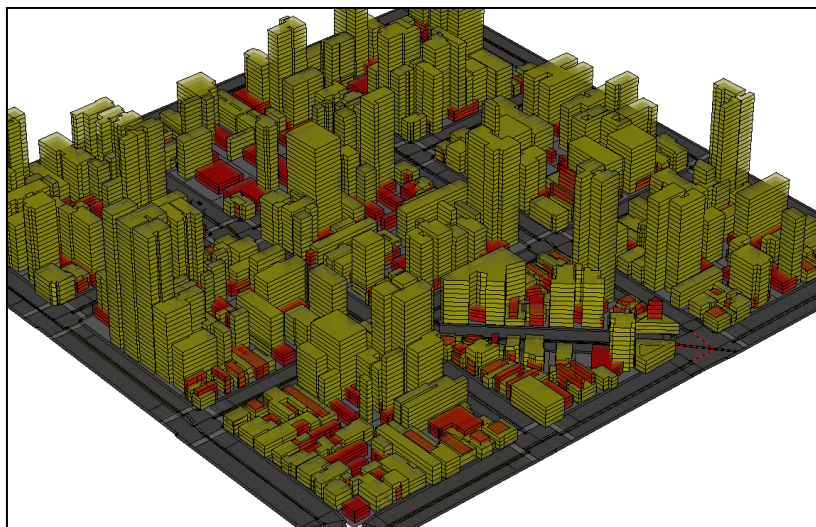


FIGURA 75 – Comparativo entre as duas cidades - Edificações existentes geradas a partir da nuvem de pontos em amarelo, envelopes gerados a partir das regras dos parâmetros urbanos em vermelho.

Nessa etapa ficou claro que para, melhor entendimento dos estoques construtivos, seria mais interessante fazer uma análise quantitativa em m^3 entre o construído e o permitido e o desenvolvimento de uma simulação que permita a visualização em um único envelope de mesma conformação espacial.

Nessa primeira simulação, foi comum a criação de dois envelopes com características físicas diferentes, pois é possível gerar diversos tipos envelopes com os mesmos parâmetros, como ilustra a figura 77.

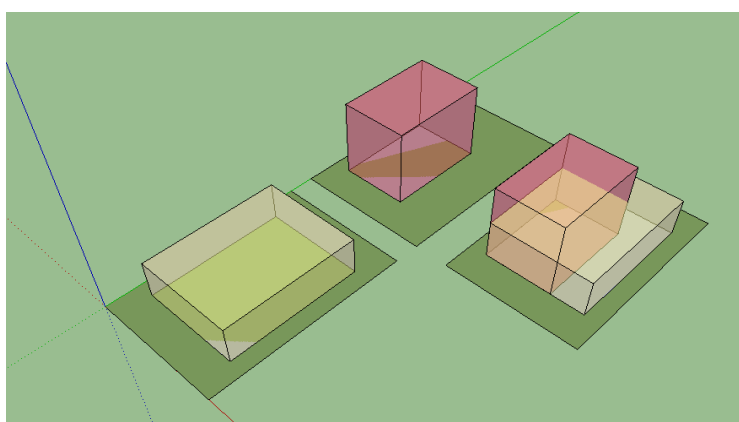


FIGURA 76 – Diferentes envelopes representando os mesmos parâmetros
Fonte: PENSA, 2013.

Nessa figura o envelope amarelo possui os mesmos parâmetros do envelope vermelho. Ou seja: respeitados os afastamentos mínimos frontal, lateral e de fundos, caso o projetista opte por maior projeção da edificação (maior taxa de ocupação), o volume terá menor expressão vertical, em função das limitações impostas pelo coeficiente de aproveitamento (que regulamenta o volume total construído e, conseqüentemente, a altura final da edificação).

Por outro lado, se o projetista optar por menor projeção horizontal (taxa de ocupação), há maior crescimento vertical, dentro dos mesmos valores autorizados para a volumetria final (coeficiente de aproveitamento). Assim, no exemplo ilustrado, os resultados volumétricos surgem dos mesmos parâmetros urbanísticos, mas são visualmente diferentes e o desafio é: como comparar? Quando comparados conjuntamente, existe uma dificuldade de avaliação da existência de estoques construtivos.

Iniciou-se um novo processo de representação do dado, de forma que em um único envelope fosse possível mostrar se existe um estoque construtivo ou se o construído está acima do autorizado, conforme ilustra a figura 78.

Vale registrar que esse trabalho analisa apenas as edificações existentes, sem considerar a sua época/data de construção. A indicação de que existe uma área construída maior do que a permitida não significa necessariamente um descumprimento à lei. Isso porque a edificação pode ter sido construída seguindo os parâmetros urbanísticos de sua época e que foram alterados posteriormente. Essa análise não está sendo contemplada, nesse modelo uma vez que não foi possível adquirir a informação de data de construção. E também porque não é o objetivo avaliar discrepâncias entre o autorizado e o construído do ponto de vista legal, mas sim dar apoio à tomada de decisões no que se refere a estoques construtivos e autorização de implantação de princípios de revisão de parâmetros urbanísticos, implantação de Outorga Onerosa do Direito de Construir, Operações Consorciadas, Transferência do Direito de Construir e demais operações para as quais a informação sobre a condição volumétrica da paisagem urbana é de interesse.

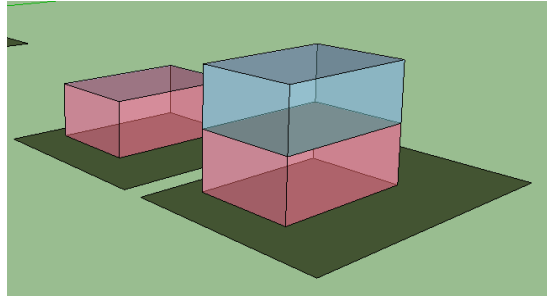


FIGURA 77 – Envelopes indicando estoques construtivos em um único envelope. Em azul o construído e na soma do azul com o rosa o volume permitido, ou mesmo demonstrar, por outra cor, quando o estoque é negativo porque o construído já excedeu o permitido.

Fonte: PENSA, 2013.

A identificação de existência de estoques resulta na criação de um volume extra na edificação em tonalidade diferente, para mostrar que ali existe uma área que permite ainda, segundo o Plano Diretor em vigência, o adensamento urbano segundo as normativas urbanísticas. Cabe registrar que foram seguidos os zoneamentos do Plano Diretor e não foram consideradas situações específicas de ADEs (Áreas de Diretrizes Especiais, pois a própria definição da tipologia significa que sobre elas incidirão projetos específicos, por se tratarem de áreas de interesse específico, não sendo possível prever parâmetros ou modos de ocupação que serão propostos nesses projetos).

A simulação foi feita a partir de uma rotina que avalia as edificações em termos de volume e gera dois envelopes iguais com os volumes encontrados. A rotina dessa simulação é descrita a seguir.

Para a criação dessa rotina foi necessário à utilização do ArcGis Desktop 10.2 que possui ferramentas integradas para emprego com o CityEngine, além da versão 2012 do Geovisualizador.

Após a manipulação das informações de quadras no CityEngine, indicando quais eram as faces do lote com visada para a rua, o arquivo de lotes foi exportado como um *multipath* dinâmico para um *personal geodatabase* no intuito de manipulação dos dados no ArcGIS. Isso foi necessário, uma vez que no CityEngine as rotinas e execuções necessárias para atribuir o valor de altura às edificações modeladas de cada lote se mostrou um trabalho muito árduo.

Com os dados de lotes no *personal geodatabase*, foi necessário fazer a exportação das regras CGA para um pacote de regras e *scripts* para que estas fossem compreendidas no ArcMap.

A partir de então, os lotes foram adicionadas no ArcMap e foi executado a ferramenta do *Feature from CityEngine Rules*. Essa ferramenta está disponível apenas nessa versão do ArcMap e pode ser encontrada no menu do 3D Analyst. A ferramenta permite a entrada de dados do *feature class* que receberá a criação das feições tridimensionais.

Após a execução dessa ferramenta, as projeções das edificações legalmente permitidas são geradas em cada um dos lotes, como mostra a figura 79.

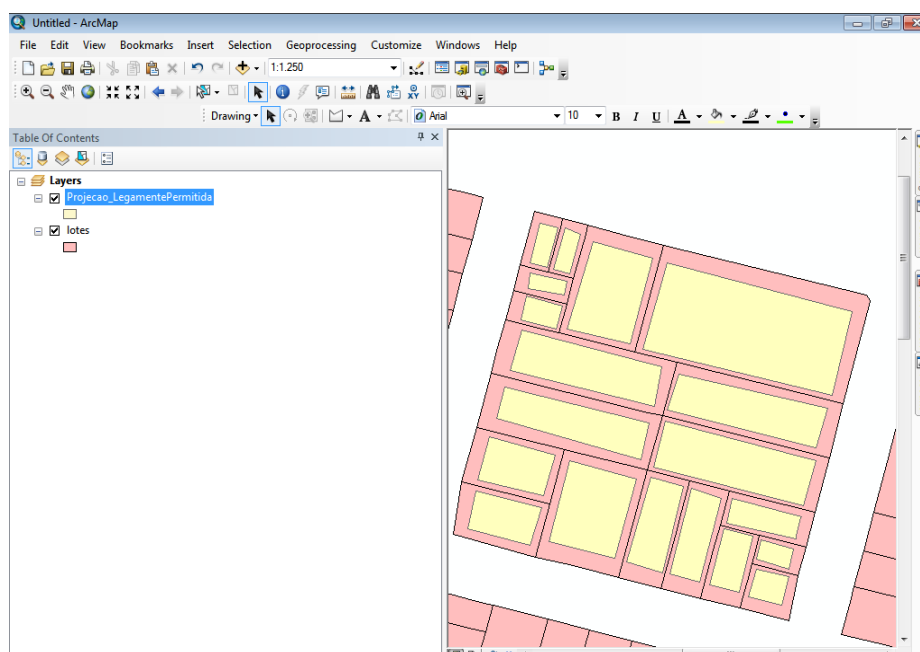


FIGURA 78 – Projeção das edificações legalmente permitidas e os lotes

A informação de altura é inserida na tabela de atributos. Quando é utilizada essa ferramenta a partir do ArcGis, todas as opções descritas no *report* das regras se tornam informações alfanuméricas na tabela.

A partir de então, com a geometria das projeções das edificações legalmente permitidas e a altura de cada uma dessas edificações, foi à etapa de cálculo volumétrico de cada uma.

Para tanto, foi executado a ferramenta Polygon Volumes encontrada na caixa de ferramentas do 3D Analyst. A ferramenta necessita do modelo digital de elevação da área de estudo para conseguir calcular os volumes. Esse dado da altimetria do terreno foi adquirido a partir do DEM da Imagem de satélite ASTER que possui pixel de 15 metros e precisão equivalente a 1:45.000. Nessa etapa optou-se por utilizar o modelo digital de elevação proveniente da ASTER ao invés do arquivo proveniente do laser. Essa opção deu pelo fato de que o MDE nessa etapa cumpre a função de base para o cálculo de área da projeção. Como esse cálculo está sendo contemplado como um *report* na regra do CityEngine, foi entendido que é aceitável a redução da qualidade de escala, uma vez que a coluna base para a consulta da área da projeção será oriunda do *report* e não a resultante dessa ferramenta. Como o modelo digital de elevação é um parâmetro obrigatório na ferramenta, optar pelo arquivo de menor resolução significa escolher um arquivo mais leve e a execução mais rápida da ferramenta.

O resultado na tabela de atributos das projeções legalmente permitidas pode ser visualizado na figura 80.

Shape *	OBJECTID	CAMPO	Shape Leng	height	Shape Length	Shape Area	Volume
Polygon	281		115,309718	7	115,309718	391,424006	807,168029
Polygon	267		33,862894	13	33,862894	66,407485	440,217627
Polygon	279		39,292844	8	39,292844	96,440293	314,34275
Polygon	273		17,295724	9	17,295724	16,585774	155,661518
Polygon	264		66,348009	37	66,348009	247,264939	2454,905935
Polygon	223		26,447763	7	26,447763	35,877057	185,134342
Polygon	224		24,085163	7	24,085163	33,572196	168,596144
Polygon	80		40,348176	31	40,348176	68,582147	1250,793442
Polygon	85		51,027658	31	51,027658	150,808735	1581,857385
Polygon	73		72,906264	53	72,906264	278,129919	3864,031992
Polygon	74		72,546479	53	72,546479	234,54649	3844,963381
Polygon	206		39,760973	38	39,760973	98,804366	1510,916986
Polygon	207		39,914994	38	39,914994	57,323338	1516,769766
Polygon	208		43,338776	38	43,338776	101,339053	1646,873481
Polygon	221		17,905672	38	17,905672	20,03487	680,415539
Polygon	222		40,880011	38	40,880011	56,287533	1553,440413
Polygon	63		35,164167	14	35,164167	72,899483	492,298345
Polygon	254		65,890957	93	65,890957	221,055556	6127,859039
Polygon	312		88,930446	93	88,930446	343,855607	8270,531436
Polygon	314		56,110632	93	56,110632	180,560043	5218,28878
Polygon	122		66,250123	90	66,250123	173,946402	5962,511059
Polygon	123		51,412196	90	51,412196	126,429035	4627,097614
Polygon	79		60,490736	55	60,490736	198,073788	3326,990463
Polygon	61		69,622945	55	69,622945	160,007354	3829,262002
Polygon	23		39,775902	49	39,775902	97,026804	1949,019216
Polygon	36		140,988044	22	140,988044	781,437795	3101,736986
Polygon	45		73,516053	14	73,516053	242,585063	1029,224738
Polygon	253		91,82997	48	91,82997	319,088221	4407,838558
Polygon	319		21,078506	29	21,078506	25,105192	611,276673
Polygon	320		29,670089	29	29,670089	47,493912	860,432572
Polygon	327		14,733461	29	14,733461	13,560102	427,270364
Polygon	328		12,7895	29	12,7895	9,101543	370,895486
Polygon	329		27,139139	29	27,139139	42,867706	787,035025

FIGURA 79 – Coluna de Volume gerada na tabela de atributos

Após a existência de um arquivo com a geometria das projeções legalmente permitidas, a informação de altura das edificações e volume, foi então a etapa de cálculo de

volumes para as edificações existentes. Para esse cálculo foi rodado a ferramenta do *Polygon to Volume*.

Para fazer uma comparação volumétrica entre o construído e o legalmente permitido, foi necessário associar a informação de volume das edificações existentes aos lotes. Isso porque é necessário ter a informação de dos dois volumes na mesma tabela de atributos.

Para isso criou-se uma rotina a partir do Model Builder no qual as edificações são convertidas para feições da entidade ponto, e posteriormente é feito uma interseção entre os lotes e os pontos para conseguir associar mais de um ponto a um lote. O terceiro passo foi agrupar as informações de volumes que estão relacionadas a uma chave primária de lote (*dissolve*) e, por fim, relacionamento de tabelas a partir da localização espacial. Realizando esses passos, temos a informação de volumes existentes em cada um dos lotes.

Este processo é necessário para que exista uma transposição de valores entre primitivas gráficas considerando a localização geográfica para a emissão das informações de uma para outra. O uso do ponto é necessário para que seja possível associar os dados volumétricos das edificações para o polígono dos lotes.

Para colocar essa informação na tabela de atributos das edificações legalmente permitidas, foi feito novamente um relacionamento de feições por localização espacial (*Join Spacial*) entre os lotes e as Projeções das edificações do Plano Diretor.

Diante da existência dos dois volumes em um único arquivo que foi chamado de “edificações resultantes”, foi possível fazer uma subtração simples entre o volume que é permitido pelos parâmetros urbanísticos e o que existe de fato na cidade já construída. Os valores positivos são aqueles que correspondem a estoques construtivos e os valores negativos são onde existe um déficit. Vale registrar que o déficit nem sempre corresponde a uma infração as determinações do Plano Diretor, conforma já explicado anteriormente.

Houve alterações de zoneamento e de parâmetros ao longo dos anos, e o modelo não considera época de construção das edificações ou projetos especiais autorizados, o que pode ter ocorrido é que a edificação foi construída em uma época no qual era permitido aquele volume, mas com a alteração da legislação, o valor foi reduzido naquela área. O objetivo não é a fiscalização de legalidade, mas sim o apoio à tomada de decisões no se refere aos estoques construtivos e transformações volumétricas da paisagem da cidade.

Outro cálculo realizado na tabela de atributos do arquivo que foi denominado “edificações resultantes” foi o cálculo estimado da altura a partir da subtração dos valores de volume permitido pelo volume construído. Essa operação gerou a informação de volumes resultantes sendo que se o valor foi positivo, significa dizer que existe um estoque construtivo. Caso contrário, o valor é de déficit volumétrico.

Nesse momento, as geometrias de edificações existentes, edificações legalmente permitidas e edificações resultantes permitirão fazer a análise volumétrica na paisagem de Belo Horizonte.

Com isso, essas geometrias foram exportadas para um *file geodatabase* (banco de dados do CityEngine) e importadas para o geovisualizador. A partir da regra simples – a ser visualizada nos anexos - de *extrudar* (realizar o crescimento vertical) das edificações existentes, permitidas e resultantes a partir da coluna altura (figura 81a e 81b), foi possível modelar em um só formato de envelope as edificações existentes e permitidas para se entender os estoques construtivos e déficits existentes, conforme ilustrado a figura 82.



(a)



(b)

FIGURA 80 – Na figura A, as edificações em cinza são as existentes e as em amarelo representam os estoques construtivos. Na figura B, as edificações existentes estão em cinza e em vermelho os déficits volumétricos.



FIGURA 81 – Figura com as edificações existentes em cinza, os estoques construtivos em amarelo e os déficits em vermelho.

6 ANÁLISE DE PROPOSTA METODOLÓGICA

Para que o sistema realmente atenda hoje os valores pregados pelo geoprocessamento, é necessário que o mesmo modelo seja passível de replicação para outros locais. Isto significa ter critérios reproduzíveis e defensáveis. Isto significa, de fato, atuar em modelagem, que é a representação da realidade segundo um recorte temporal, espacial, conceitual e metodológico.

A construção de um Cadastro Territorial Multifinalitário é o passo inicial para ser possível construir a simulação de uma cidade. Ter a base de dados concisa e reunida em um único ambiente ou em um sistema devidamente relacionado é essencial para a aplicação de qualquer modelo de análise do geoprocessamento.

Nesse sentido, é necessário avaliar a proposta metodológica utilizada nessa tese uma vez que foram utilizados dados provenientes da tecnologia laser e dados já existentes para Belo Horizonte. É conhecido que a realidade de grande parte dos municípios brasileiros não possui dados espacialmente localizados e, em muitos casos, não há recursos para investimento em um voo a laser, ainda muito oneroso no Brasil.

6.1. Questionamento sobre possível mudança de procedimento

Essa etapa da tese é destinada a discutir opções mais viáveis para a elaboração de uma base cartográfica que seja possível para a grande maioria das cidades do país.

O primeiro passo é a obtenção dos dados de lotes e quadras, além do eixo das vias. No modelo ideal, a construção desses dados deve ser feita a partir de levantamento de campo por engenheiros agrimensores para garantir erros mínimos na montagem dos dados. O passo inicial seria a estruturação de uma rede geodésica de referência para, a partir dela, promover a correção dos produtos de aerolevanteamento. Em casos onde não é possível fazer o levantamento de campo ou investimentos em aerolevanteamento, a opção é a aquisição de imagens de satélite de alta resolução espacial georreferenciadas e ortorretificadas que podem ser adquiridas por um valor correspondente a aproximadamente 2% em relação ao aerolevanteamento.

A aquisição dessas imagens feita, é possível conseguir, através da vetorização da informação os dados de quadras, lotes e projeção das edificações. Cabe destacar que a qualidade cartográfica da simples vetorização de imagens de alta resolução não se compara ao ideal, que é o trabalho produzido a partir de aerofotogrametria. Mas para estudos mais expeditos, para avaliação mais genérica de distribuições volumétricas, é possível trabalhar de modo simplificado com imagens de satélite georreferenciadas e ortoretificadas. Para a vetorização das informações existem diversas opções de Sistemas de Informação Geográfica de livre domínio para a realização desse procedimento, como por exemplo, Gvsig, Terrasig/TerraView, Quantumgis e Ilwis.

Vale registrar que um passo de grande importância para auxiliar na montagem da base de dados espacialmente localizada foi dado a partir de uma iniciativa do Ministério das Cidades em parceria com as universidades de país através do projeto PROEXT, que tem como objetivo a capacitação de técnicos das prefeituras em geoprocessamento. Essa iniciativa permite não apenas criar a cultura de utilização de dados georreferenciados dentro das prefeituras, como promove o treinamento para a realização dos primeiros procedimentos para a aquisição, integração de dados e criação de novas informações para o Cadastro Territorial Multifinalitário.

Após a construção dos dados de quadras e o *download* do limite municipal disponível no site do IBGE, é possível aplicar a rotina para criação da informação de vias. Vale registrar que se houver o interesse e a disponibilidade de informações de nome do logradouro, direções e outras informações, é possível associar estes atributos ao dado gerado pela rotina proposta. Uma limitação da metodologia desenvolvida nessa tese é que o roteiro foi desenvolvido e baseada no *software* comercial da família ESRI, mas as ferramentas utilizadas podem ser encontradas no *software* QuantumGIS (exceto a etapa de modelagem paramétrica).

A grande dificuldade está realmente centrada na informação de altura das edificações. Foi realizado um novo teste para se verificar a possibilidade de aquisição das estimativas de altura através de outros métodos que excluam a necessidade do voo a laser. Uma das possibilidades que já reduz consideravelmente o valor de investimento é a tecnologia dos VANTS – Veículo aéreo não tripulado. O valor de investimento é cerca de 60% menor que um voo laser. Os produtos gerados a partir do vants são as imagens

ortofotos e a nuvem de pontos que permitem a elaboração de um modelo digital de superfície, conforme apresentado no trabalho de Traversari (2013).

Com base na metodologia apresentada no trabalho de Traversari, foi realizado gerado um teste para verificar se é possível fazer a detecção das projeções das edificações por classificação supervisionada a partir das imagens capturadas e calculo das alturas podem ser estimadas a partir do mesmo procedimento utilizado nessa tese para a nuvem de pontos. Foi feito um pequeno teste utilizando os dados provenientes de um voo realizado com Vants para a cidade de São Paulo. Esses dados foram cedidos pela prefeitura do município.

O primeiro passo foi à aquisição das imagens de alta resolução e fazer a extração das bordas das edificações a partir do filtro SOBEL de detecção de bordas. Foi necessário realizar a conversão do resultado para 2 bits e fazer o afinamento das bordas, figura 83. Esse procedimento foi realizado no software ERDAS.

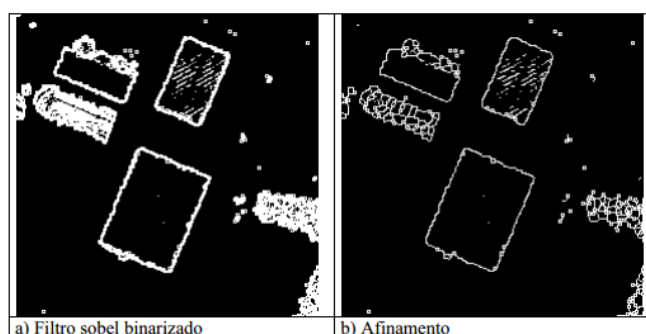


FIGURA 82 – Extração das projeções a partir da aplicação de filtros nas ortofotos

O resultado mostra bordas com bastante definição e delimitação. Algumas pequenas linhas que estão contidas nas projeções das edificações podem ser percebidas. Essa eliminação deverá ser finalizada após o processo de segmentação.

Para realizar a segmentação utilizando o método FNEA - *Fractal Net Evolution Approach* - são utilizadas a imagem resultante do produto do VANT e a imagem com bordas afinadas, adotando o mesmo peso para ambas.

No processo de segmentação pelo FNEA é necessário configurar alguns parâmetros como escala, topologia, forma, pois se baseia na classificação orientada a objeto.

(Figura 84). O FNEA baseia-se na ideia de que a imagem é de natureza fractal. A segmentação utiliza também o crescimento de regiões, como o Batacharrya³⁵, gerando polígonos com a variação de tonalidade dos tons de cinza de acordo com o valor determinado. Todavia, como se trata de uma segmentação orientada ao objeto, os demais parâmetros de forma, suavidade fazem com que as regiões geradas pela segmentação sejam mais bem delimitadas em relação aos objetos da imagem. Utilizou-se o *E-cognition* nesse processo. Porém, para este trabalho, onde estamos apenas avaliando outras possibilidades de aquisição dos dados de projeção e alturas estimadas, utilizamos o mesmo valor para os parâmetros de forma e variando um pouco as notas para os parâmetros de cor e forma. A escala foi um valor mais variável, pois no mesmo recorte metodológico que utilizamos existem objetos de diversos tamanhos.

<i>Nível hierárquico</i>	<i>Escala</i>	<i>Escala</i>		<i>Forma</i>	
		<i>Cor</i>	<i>Forma</i>	<i>Suavidade</i>	<i>Compacidade</i>
1	20	0,3	0,7	0,5	0,5
2	40	0,7	0,3	0,5	0,5

FIGURA 83 - Parâmetros utilizados em cada nível de segmentação

O resultado do processo de segmentação está exposto na Figura 85.

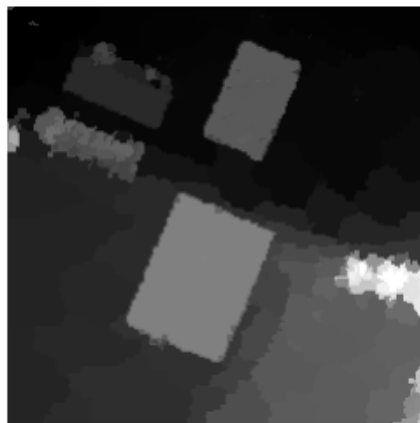


FIGURA 84 – Resultado da segmentação

O processo posterior foi a conversão dessa imagem gerada em vetores e a seleção das feições do tipo polígono geradas.

³⁵ Bhattacharya é um algoritmo de classificação supervisionado de imagens por regiões. O Algoritmo utiliza a distância de Bhattacharya para medir a separabilidade estatística entre cada par de classe espectral. A separabilidade é calculada através da distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais (Leão *et. al.*, 2007, p.940)

Em um segundo momento foi utilizado os dados da nuvem de pontos. A primeira etapa foi gerar um modelo digital de superfície para a verificação das edificações em terceira dimensão, figura 86.

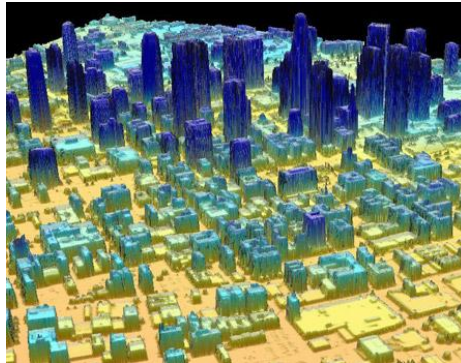


FIGURA 85 – Modelo Digital de Superfície (MDS) resultante do cálculo do Modelo Digital de Elevação (MDE) e das edificações em visualização 3D

Foi realizado o cruzamento as informações de projeções geradas a partir do processo de segmentação no *E-cognition* e o MDS, figura 87.

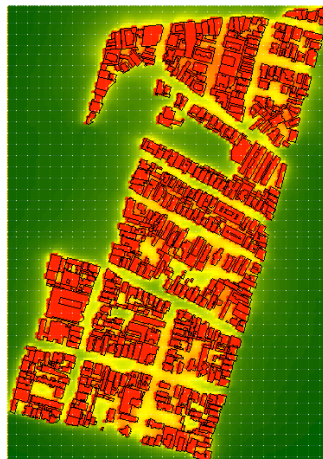


FIGURA 86 – Projeção das edificações com a nuvem de pontos

Foi realizado o mesmo procedimento já citado nessa tese para o cálculo estimado das edificações e preenchimento dessas informações na tabela de atributos. O resultado pode ser visto na figura 88.

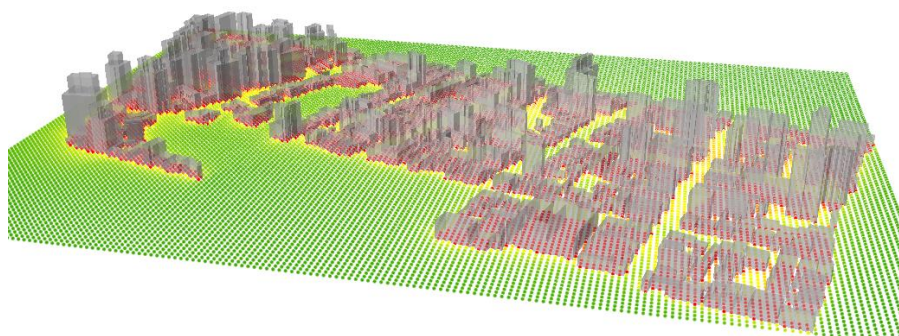


FIGURA 87 – Edificações em 3D a partir do cálculo da altura estimada

Segundo Axelsson (1999), essa tecnologia de aquisição de dados a partir de produtos oriundos dos VANTS tem acurácia e precisão de 50 centímetros.

Após o teste nessa área de estudo, confrontaram-se os dados de altura estimada com os dados reais disponibilizados pela Prefeitura de São Paulo. A partir dessa rotina, das 67 edificações existentes na área de estudo, 58 ficaram com o desenho igual ou similar e as demais precisaram ser refeitas a partir do processo de vetorização. A altura estimada teve um acerto em 93% das edificações.

6.2 Proposição de entrevista de avaliação com grupo de testes

As novas tecnologias muitas vezes provocam perturbações e mudanças nas práticas estabelecidas. No futuro, o uso de modelos de realidade virtual (VR) serão mais comuns e poderão facilitar o processo de planejamento da cidade, havendo a possibilidade de provocar mudanças na forma de como as atividades e papéis no processo do planejamento são realizados.

Nessa etapa é descrito o processo de avaliação dos efeitos de utilização um modelo tridimensional sobre o ponto de vista de diferentes profissionais. A execução de testes com pessoas de todos os graus da pirâmide hierárquica de usuários é a última etapa prevista para avaliar o ganho de informação dos modelos tridimensionais da paisagem urbana. O propósito desses testes é proporcionar um meio de verificar componentes individuais na modelagem propostos por grupos de usuários finais, e assim sistematizar

uma média de consensos para verificar se é possível criar um modelo comunicável ao maior número de usuários.

Existem diversas abordagens que são utilizadas para avaliar os erros em componentes específicos de um sistema/modelo, tais como entrada de dados, passagem de parâmetros, funcionamento da interface, entre outros (Sommerville, 2000).

Existem alguns grupos atuando em aplicação de PSS (*Planning Support System*) para apoio à tomada de decisões em processos de planejamento territorial, a exemplo do grupo SiTi, que trabalha com aplicativo InViTo (Pensa 2013). Não obstante, os métodos de análise de aplicativos em cartografia já foram bem mais explorados e revistos, o que justifica a escolha dessas referências para se avaliar o ganho de informação da geovisualização em modelos tridimensionais voltados para a gestão da paisagem urbana.

Os testes de qualquer *software* no seu processo de homologação, precisa responder à duas questões importantes:

1. O que queremos que seja testado?
2. Como realizar os testes?

Entendemos que será necessário avaliar três âmbitos: usabilidade, Interação, comunicação dos modelos 3D.

6.3.1 Usabilidade dos modelos tridimensionais

A principal razão para a utilização de modelagem 3D em planejamento urbano e construção de projeto é fornecer usuários o mesmo acesso visual ao espaço e para dar-lhes a possibilidade de espacialização do raciocínio sobre o projeto urbanístico e sobre a integração dos projetos arquitetônicos aos envelopes (parâmetros) especificados pelo planejamento urbano.

O entendimento das propostas urbanísticas através de modelos tridimensionais pode ser um processo menos complexo caso as pessoas não tenham que usar todos os seus recursos cognitivos na interpretação e manuseio no uso da interface. Trata-se da usabilidade do modelo. A usabilidade do modelo descreve a qualidade de uso de uma

interface (BEVAN, 1998). Essa é uma qualidade importante, pois interfaces com usabilidade aumentam a produtividade dos usuários, diminuem a ocorrência de erros (ou a sua gravidade) e, não menos importante, contribuem para a satisfação dos usuários. Buscando explicitar em que consiste a usabilidade como um elemento da “utilidade” e da “aceitação prática”, Nielsen (1993, p.53) coloca os seguintes componentes:

- Fácil de aprender;
- Eficiente no uso;
- Fácil de ser lembrado;
- Resulta em poucos erros;
- É agradável.

Em modelos 3D o movimento simulado (os deslocamentos dos eixos visuais) apresenta o espectador a percepção abrangente e necessária de profundidade e, conseqüentemente, proporciona a capacidade de perceber o ambiente urbano virtual. Em contraste, as perspectivas de imagens estáticas comunicam apenas parte da imagem, alguns objetos podem ficar fora de análise ou um ponto de vista em particular pode distorcer o tamanho e a posição de determinados objetos. Por isso, uma sensação de espaço requer a apresentação de, pelo menos, dois ou mais perspectivas ou a capacidade de navegar interativamente através do modelo (BUZIEK, 2000; LANGE, 2005).

Sarjakoski (1998) argumentou que a utilidade de se usar 3D no planejamento urbano e nos processos de aprovação de edificações é favorecer que outros atores da cidade participem através do compartilhamento de informações. Por exemplo, existem pelo menos quatro grupos profissionais e / ou partes interessadas envolvidas no processo de planejamento da cidade (Hall e Tewdwr –Jones, 2010):

- Os planejadores da cidade que trabalham para as autoridades
- Arquitetos / planejadores de trabalho para clientes
- Os próprios clientes
- O público em geral

A colaboração entre as diferentes partes interessadas quando se utilizam sistemas de computador é muitas vezes denominado “trabalho cooperativo suportado por computador” (CSCW). O CSCW permite colaboração entre diferentes atores com diferentes níveis de conhecimento e com agendas díspares (Fischer, 2000; Arias et al, 2000).

Al Kodmany (2002) analisou diferentes tipos de ferramentas de visualização e métodos de planejamento da comunidade e descobriu que para cada um dos contextos é necessário uma ferramenta de visualização, mas que a modelagem 3D oferece oportunidades para análise de dados e compreender os diferentes problemas que não são fornecidos por métodos tradicionais. Este tipo de colaboração visa trazer um entendimento comum do problema entre as partes interessadas, e pode levar a novos insights, ideias e construção de conhecimento (Fischer, 2000; Arias et al, 2000).

O CSCW pode ser utilizado para ajudar os grupos a tomarem decisões e chegar a um consenso. Neste contexto, é necessário um aplicativo que permita uma facilidade de utilização por parte de diversos usuários tornando o modelo tridimensional de fácil usabilidade. Nesse sentido, foi proposto o teste com o *Webscene* como um quadro comum de referência para favorecer a comunicação e a compreensão da paisagem.

6.3.2 Interação dos modelos tridimensionais

Interação e navegação em um modelo tridimensional é uma questão problemática. É também muito importante para que esses modelos sejam mais amplamente aceitos e difundidos. A grande dificuldade está nos aplicativos disponíveis para a modelagem paramétrica da ocupação do território. Ainda trata-se de aplicativos muito específicos e especialistas para o manuseio de todos os tipos de usuários.

Sunesson et al. (2008) afirmam que as pessoas, dentro dos processos de planejamento urbano, são muito positivas sobre o uso do meio de modelos tridimensionais durante as reuniões, quando um facilitador de TI e o navegador estão lá para ajudar. Mas, devido à manipulação complexa de interação, os usuários não têm qualquer interesse em navegar por si só. É necessário então, nesse tipo de teste, não sobrecarregar os usuários com tarefas de navegação.

Nas palavras de Ware e Plumlee (2005) "se a própria navegação demora muito tempo e consome significativos recursos cognitivos, isso vai deixar menos recursos para a tomada de decisão." Defendemos, diante do exposto, o teste de interação ativo orientado em realidade aumentada, proposto por Conniff et al (2010). Nessa proposta o autor argumenta que os usuários devem ser inseridos na paisagem e que os comandos de deslocamento sobre a paisagem, feitos através de mouse ou teclado, devem ser guiados por um navegador ou mesmo o avaliador do modelo.

Essa forma de avaliação permite uma melhor percepção, memória e conhecimento espacial bem como realismo e sensação de presença (BROOKS et al., 1999; CHRISTOU e BULTHOFF, 1999, KOH et al. 1999; LARSSON et al., 2001, PERUCH e GAUNET, 1998; WILSON e WILDBUR, 2004).

Nesse sentido, um grupo foi convidado para participar de um workshop de imersão em uma sala de navegação virtual para navegarem pelo espaço modelado.

6.3.3 Comunicabilidade e Aplicabilidade

Os testes de comunicabilidade também devem ser executados em laboratório. O seu objetivo é avaliar a qualidade da comunicação entre o projetista e o usuário:

Communication and the understanding of information is dependent on the context in which the information is presented and the background, e.g. gender, education, social condition and the natural surroundings, of the senders and receivers (BERLO, 1960, p. 37).³⁶

No processo de *design* um arquiteto ou planejador tenta criar uma imagem 3D mental do espaço em sua mente e, em seguida, tenta converter esta imagem mental em um conjunto de planos que são a representação de como o novo ambiente ficaria na realidade. A tarefa seguinte para o arquiteto é o processo de codificação de projetar o

³⁶ “Comunicação e a compreensão da informação depende do contexto no qual a informação é apresentada e contexto das pessoas, por exemplo, sexo, escolaridade, condição social e do ambiente natural, dos emissores e receptores” (Tradução Livre).

espaço tridimensional da mente em um meio bidimensional, como esboços, desenhos técnicos ou desenhos em perspectiva (BILDA e GERO, 2005). Uma hipótese é que este pode ser difícil e pode dar origem a informações imprecisas ou ambíguas resultando em desencontros (LOGIE, 1995). Uma vez que a informação é criada e transmitida para o receptor de informação, que está a critério do receptor para interpretar seu significado. A forma como o arquiteto codifica a informação e a forma como o receptor decodifica a informação podem influenciar os resultados pretendidos, como mostra a figura 89.

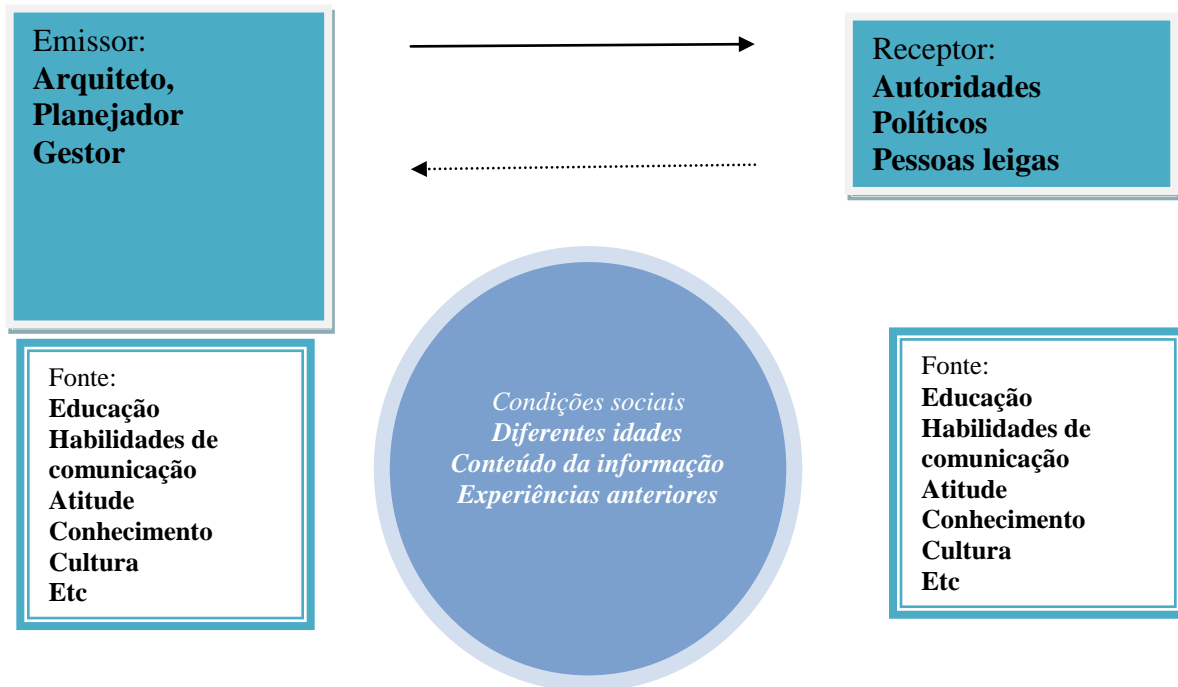


FIGURA 88 - Ilustração simplificada de como diferentes contextos e configurações podem influenciar o comunicação e discussão entre a fonte e o receptor

Fonte: BERLO, 1960, p. 89.

Se o receptor decodifica e compreende as informações da forma como foi criada existe uma grande possibilidade de discussões e *feedback* sobre o processo de *design*:

In some cases the architect/source can consciously omit parts of schemes that are not fully designed and even hide areas of schemes behind carefully placed trees and other features or use a non-realistic perspective to his/her advantage. The receivers/jury members can decode and create different mental images of the proposal than what the architect may or may not have had in mind (SVENSSON et. al, 2006).³⁷

³⁷ “Em alguns casos, o arquiteto pode conscientemente omitir partes dos esquemas que não são totalmente concebidos e até esconder áreas de desenho cuidadosamente por trás árvores ou usar de uma perspectiva

É com base nessas lógicas que o teste de comunicabilidade visa buscar entender como acontece o processo de decodificação da informação, para facilitar a comunicação entre designers e atores da cidade em melhor utilização de recursos tecnológicos como apoio a tomadas de decisão.

No caso de testes de comunicabilidade, a gravação da interação do usuário com o modelo durante o teste é necessária, pois a análise é feita principalmente a partir deste registro. Além das anotações do observador durante o teste, as gravações em vídeo também podem ser feitas para enriquecer os dados, o que permite a verificação da reação do usuário relativa a algum trecho da interação.

Nesse teste são mostrados para o grupo de testes alguns vídeos gravados previamente, para se verificar o ganho de comunicação que os modelos tridimensionais trazem para a gestão da paisagem urbana.

A análise é dividida em três etapas, seguindo a proposição de Prates et al., (2000): Etiquetagem, Interpretação e Perfil Semiótico.

a) Etiquetagem: Consiste em assistir às gravações da interação e atribuir a expressão de comunicabilidade. Descreveremos alguns conjuntos de expressões, seus significados e algumas ações de interface que caracterizam cada uma delas.

- É isso mesmo? – O usuário se surpreende com a resposta demonstrada pelo vídeo.

- Eu já imaginava... – O usuário tem clareza entre as interpretações abstratas e relativas do espaço.

- Hum?! – O usuário não entende/concorda com o resultado apresentado.

Para conseguir determinar o conjunto de expressões e ações, é importante observar o usuário e fazer anotações ou mesmo gravar as feições do usuário através de uma webcam. É indispensável fazer anotações sobre suas ações no momento do teste para determinar qual o problema na comunicação e conseguir ajustar os ruídos.

não-realista a sua vantagem. Os membros receptores podem decodificar e criar diferentes imagens mentais da proposta do que o arquiteto pode ou não ter tido em mente” (Tradução Livre).

b) Interpretação: Consiste em tabular e consolidar a informação obtida, ou seja, as expressões obtidas, associando-as a classificações de problemas de interação ou diretrizes de design.

A classificação genérica define os problemas de interação como: dificuldades de navegação, ruído na definição de significado, percepção, impossibilidade ou erros de execução da tarefa e incompreensão ou recusa da resposta apresentada.

c) Perfil Semiótico: Consiste em interpretar os dados resultantes do passo anterior, dentro do quadro teórico da semiótica na tentativa de se reconstruir a meta-mensagem sendo transmitida pelo designer ao usuário através da interface.

Através da tabulação dos resultados, esse último passo acrescenta à avaliação problemas identificados de decodificação da linguagem 3D e na percepção do espaço podendo fazer considerações sobre possíveis premissas de design e conhecimentos táticos utilizados.

Essas informações coletadas no teste permitiram verificar o nível de compreensão sobre a paisagem existente e sobre a paisagem modelada. Esse resultado permitirá entender se os modelos tridimensionais possuem a aplicabilidade nas tomadas de decisão como se acredita até essa etapa da tese.

6.3.4. Escolha do grupo de testes

Foram escolhidas pessoas cujas atividades estão relacionadas com o processo do planejamento/gestão urbano e possuem um maior envolvimento com as questões da cidade. Dentro dessa ideia, foram selecionadas cinco pessoas que fazem parte do meu círculo profissional e que estavam disponíveis para a realização dos três testes propostos. Foram selecionadas pessoas que possuem diferentes níveis de acesso à tecnologia, de percepção do espaço e de construção de mapas mentais:

- 1 Estudante de urbanismo/geografia
- 1 Urbanista relacionado às questões de legislação
- 1 Urbanista que trabalha diretamente com projetos
- 1 Empreendedor de construtora – Engenheiro e Administrador de empresas
- 1 Cidadão integrante de uma associação de bairros – 2º grau completo.

Os testes tiveram início na última semana de janeiro de 2014. Um fator limitador para a realização dos testes é que o ambiente de visualização tridimensional do tipo caverna digital disponível para locação nesse período foi o da Poli-USP, exigindo que a quantidade de pessoas a participar do teste fosse limitada para que não onerasse muito a realização do mesmo.

6.4. Realização dos testes

Foi definido a realização de três testes diferentes para avaliar as questões de usabilidade, comunicabilidade e interação. Para entender o real papel e ganho de informação dos modelos tridimensionais para o planejamento urbano e a forma de tornar essa tecnologia acessível aos atores envolvidos no processo. Os dois primeiros testes foram realizados a partir de interações homem & máquina, por solicitações que os entrevistados usassem o computador a partir de uma lista de tarefas. O terceiro teste, de interação, foi feito pessoalmente na caverna virtual da USP, com a presença dos cinco integrantes do grupo.

O objetivo foi verificar qual a melhor plataforma em termos de acessibilidade, facilidade de manuseio, valores, entre outros, para tornar os dados da modelagem auxiliares nos processos de tomada de decisões compartilhadas. Para isso foram empregados três roteiros metodológicos, para cada um dos testes, para investigação de qual teria a maior aceitação e ganho de informação.

Optou-se por utilizar a mesma metodologia proposta por Santana (2009) para realização dos testes de usabilidade e comunicabilidade fazendo as devidas adaptações para as necessidades desse modelo.

O primeiro passo após a seleção de usuários foi instruí-los sobre como realizar o teste a fim de se evitar resultados tendenciosos ou produtos de falta de compreensão. Houve o envio da lista de atividades por e-mail com arquivos de instalação de três programas no computador local onde seria realizado o teste, e um link direcionando para um dos três servidores de hospedagem em que o usuário faria a prova.

Com os aplicativos de filmagem instalados, foi solicitado que os usuários iniciassem o cronômetro e começassem a executar as tarefas. Após a finalização de cada uma das tarefas os usuários davam uma pausa no cronometro. Após a realização de todas as tarefas, o colaborador respondia ao questionário, fazia os comentários verbais e enviava por *email* todos os arquivos da filmagem, cronometro etc.

As respostas para o quesito comunicabilidade foram obtidas pela interpretação do comportamento do usuário frente às tarefas, através de uma câmera que estava filmando toda a atividade. As respostas do teste de usabilidade foram extraídos da informação de tempo de execução das atividades, grau de assertividade e comentários verbais para cada uma das perguntas colocadas.

Para o teste de interação, os resultados puderam ser compilados a partir das respostas nos questionário entregue aos participantes e das anotações feitas pela avaliadora *in loco*.

6.4.1. Teste de Usabilidade

Para a realização do teste de usabilidade, os modelos de cidade construída e cidade legalmente permitida foram exportados do CityEngine em formato Collada³⁸. Esses modelos exportados são inseridos na plataforma proprietária do CityEngine online. O webscene disponibilizado a partir da plataforma CityEngine ainda está em fase experimental pelo fabricante do *software*. A última versão do sistema permite algumas alterações no código que viabilizam a inserção de botões para a mudança dos parâmetros (Figura 90).

38 Padrão de exportação de arquivos tridimensionais criados pela Sony que significa *COLLABorative Design Activity*.

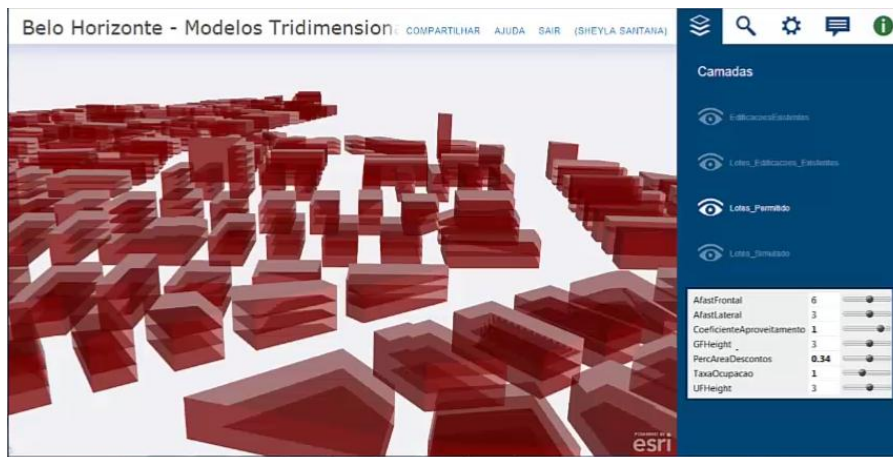


FIGURA 89 – Visualização das duas cenas da cidade no WebScene

O primeiro teste foi para ver se o aplicativo e o modelo podem ser utilizados e explorados por pessoas não especialistas em internet/geoprocessamento. Foi solicitado a execução das seguintes atividades.

- Deixe visível apenas a cidade construída.
- Navegue até a porção central da cidade pela seleção de zoom pré-configurado
- Ligue a visualização texturizada.
- Deixe visível apenas a cidade legalmente permitida
- Altere o parâmetro de coeficiente de aproveitamento para 0,8
- Altere a taxa de ocupação para 0,5
- Deixe visível a cidade construída e a cidade legalmente permitida simultaneamente.
- Navegue pela cidade com o cursor livre
- Vá para a Pré-visualização 2. Altere os parâmetros do coeficiente de aproveitamento para 1,7. Você permitiria essa alteração para esse ponto da cidade?

O ambiente configurado com a instalação dos três *softwares* apresentado no item 6.4 permitiu que fossem gravados a interação homem/máquina enriquecendo o resultado dos testes. A gravação das telas (ferramenta utilizada na produção de vídeo aula) e o cronômetro digital que você vai dando cortes no tempo à medida que termina a tarefa para contar o tempo despendido de cada atividade foram importantes para verificar a facilidade de uso da interface bem como o entendimento do modelo.

Após a execução das tarefas, pediu-se um comentário verbal sobre a utilização do software, seus pontos críticos e relevantes, além de responder as perguntas:

- A interface é fácil de usar?
- A interface é fácil de entender?
- Você avalia que o ambiente é exploratório?
- Os modelos tridimensionais auxiliam no ganho da informação?
- O modelo tridimensional corresponde com a sua percepção da cidade?

Pediu-se para todos os usuários irem verbalizando seus pensamentos durante a execução do teste para que a avaliadora pudesse compreender melhor as feições de cada usuário.

Trechos do teste de usabilidade podem ser visualizado através do CD nos apêndices.

6.4.2. Teste de Interatividade

O teste de interatividade foi realizado em um ambiente de visualização denominado CAVE - Cave Automatic Virtual Environment conforme ilustra imagem 91.

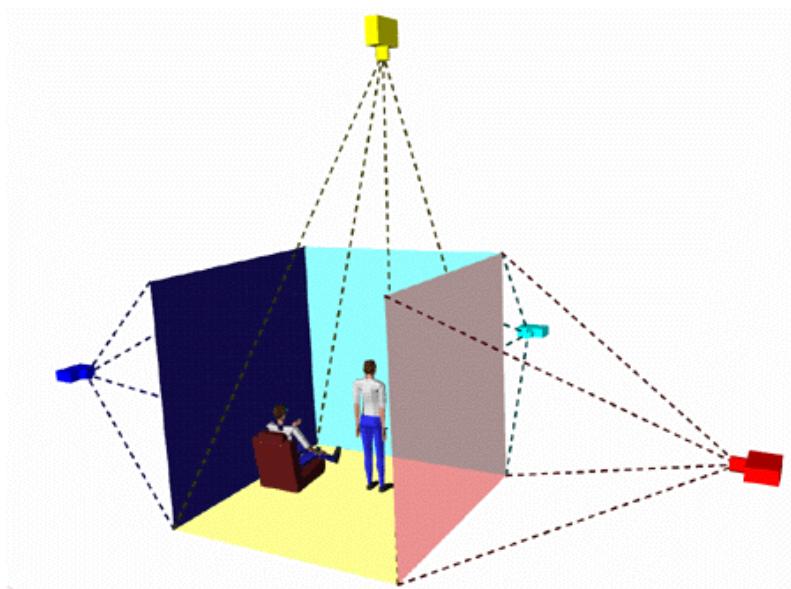


FIGURA 90 – Ambiente de visualização – CAVE
Fonte: USP, 2013, p. 2.

A caverna digital utilizada é uma infraestrutura da escola politécnica da USP no núcleo de realidade virtual do laboratório de sistemas integráveis. Esse ambiente visual é

conhecido em outros países como *Cave Automatic Virtual Environment* ou como *Cube*. A Caverna da USP começou a ser construída em 2000 e desde 2002 já vem recebendo diversas pesquisas de diferentes áreas do conhecimento para testes, especialmente aqueles que estão relacionados as interações homem-computador.

O grande benefício da caverna digital é que ela permite um ambiente totalmente imersivo tridimensional uma vez que as telas ficam expostas nas quatro paredes da sala. O ambiente é totalmente preparado com caixas de som estéreo e equipamentos de force *feedback* (*joysticks*) para a pessoa que está comandando a navegação. Por esses motivos é possível dizer que é um sistema de realidade virtual com alto envolvimento e interação com os usuários.

Para ser possível gerar esse ambiente de visualização imersivo, mais de 20 computadores trabalham simultaneamente em cluster permitindo um desempenho gráfico de alta qualidade. Trata-se de um dos poucos ambientes de realidade virtual dessa natureza no Brasil e já vem podendo ser utilizada através de convênios ou locação do espaço.

A projeção de imagens por trás de todas as paredes permite a imersão dos participantes no espaço tridimensional modelo, conforme ilustra a figura 92.



FIGURA 91 – Ambiente virtual da CAVE

Foi realizada uma simulação de caminhar pela cidade construída e posteriormente pela cidade legalmente permitida. No início do teste foi entregue um questionário para cada um dos integrantes com as seguintes perguntas para serem respondidas ao longo da navegação ativa controlada.

- 1 – Em qual porção da cidade você está? – essa pergunta foi feita para avaliar o conhecimento da cidade por parte dos participantes.
- 2 – A sua percepção da cidade obtida a partir do ambiente de imersão é o mesmo que a sua percepção da cidade *in loco*? – Essa pergunta foi feita após a explanação do local exato da cidade que estávamos navegando.
- 3 – O Plano Diretor autoriza 1,0 (100%) de Taxa de Ocupação e 1,0 (100%) de Coeficiente de Aproveitamento nesse local. Você sabe o volume que isso resultaria? – Nesse passo alteramos a visualização da cidade construída para a cidade legalmente permitida mostrando os envelopes autorizados.
- 4 – Você considera esses novos volumes um resultado paisagístico coerente com os seus anseios para a cidade?
- 5 – Você imaginava que as alterações paisagísticas seriam nessas proporções? – Ligamos a visualização dos dois volumes (construída e legalmente permitida) para ficar visível a alteração resultante na paisagem.
- 6 – Vamos para um ponto específico no bairro. Você permitira a alteração dos parâmetros que resultassem nessa modificação na paisagem? (Foi alterado o Coeficiente de Aproveitamento para 1,7)

Foi solicitado que os integrantes respondessem a esse questionário no momento da vivência de imersão no ambiente de visualização.

6.4.3. *Teste de Comunicabilidade*

O teste de comunicabilidade foi realizado a partir de filmes e questionário elaborados previamente e enviados para os participantes. Esse teste foi realizado a partir de um ambiente controlado com gravação de telas, de expressões e gravação de voz dos participantes. Foi dada a opção de realização dos testes no ambiente selecionado pelo

próprio usuário, nesse caso ficou a cargo do participante receber e instalar o três softwares indicados no ponto 6.4, ou realizar o teste no ambiente preparado pela avaliadora em uma sala de aula com o ambiente já todo configurado.

Após a preparação do ambiente, os usuários começaram a responder o questionário. A lista de atividades foi:

- 1 - Veja a tabela de parâmetros do Plano Diretor. Desenhe o envelope que você acredita que esses parâmetros resultarão em um lote de 1000m². Veja o filme chamado ZAR-2 para ver a sua resposta se assemelha ao resultado modelado.
- 2 – Imagine que você esta na Avenida Raja Gabaglia ao lado do Casa Raja Shopping Shopping. Escolha o Skyline que mais se assemelha ao do Bairro Buritis. Abra o filme Buritis. Veja se a sua percepção do espaço é a mesma do modelado.
- 3 – Veja o mapa que identifica a localização do filme ZAP. Abra o filme ZAP. Veja o espaço urbano construído e o espaço urbano autorizado. Coincide com o que você espera para a cidade?
- 4 – Veja a imagem da Rua Netuno. Você autorizaria a mudança de parâmetros de coeficiente de aproveitamento para 1,7? Abra o filme Rua Netuno e veja a resposta volumétrica que isso daria.

Após a finalização das três tarefas, os usuários compactaram os arquivos gerados e enviaram para a avaliadora compilar os resultados dos três testes realizados.

6.4.4. Compilação dos resultados

Após o recebimento dos dados de todos os testes, iniciou-se a etapa de compilação para interpretação e entendimento do ganho de informação proporcionado pela metodologia proposta.

Usabilidade

Os primeiros resultados tabulados e avaliados foram relacionados ao teste de usabilidade da interface WebScene para verificar se os modelos tridimensionais podem ser utilizados como ferramenta para os diversos tipos de usuários. A existência de uma interface de fácil utilização é essencial para o processo de inserção dessa tecnologia dentro de instituições e empresas para auxílio na tomada de decisões.

A partir das tarefas solicitadas para a realização, o tempo médio de execução das atividades e o êxito na concretização das atividades mostraram que a interface precisa de alguns aperfeiçoamentos, mas já trás uma boa resposta em termos de usabilidade, como mostra a figura 93.

Tarefas	Tempo médio de Execução	Número de Usuários que Conseguiu	Número de Usuários que não Conseguiu
Deixe visível apenas a cidade construída.	60 segundos	5	0
Navegue até a porção central da cidade pela seleção de zoom pré-configurado	94 segundos	4	1
Ligue a visualização texturizada.	78 segundos	5	0
Deixe visível apenas a cidade legalmente permitida	60 segundos	5	0
Altere o parâmetro de coeficiente de aproveitamento para 0,8	107 segundos	3	2
Altere a taxa de ocupação para 0,5	92 segundos	4	1
Deixe visível a cidade construída e a cidade legalmente permitida simultaneamente.	50 segundos	5	0
Navegue pela cidade com o cursor livre	60 segundos	4	1
Vá para a Pré-visualização 2. Altere os parâmetros de Coeficiente de Aproveitamento para 1,7. Você permitiria essa alteração para esse ponto da cidade?	70 segundos	4	1

FIGURA 92 – Tabela com os resultados do teste de usabilidade

Ficou claro que algumas execuções semelhantes demoraram mais tempo para ser realizadas e permitiram o aprendizado para as atividades seguintes, como foi o caso de alteração do parâmetro do coeficiente de aproveitamento no último item do teste. Pode-se perceber que foram gastos muitos segundos para a realização da tarefa e apenas duas pessoas conseguiram realizar com sucesso. A tarefa seguinte de alteração da taxa de ocupação, que é uma execução semelhante em termos de funcionamento na interface, foi realizada em menor tempo e mais usuários conseguiram finalizar com êxito. Mesmo as tarefas de maior complexidade, gastaram, no máximo, cinco minutos.

As dificuldades de usabilidade na interface aconteceram, em sua maioria, por parte do usuário que é morador da cidade e integrante da associação de bairros. Acredita-se que a

sua dificuldade está associada não apenas a utilização desse sistema especialista em si, mas a sua restrição na utilização de computadores e internet.

Em relação às perguntas que foram feitas, chegou-se aos seguintes resultados:

A interface é fácil de usar?

- Estudante de urbanismo/geografia
 - No começo parece um pouco difícil, mas é uma interface intuitiva que te permite à exploração dos dados. É necessário ter uma facilidade no manuseio de ferramentas básicas. A grande dificuldade é o poder de abstração para interpretar os dados 3d.
- Urbanista relacionado às questões de legislação
 - Interface um pouco intimidadora inicialmente, É necessário um tempo para conseguir entender as funções e as respostas dadas. É necessário uma ajuda adequada para a operacionalização plena do sistema.
- Urbanista que trabalha diretamente com projetos
 - Interface fácil de usar uma vez que tem sempre as dicas quando posiciona o mouse em cima de uma ferramenta. Isso auxilia no entendimento de para que serve cada ferramenta.
- Empreendedor de construtora
 - Interface simples e fácil de mexer. Assemelha-se aos conceitos de camadas de outros aplicativos como o Autocad e GIS.
- Cidadão integrante de uma associação de bairros
 - Interface complicada. É necessário um treinamento prévio para saber em que botão clicar.

A interface é fácil de entender?

- Estudante de urbanismo/geografia
 - Todas as ferramentas tem as dicas que permite você entender rapidamente para que serve cada botão.
- Urbanista relacionado às questões de legislação
 - É necessário uma ajuda adequada para a operacionalização plena do sistema.

- Urbanista que trabalha diretamente com projetos
 - Interface fácil de usar uma vez que tem sempre as dicas quando posiciona o mouse em cima de uma ferramenta. O desenho das ferramentas também segue um padrão comum.
- Empreendedor de construtora
 - Interface simples e fácil de entender.
- Cidadão integrante de uma associação de bairros
 - Interface difícil de entender.

Você avalia que o ambiente é exploratório?

- Estudante de urbanismo/geografia
 - Sem dúvidas. Depois que você entende o objetivo da aplicação e os dados modelados, o ambiente é super propício.
- Urbanista relacionado às questões de legislação
 - Sim. Após entender a interface, o ambiente é exploratório sim. Podia ser possível alterar outros parâmetros.
- Urbanista que trabalha diretamente com projetos
 - Super exploratório. A possibilidade de alteração dos parâmetros e verificação dos envelopes é sensacional. Poderia ser possível fazer mais modificações no modelo.
- Empreendedor de construtora
 - Com certeza. É um ambiente muito interessante para auxiliar na tomada de decisões e compreensão dos dados tabulares dos parâmetros urbanísticos.
- Cidadão integrante de uma associação de bairros
 - O ambiente é exploratório sim, mas torna-se ainda mais eficiente se for guiado por um usuário mais avançado.

Os modelos tridimensionais auxiliam no ganho da informação?

- Estudante de urbanismo/geografia
 - Com certeza. Eu nunca imaginaria os volumes que são permitidos para Belo Horizonte se não pudesse ver em 3D.
- Urbanista relacionado às questões de legislação

- Sim. Até mesmo os técnicos da prefeitura precisam de instrumentos que permitam visualizar o que está sendo proposto. Muitas vezes sabemos o volume que irá resultar, mas não no contexto da cidade.
- Urbanista que trabalha diretamente com projetos
 - Fiquei surpreso com o ganho de informação. Auxilia e muito no entendimento dos dados de parâmetros urbanísticos do Plano Diretor.
- Empreendedor de construtora
 - Sim. É muito comum ver que profissionais de arquitetura e mesmo os técnicos da prefeitura não conseguem visualizar realmente o que estão propondo. É inclusive com base nisso que as construtoras acabam se beneficiando na hora de propor e aprovar seus projetos.
- Cidadão integrante de uma associação de bairros
 - Com certeza. Nunca imaginaria que era essa cidade aí que está proposta no Plano Diretor de Belo Horizonte.

O modelo tridimensional corresponde com a sua percepção da cidade?

- Estudante de urbanismo/geografia
 - É incrível perceber que não percebo nada da cidade.
- Urbanista relacionado às questões de legislação
 - Em alguns casos sim e em outros não. Muitas vezes não prestamos a devida atenção quando estamos passando pela cidade. Depois que realizei esse teste fui até o Santa Lúcia para ver o que está acontecendo por lá.
- Urbanista que trabalha diretamente com projetos
 - Sim. Acredito ter uma boa percepção da cidade e pude reconhecer todos os locais que visitei virtualmente.
- Empreendedor de construtora
 - Sim.
- Cidadão integrante de uma associação de bairros
 - Em muitos casos não. Não consegui reconhecer praticamente nenhum lugar que visitei virtualmente.

Você utilizaria uma ferramenta como essa para auxiliar no seu dia a dia de trabalho?

- Estudante de urbanismo/geografia
 - Se eu for trabalhar com aprovação de projetos, com certeza.
- Urbanista relacionado às questões de legislação
 - Sim, como uma ferramenta de suporte em conjunto com outras metodologias já utilizadas hoje.
- Urbanista que trabalha diretamente com projetos
 - Sim. Não podemos ficar com essa?
- Empreendedor de construtora
 - Acredito que hoje todos os envolvidos em construtoras consegue fazer todos esses cálculos e extrair a informação dos envelopes permitidos a partir dos parâmetros mesmo, mas sem dúvidas uma ferramenta como essa auxiliaria.
- Cidadão integrante de uma associação de bairros
 - Acredito que pode sim ser uma ferramenta dentro das associações que permita mostrar o que está sendo proposto para a nossa cidade. Seria necessário capacitar uma pessoa para fazer isso e ver como seria a atualização dos dados, mas tem um potencial para nos auxiliar nas lutas pela nossa cidade.

Diante dessas informações, fica claro que a interface ainda precisa passar por avanços e permitir outras alterações de parâmetros, mas ficou entendido que o resultado indicou que existe um grande ganho de informação. Os usuários se mostraram abertos à utilização de ferramentas como essa no auxílio da tomada de decisões.

Imersão e Interatividade

O segundo teste realizado foi o teste de interação. Esse teste foi realizado através de um workshop feito na caverna virtual da USP para facilitar na visualização e interpretação dos dados abstratos dos parâmetros urbanísticos em dados contextualizados dentro da cidade, como descrito anteriormente.

Foi selecionado a área do bairro Santa Lúcia devido ao fato de ser uma área que vem passando por grandes transformações na paisagem. Os integrantes assistiram uma pequena apresentação sobre os conceitos de realidade virtual e aumentada para contribuir ainda mais a experiência que estava sendo apresentada.

Após essa primeira explanação, os integrantes se reuniram no centro da sala para iniciarmos a simulação. O roteiro da navegação foi conduzido de tal forma que os usuários pudessem responder ao questionário para testarmos o ganho de informação quando submersos no espaço modelado.

A resposta para o questionário foi:

Em qual porção da cidade você está? – Essa pergunta foi feita para avaliar o conhecimento da cidade por parte dos participantes.

- Estudante de urbanismo/geografia
 - Bairro Santo Antônio
- Urbanista relacionado às questões de legislação
 - Bairro Santa Lucia
- Urbanista que trabalha diretamente com projetos
 - Bairro Santa Lucia
- Empreendedor de construtora
 - Estou em duvida entre Buritis e Santa Lucia
- Cidadão integrante de uma associação de bairros
 - Bairro Castelo.

A sua percepção da cidade obtida a partir do ambiente de imersão é o mesmo que a sua percepção da cidade in loco – Essa pergunta foi feita após a explanação do local exato da cidade que estávamos navegando.

- Estudante de urbanismo/geografia
 - Não, quando não temos as texturas e a análise e feita sobre a perspectiva de volumes fica bem difícil ter a percepção.
- Urbanista relacionado às questões de legislação

- Não. Estamos a par das autorizações concedidas para o bairro e devido ao crescimento imaginei que pudesse ser, além de ter morado no bairro e conheço a conformação das ruas – que me ajudaram a saber a localização. De qualquer forma, nunca imaginei que as autorizações permitiriam uma mudança tão brusca na paisagem.
- Urbanista que trabalha diretamente com projetos
 - Sim. Venho acompanhando o crescimento do bairro.
- Empreendedor de construtora
 - Sim. Apesar de ter ficado em dúvida sobre o local exato, o que chama a atenção é a mudança volumétrica e as alterações na paisagem no sentido da verticalização.
- Cidadão integrante de uma associação de bairros
 - Acredito que a percepção é de um lugar em franca expansão com o crescimento de muitos prédios. Isso está acontecendo em tantos lugares da cidade que fica difícil saber onde exatamente que é. Mas agora que você falou, consigo sim perceber o modelo relacionando com as alterações que estão acontecendo por lá.

Após informar o local e navegarmos pela cidade real, foi apresentado fotos dos pontos visitados no modelo, conforme mostra figura 94.

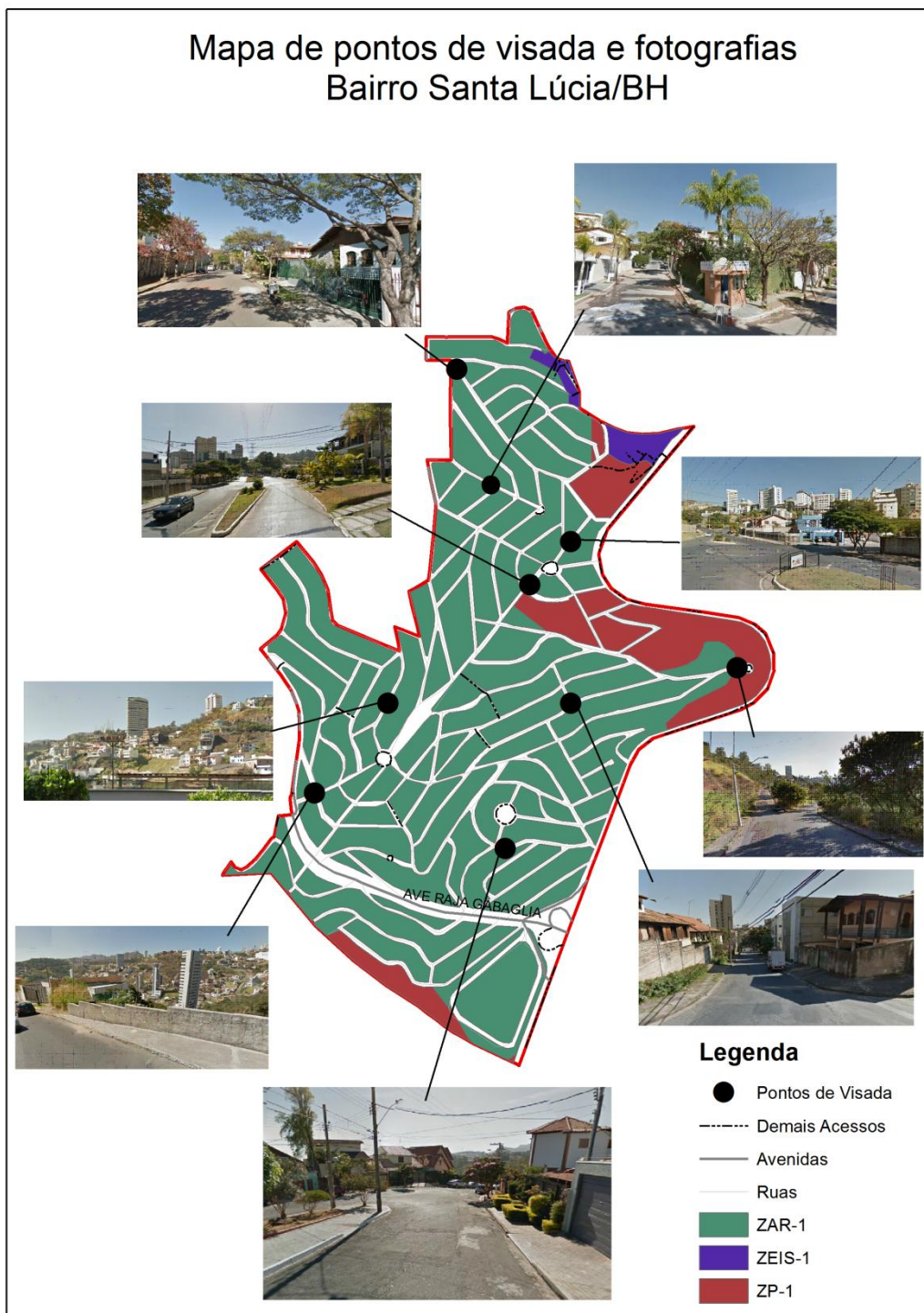


FIGURA 93 – Mapa dos pontos visitados e da visibilidade local a partir de fotos desses locais

Todos os participantes, ao ver as fotos à medida que estavam posicionados no mesmo local no modelo, disseram que existe um enriquecimento no processo de criação de mapas mentais.

O plano diretor autoriza 1,0 de taxa de ocupação e 1,0 de coeficiente de aproveitamento nesse local. Você sabe o volume que isso resultaria? – Nesse passo alteramos a visualização da cidade construída para a cidade legalmente permitida mostrando os envelopes autorizados.

- Estudante de urbanismo/geografia
 - Definitivamente não.
- Urbanista relacionado às questões de legislação
 - Não.
- Urbanista que trabalha diretamente com projetos
 - Sim.
- Empreendedor de construtora
 - Sim
- Cidadão integrante de uma associação de bairros
 - Isso está certo?

Você considera esses novos volumes um resultado paisagísticos coerente com os seus anseios para a cidade?

- Estudante de urbanismo/geografia
 - Santa Lucia é um bairro tradicional de casas. Não acredito que seja coerente não.
- Urbanista relacionado às questões de legislação
 - É difícil tratar dessa forma, pois a cidade precisa crescer para algum lugar. Então sempre vai existir as opiniões divergentes. De toda forma, acredito que em termos de infraestrutura, acessos e distribuição de serviços, esse lugar ainda não esta preparado para esse crescimento.
- Urbanista que trabalha diretamente com projetos
 - Pessoalmente prefiro uma cidade menos verticalizada. Então os meus anseios sempre foram mais casas e mais verde para a cidade.
- Empreendedor de construtora
 - Sim.

- Cidadão integrante de uma associação de bairros
 - Vejo a posição da Urbanista da legislação e do Empreendedor e entendo a posição de que a cidade precisa crescer, mas o negocio 'e que o dinheiro e a especulação parece estar à frente de tudo, da qualidade de vida da cidade mesmo. Imagina o transito quando tudo isso ai ficar pronto? A cidade tem que crescer, mas de forma consciente, preparada. Com certeza, se isso ai tiver certo, esta longe do que quero para a cidade.

Você imaginava que as alterações paisagísticas seriam nessas proporções? – Ligamos a visualização dos dois volumes (construída e legalmente permitida) para ficar visível a alteração resultante na paisagem.

- Estudante de urbanismo/geografia
 - Após ver o autorizado, imaginava que seria algo assustador.
- Urbanista relacionado às questões de legislação
 - Realmente e um adensamento considerável.
- Urbanista que trabalha diretamente com projetos
 - Pela modelagem anterior, consegui fazer uma ideia.
- Empreendedor de construtora
 - Sim.
- Cidadão integrante de uma associação de bairros
 - E isso mesmo que vocês querem para a cidade? Será que o bairro comporta esse tanto de gente que vai chegar para morar ai?

Vamos para a um ponto específico no bairro. Você permitira a alteração dos parâmetros que resultassem nessa modificação na paisagem? (Foi alterado o coeficiente de aproveitamento para 1,7).

- Estudante de urbanismo/geografia
 - Não
- Urbanista relacionado às questões de legislação
 - Não
- Urbanista que trabalha diretamente com projetos
 - Não
- Empreendedor de construtora

- Não
- Cidadão integrante de uma associação de bairros
 - Não

Após a realização desse roteiro que permitiu o caminhar dentro do bairro mostrando o estado atual e a simulação na paisagem, foi o momento de deixar o grupo fazer alguns testes de parâmetros de discussão coletiva sobre o que queriam para a cidade. Essa etapa não foi inicialmente planejada, todavia, diante a existência de opiniões diversas e de grupos com diferentes interesses, essa discussão começou naturalmente.

Ficou muito visível a surpresa dos integrantes do grupo de testes quando puderam visualizar tridimensionalmente a cidade construída e a cidade legalmente permitida.

Ao longo dessa discussão que se originou, os avaliadores solicitaram que fosse alterados diversas vezes alguns dos parâmetros urbanísticos, especialmente a taxa de ocupação e o coeficiente de aproveitamento. Ao final, foi feita a seguinte pergunta para eles:

Vocês entendem que um instrumento como esse permite a visualização da linguagem urbanística e pode auxiliar na tomada de decisões coletiva?

- Estudante de urbanismo/geografia
 - Sem duvidas. Imprescindível.
- Urbanista relacionado às questões de legislação
 - Realmente se mostra como um facilitador na comunicação e ao mesmo tempo um instrumento que pode causar bastante dificuldade no andamento das definições das áreas para adensamento na cidade. Não existe uma forma de agradar todo mundo. Então não sei se essa ferramenta tem que ser de acesso livre, mas sim de acesso para as pessoas que estão realmente planejando a cidade. Posteriormente, acredito que pode ser utilizada para apresentação dos resultados. Se for para tomar a decisão conjuntamente, nunca chegaríamos a um consenso.
- Urbanista que trabalha diretamente com projetos
 - Com certeza permite um ganho de informação visualizar a cidade através de um modelo 3D e o caminhar ao longo da cidade simulada é

simplesmente fantástico! Mas concordo com a urbanista da legislação, a tomada de decisão compartilhada pode ser muito demorada e um processo muito longo. Acredito que um instrumento desse é um primeiro passo, sem dúvidas, mas ele deve ser integrado a um sistema maior de avaliação da capacidade do local em receber esse adensamento.

- Empreendedor de construtora
 - Com certeza ajuda as pessoas construírem uma ideia melhor do que esta sendo planejado para a cidade. Nem sei se seria bom para nos construtores, mas que ajuda no entendimento, isso não há questionamento.
- Cidadão integrante de uma associação de bairros
 - Talvez eu seja o mais leigo e o que fiquei mais impressionado. Não tem como planejar sem um instrumento desses. Deveria ser obrigatório a utilização de uma ferramenta como essas quando as autoridades propõe uma mudança na legislação autorizando maior adensamento em algum lugar.

Trechos do teste de imersão podem ser visualizados no CD disponível nos apêndices.

Comunicabilidade

O último teste realizado foi o de comunicabilidade. Nesse teste foi enviado para os avaliadores instruções de como preparar o ambiente para a realização do teste. Como aparentemente a preparação do local estava se tornando um limitador no processo de avaliação da comunicabilidade, foi preparado uma sala com todo o recurso para a realização deste. O grupo foi convidado a comparecer nesse espaço em horários diferentes para a realização das execuções das atividades.

Após a realização do teste dos cinco integrantes, foi possível compilar os resultados apresentados na figura 95 a seguir (Disponível nos anexos):

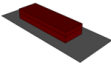
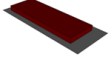
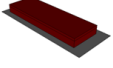
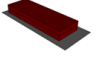
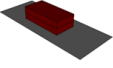






Pergunta	Opcoes	Estudante	Urb. Legislação	Urb. Projetos	Empreendedor	Cidadão
1 - Veja a tabela de parâmetros do plano diretor. Desenhe o envelope que você acredita que esses parâmetros resultarão em um lote de 1000m². Veja o filme chamado ZAR-2 para ver a sua resposta se assemelha ao resultado modelado.						
	Envelope					
	Envelope equivalente aos parâmetros	Etiquetagem	Equivalencia: T.O: 0,3; C.A.: 0,5; Afastamento Frontal: 8; Hum?!?	Equivalencia: T.O: 1; C.A.: 0,5; Afastamento Frontal: 5; Afastamento lateral: 3; Desconto: 34%; E isso mesmo?	Equivalencia: T.O: 1; C.A.: 0,8; Afastamento Frontal: 5; Afastamento lateral: 5; E eu já imaginava...	Equivalencia: T.O: 1; C.A.:1; Afastamento frontal:5; Afastamento Lateral: 5; E eu já imaginava...
2 – Imagine que você esta na Avenida Raja Gabaglia ao lado do Casa Raja Shopping Shopping. Escolha o Skyline que mais se assemelha ao do Bairro Burity. Abra o filme Burity. Veja se a sua percepção do espaço é a mesma do modelado. Abra o filme Burity. Veja se a sua percepção do espaço é a mesma do modelado.		X	X	X	X	X
						
						
	Etiquetagem	Eu ja imaginava...	Eu ja imaginava...	Eu ja imaginava...	Eu ja imaginava...	Eu ja imaginava...
3- Veja o mapa que identifica a localização do filme ZAP. Abra o filme ZAP. Veja o espaço urbano construído e o espaço urbano autorizado. Coincide com o que você espera para a cidade						
	Etiquetagem	Hum?!?	Eu ja imaginava...	Eu ja imaginava...	Eu ja imaginava...	E isso mesmo?
4 – Veja a imagem da Rua Netuno. Você autorizaria a mudança de parâmetros de Taxa de ocupação para 1,7? Abra o filme RuaNetuno e veja a resposta volumétrica que isso daria.						
		Sim	Não	Não	Sim	Não
						

FIGURA 94 – Resultados do teste de Comunicabilidade

Para ser possível verificar qual o entendimento dos membros do teste quanto aos parâmetros urbanísticos, optou-se por pegar a resposta dos envelopes desenhados pelos avaliadores e modelar no sistema para verificar qual seriam os parâmetros utilizados para a construção dos envelopes indicados por eles. Verifica-se que, por exemplo, no caso do estudante, o envelope que ele imagina ser o resultado de uma edificação em um lote de 1000m² em um zoneamento ZAR-2 na verdade é o resultados dos parâmetros: Taxa de ocupação: 0,3; Coeficiente de aproveitamento: 0,5; Afastamento Frontal: 8m; Afastamento lateral: 5m; Desconto: 34%.

Sabemos que os mesmos parâmetros podem resultar em diferentes envelopes, e por isso primeiramente verificamos se o envelope criado poderia ser um envelope

correspondente aos parâmetros de ZAR-2. Posteriormente verificamos qual combinação de parâmetros poderia dar como resultado o envelope proposto. Percebemos que os envelopes mais próximos aos parâmetros reais do ZAR-2 foram dos empreendedores e da arquiteta que aprova projetos. Os envelopes que mais se distanciam da realidade são do estudante e do morador que participa da associação de bairro.

Após a realização desse teste de comunicabilidade, os avaliadores citaram que a execução de todos esses testes permitiu, de uma forma geral, um grande ganho de conhecimento. Informaram que após o iniciar o teste de comunicabilidade eles já estavam mais aptos passar da interpretação abstrata dos parâmetros para a interpretação contextualizada do modelo. Ou seja, no início dos testes de comunicabilidade, os usuários já conseguiam criar imagens do que esperar ao falar dos parâmetros e zoneamentos.

6.4.5. Comparação entre os três ambientes

Como finalização do processo de testes dos ambientes visuais e do modelo tridimensional, foi feita uma mesa redonda para discutirmos um pouco sobre as experiências vividas. O primeiro passo foi perguntar qual dos três ambientes (WebScene, Cave ou Filmes) foi o mais propício para a compreensão da modelagem e para o ganho de informação. Apesar de todos afirmarem que a soma dos três foi essencial para um entendimento mais amplo, os usuários responderam como mostra a figura 96 a seguir:

	Estudante	Urbanista - Legislação	Urbanista – Projetos	Empreendedor	Cidadão - Associação
WebScene	X	X			
Cave			X	X	
Filmes					X

FIGURA 95 – Resultado da avaliação dos ambientes

Após o recebimento das respostas, foi solicitado que eles fizessem um comentário sobre cada um dos métodos de visualização e explicassem os pontos positivos e negativos.

WebScene:

- Estudante
 - É um sistema que te permite navegar sobre o seu ponto de vista. Facilita a compreensão porque você escolhe para onde ir e qual perspectiva usar.
- Urbanista - Legislação
 - É a opção que dá mais flexibilidade de uso. Você escolhe os parâmetros e depois os pontos de visada que facilitam entender o todo.
- Urbanista - Projeto
 - Acredito que a permissão do usuário navegar demanda que ele seja um expert na navegação. Tive dificuldades no controle do caminhar. Esse é o ponto positivo e negativo ao mesmo tempo. Pois apesar da dificuldade de navegar, você poder escolher o ponto de vista é ótimo para compreender não só a edificação, mas o contexto no entorno.
- Empreendedor
 - Negativo: Não acredito que as pessoas estão preparadas para a navegação ativa. Ela consome muito raciocínio na operacionalização do sistema deixando o que interessa (o modelo da cidade) de lado. Positivo: o usuário pode alterar os parâmetros sozinho.
- Cidadão – Associação do Bairro
 - Tive muita dificuldade no uso dessa opção pela falta de contato com computadores de uma forma geral. A navegação no sistema é difícil e custei a entender as ferramentas. Tive que me preocupar muito em como usar e acabei não aproveitando o modelo realmente.

Cave

- Estudante
 - Visualizar o modelo na perspectiva da cidade, do caminhar nas ruas é bem legal. Foi super interessante viver isso, mas não me permitiu ver o todo. Interpretei bem o objeto isoladamente, mas

acho que em um plano para a cidade é necessário ver a vizinhança.

- Urbanista - Legislação
 - Foi uma experiência fantástica, Foi uma experiência fantástica, antes de qualquer coisa. Mas não foi a que melhor me deu a informação do que eu quero para a cidade. Essa opção me dá a perspectiva de um ponto de vista do pedestre que está próximo à edificação e isso foi impressionante inclusive para nos auxiliar na interpretação dos parâmetros. Mas você acaba compreendendo um pedaço do todo.
- Urbanista - Projetos
 - Simplesmente a melhor perspectiva, em minha opinião. Ela te permite ver exatamente o que você está planejando para o lugar e para a edificação. Te permite antecipar os impactos que serão causados na paisagem na perspectiva do cidadão que vai viver aquilo ali todos os dias a partir da construção da edificação. Te dá a real sensação de como a paisagem será modificada e como aquilo afetará o contexto. Ainda teve a opção de ligarmos o modelo de sombra que enriqueceu ainda mais a experiência.
- Empreendedor
 - Negativo: Para as pessoas que tem pouco poder de abstração, acabaram entendendo apenas um pequeno pedaço da cidade. Positivo: Você tem um feedback antecipado do impacto da cidade. A navegação passiva auxilia a ter mais tempo de avaliar o modelo, que é o interessante.
- Cidadão – Associação de bairro
 - Sensacional essa opção. Foi tão impressionante que é difícil acreditar que está certo. É uma excelente opção para a discussão compartilhada do que queremos para a cidade. Muito melhor que a primeira opção, pois nesse fomos guiados pelo espaço. Para a tomada de decisão pontual é a melhor ferramenta. Para a tomada de decisão global (bairro ou zoneamento) fica difícil a ideia do caminhar pela rua, pois você não consegue ver o todo.

Filmes:

- Estudante
 - Em minha opinião foi interessante para ver qual é a perspectiva que o planejador (no caso a Sheyla) estava querendo mostrar. Ver a cidade do alto e depois ver outra perspectiva foi interessante. Mas depois das duas outras opções, esse ambiente é o menos enriquecedor e exploratório.
- Urbanista - Legislação
 - É uma opção menos interativa o que faz ser muito simples em relação às demais.
- Urbanista - Projeto
 - Bem bacana, mas as outras opções são melhores, pois são mais interativas.
- Empreendedor
 - Negativo: Pouco exploratório. Positivo: Para ser usado em uma audiência pública é a melhor opção, pois vai direto ao assunto mostrando logo o que deve ser mostrado. O navegar mais livre dificulta o processo decisório.
- Cidadão – Associação de Bairro
 - Ter a visão do alto, ver os impactos antecipados e ainda não ter que ficar descobrindo como se mexe no software foi muito bom. Foi à opção que me fez melhor captar a ideia do modelo e das propostas para a cidade. Além de permitir eu me localizar melhor.

Ao realizar os testes, os usuários foram questionados sobre uma decisão de mudança de parâmetros exatamente iguais no mesmo lugar da cidade. A última pergunta de todos os testes foi, em linhas gerais, que o usuário permitiria a alteração do coeficiente de aproveitamento para 1,7 em um determinado local da cidade. Em todos os três testes estavam tratando da Rua Netuno, no bairro Santa Lúcia, sem que os membros avaliadores soubessem. De forma que, em primeiro momento, os membros avaliadores não soubessem. Esta localização foi escolhida devido às intensas alterações paisagísticas que veem acontecendo nesse bairro. O aumento do parâmetro informado para 1.7 é para a modelagem volumétrica simulando, em partes, a troca do zoneamento

atual para o zoneamento de adensamento preferencial. Essa mesma simulação foi feita através dos três geovisualizadores a partir de alguns pontos de visada. No teste de usabilidade, a mudança de parâmetro foi mais para verificar se os usuários conseguiam utilizar a interface e ainda entender o resultando do modelo.

O pacote de dados e aplicativo do WebScene pode ser acessado nos apêndices dessa tese.

No teste de comunicabilidade, foi realizado um comparativo da paisagem existente a partir da projeção das edificações, os envelopes permitidos, os envelopes com o aumento do coeficiente de aproveitamento e um comparativo volumétrico entre existente, permitido e simulado a partir de três pontos de visada, conforme ilustram as figuras 97 a 102 feitas a partir de um dos pontos de visada:

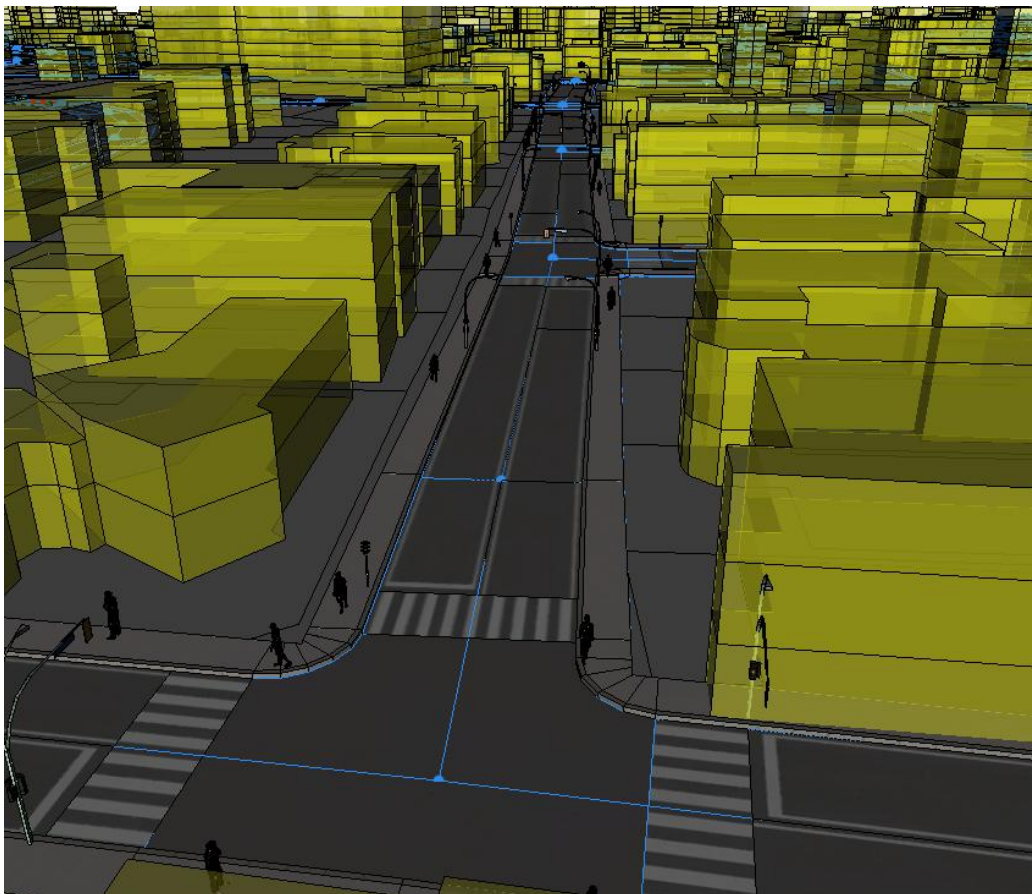


FIGURA 96 – Simulação tridimensional das edificações existentes criadas a partir da projeção das edificações e cálculo de altura feito a partir de dos pontos de visada da Rua Netuno.

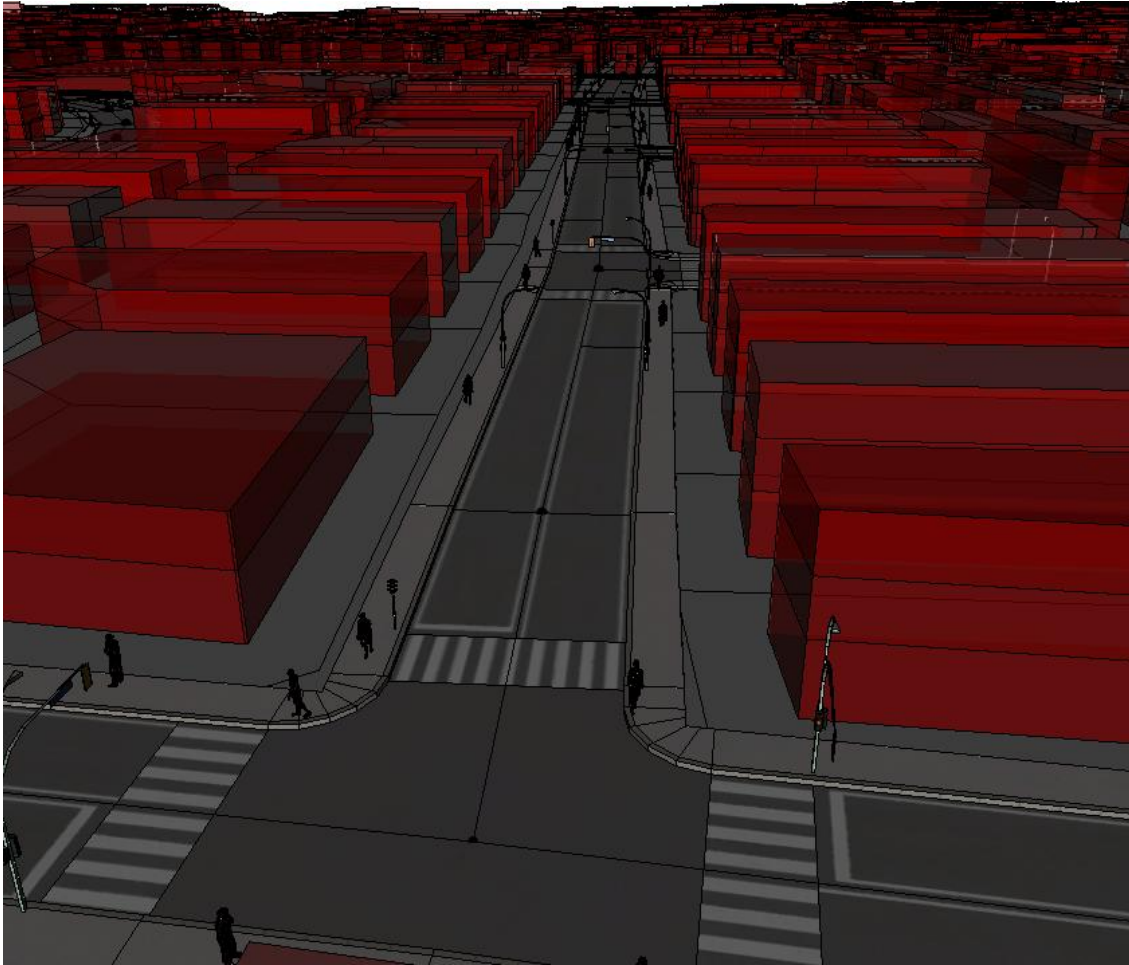


FIGURA 97 – Simulação tridimensional dos envelopes permitidos de acordo com o zoneamento vigente na Rua Netuno.

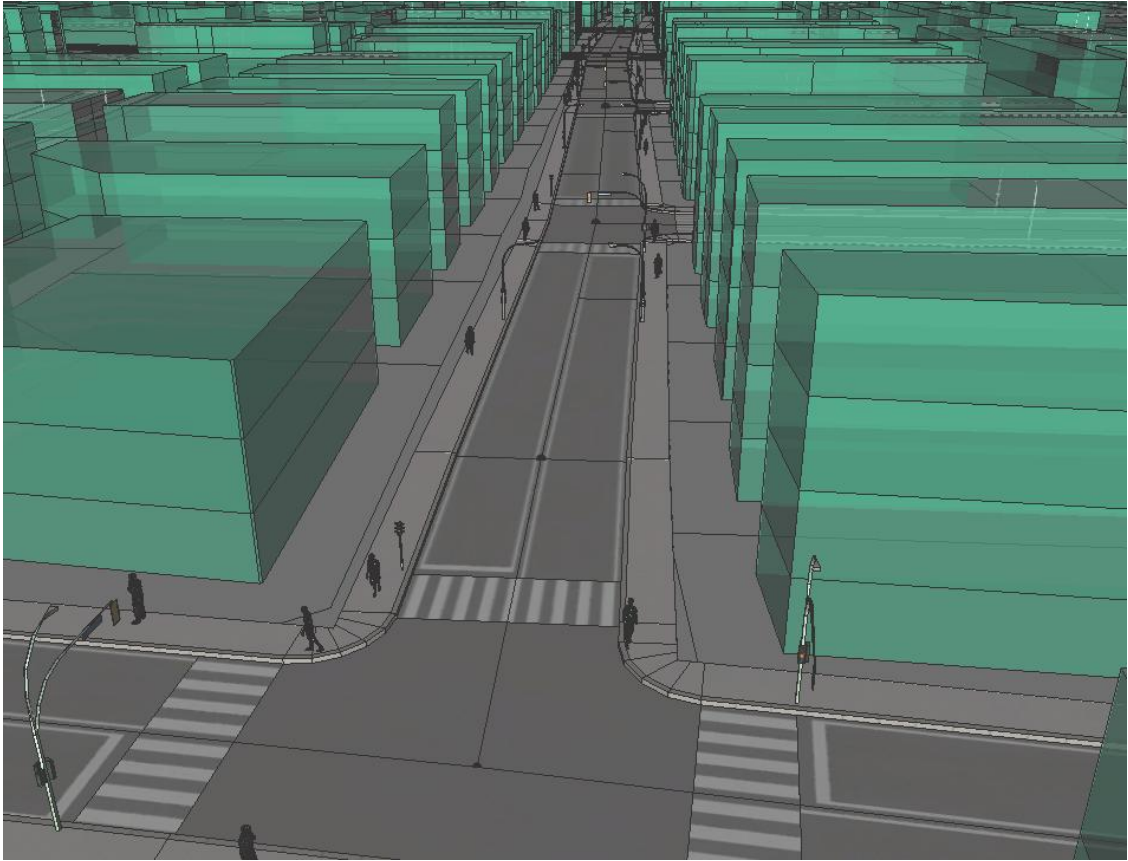


FIGURA 98 – Simulação tridimensional dos envelopes em caso de alteração do coeficiente de aproveitamento para 1.7 na Rua Netuno.

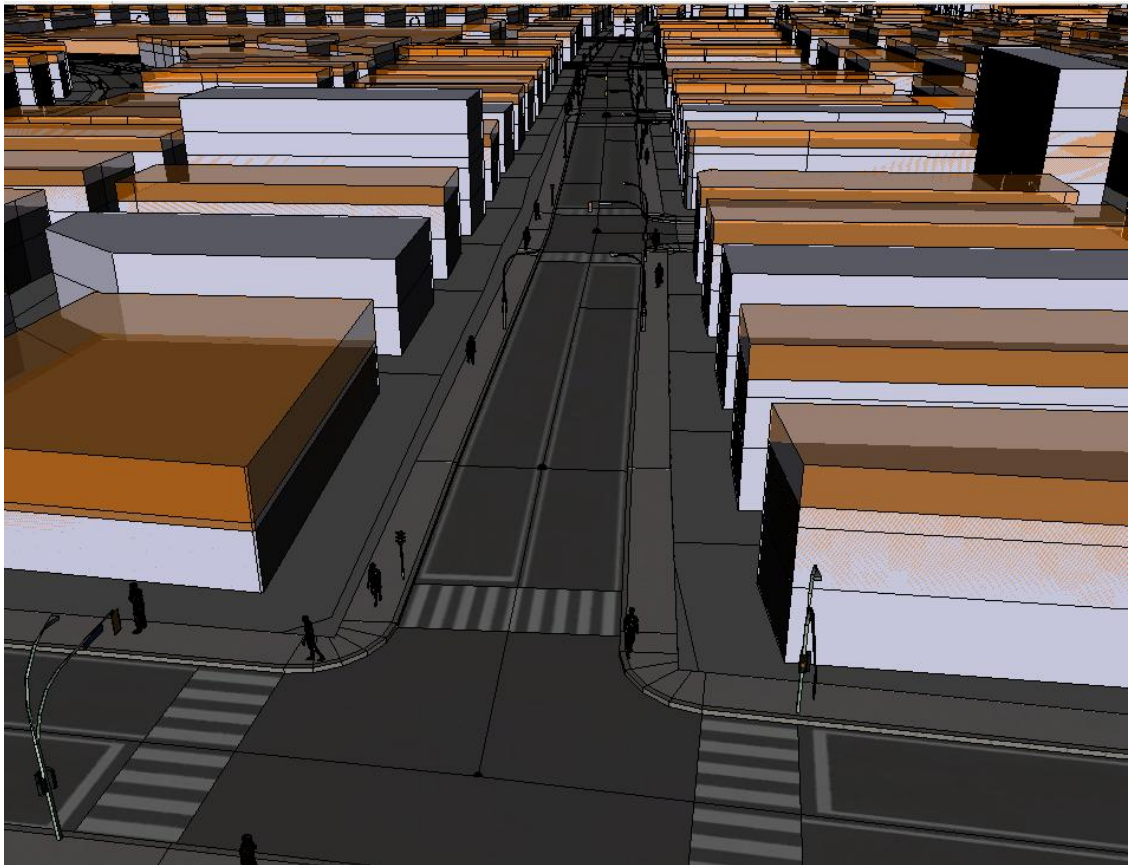


FIGURA 99 – Simulação dos volumes existentes (em cinza) e dos envelopes permitidos (em laranja) mostrando que ainda existem muitos estoques construtivos nesse local.

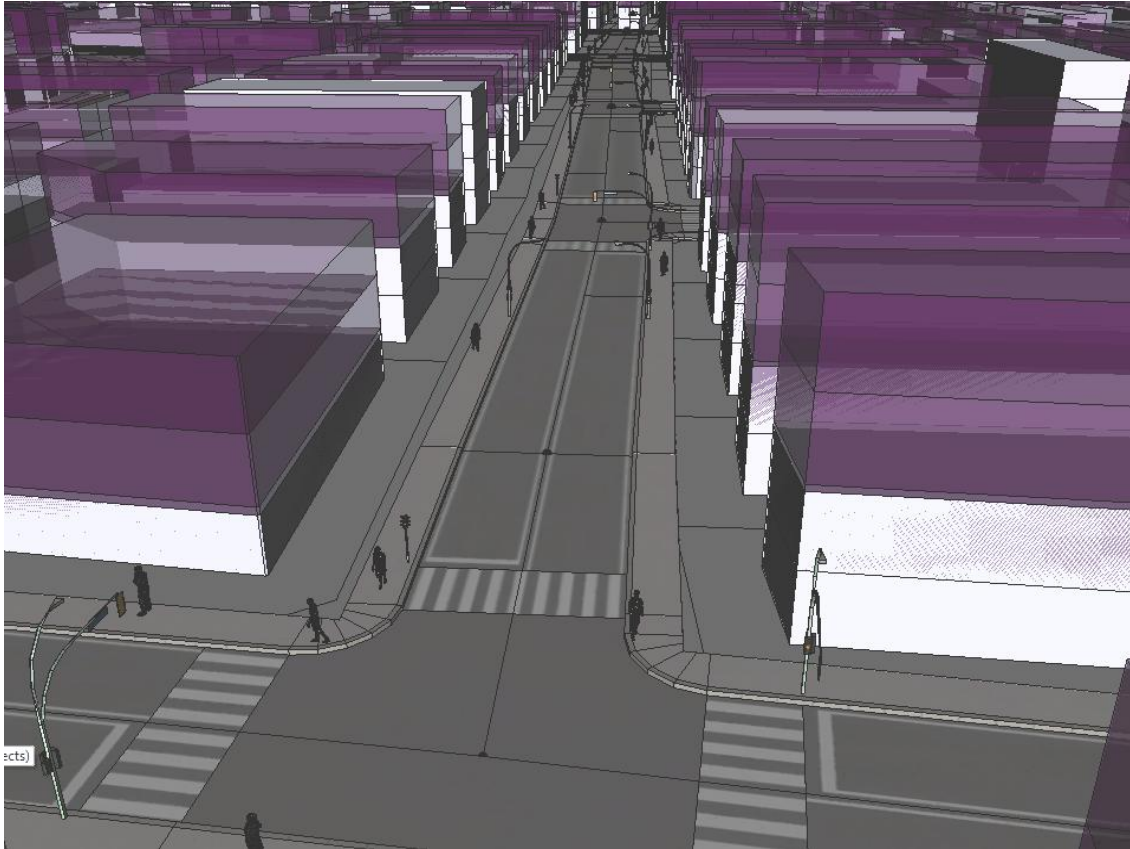


FIGURA 100 – Simulação Tridimensional dos volumes existentes (cinza) e dos envelopes com o coeficiente de aproveitamento 1.7 (roxo)

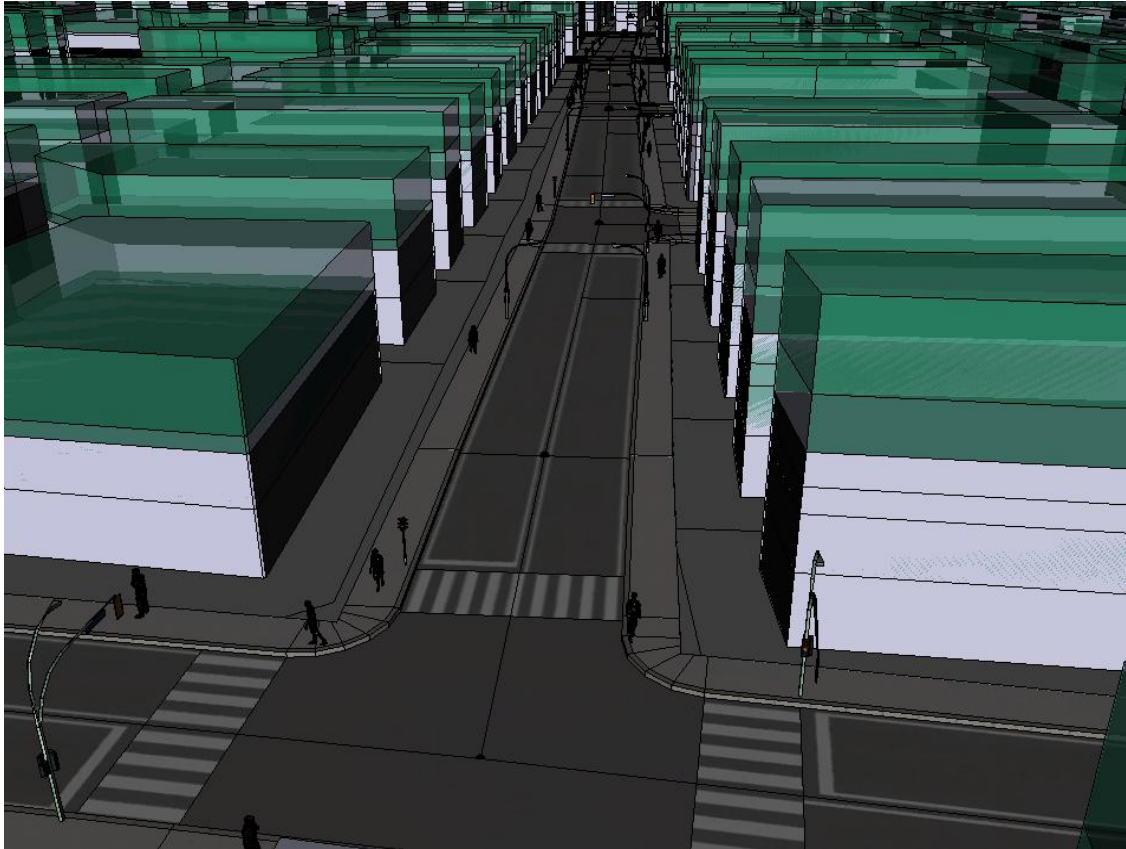
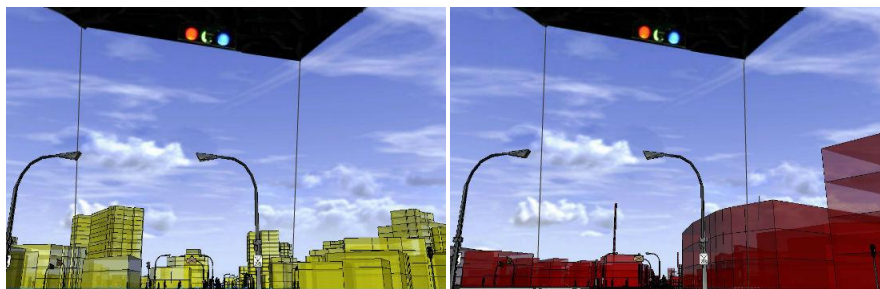


FIGURA 101 – Simulação tridimensional dos volumes permitidos (cinza) e dos envelopes com o coeficiente de aproveitamento alterados para 1.7 (verde) na Rua Netuno

Essa mesma simulação foi apresentada na caverna digital onde os usuários puderam estar imersos nessa alteração paisagísticas, conforme ilustra as figuras 103 a 106.



(a)

(b)

FIGURA 102 – Na figura A, a Rua Netuno simulada no ambiente da Caverna Digital mostrando as edificações existente. Na figura B, o mesmo ponto vista da Rua Netuno com os envelopes autorizados

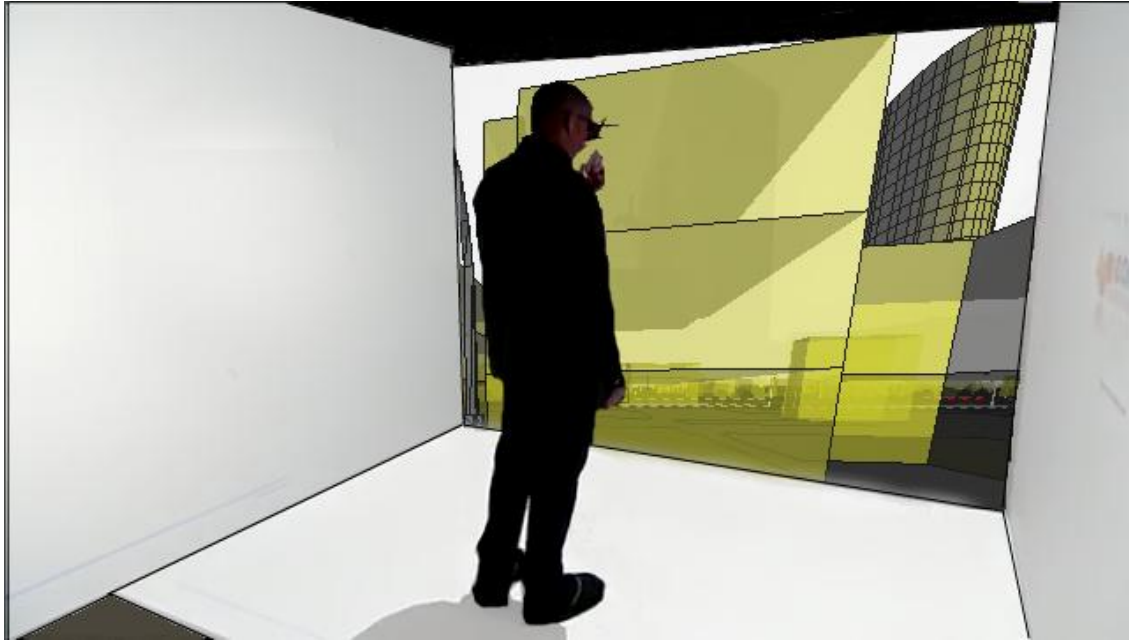


FIGURA 103 – Simulação tridimensional do bairro Santa Lúcia na Caverna Digital

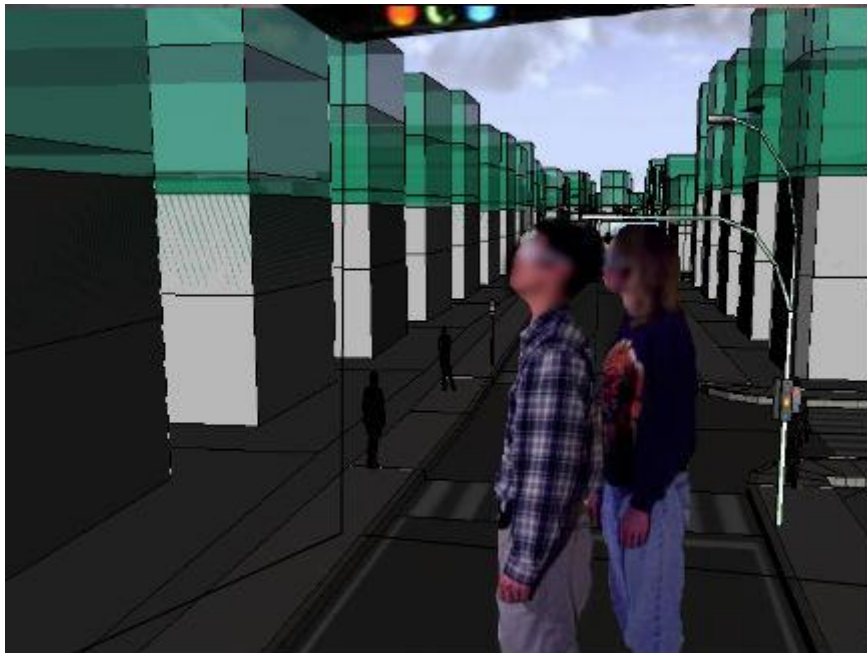


FIGURA 104 – Simulação dos Volumes existentes e autorizados na Caverna Virtual



FIGURA 105 – Simulação dos Volumes Permitidos e com Aumento do Coeficiente de Aproveitamento na Caverna Virtual

Esse teste de apresentação e simulação dos cenários (cidade real, cidade permitida e cidade com mudança do coeficiente de aproveitamento) nos três ambientes permitiu verificar que os níveis de compreensão dos modelos tridimensionais alteram de acordo com o geovisualizador escolhido. As respostas sobre autorizar a mudança do parâmetro de coeficiente de aproveitamento dos três testes mudaram de acordo com o ambiente visual e a facilidade de entendimento do que estava sendo proposto para o espaço urbano, apesar de terem sido solicitados para a mesma localidade – Rua Netuno, conforme mostra a figura 107:

	Estudante	Urbanista - Legislação	Urbanista - Projetos	Empreendedor	Cidadão
WebScene	Não	Sim	Sim	Sim	Não
Cave	Não	Não	Não	Não	Não
Filmes	Sim	Não	Não	Sim	Não

FIGURA 106 – Resposta de acordo com o ambiente

Nessa última conversa foi falado que a última pergunta em todos os três testes tratavam do mesmo local, Rua Netuno – Bairro Santa Lúcia. Foi apresentado as respostas deles

nos três testes. Apenas um usuário manteve sua posição sobre as mudanças em todos os testes. Os demais trocaram de opinião de acordo com o ambiente visual.

Após tabular as respostas, ficou claro que o processo decisório depende do processo de cognição e percepção espacial da informação 3D de cada um dos envolvidos, além de suas habilidades de abstração e suas experiências anteriores.

Outros trechos dos três testes podem ser visualizados no CD dos apêndices.

6.4.6 Análise dos Resultados Alcançados

A partir da compilação dos resultados, ficou claro que a utilização de dados tridimensionais permitiu um ganho de informação e um aprendizado que foram aperfeiçoados através do processo de percepção espacial da informação visual.

Os resultados mostraram, através dos retornos obtidos com os usuários, que a utilização do modelo de realidade virtual e realidade aumentada permitiram que a compreensão mais ágil em torno das propostas de desenho da cidade. A visualização do modelo tridimensional que decodifica os parâmetros urbanísticos através da interpretação contextualizada e relativa trás a sensação de presença e desperta o interesse na discussão de questões relativas ao planejamento e gestão urbana.

Foi perceptível que as opções de WebScene, Ambiente Virtual (CAVE) e Filmes individualmente se mostrou mais ou menos exploratório para cada um dos usuários de acordo com as suas habilidades e limitações. Todavia, o conjunto das três opções mostradas em períodos consecutivos permitiu um aprendizado inclusive no processo de cognição e percepção para o entendimento e raciocínio em cima das paisagens tridimensionais apresentadas além de permitir a criação de imagens mentais.

Fica claro então que a tomada de decisão com base em um sistema tridimensional será baseada nos processos cognitivos de percepção do espaço de cada indivíduo, como já apresentado anteriormente e que o ambiente visual é de extrema importância para auxiliar na compreensão dos objetos modelados.

Entende-se que o teste se mostrou bastante eficiente para todos os indivíduos do grupo decodificar a informação modelada tridimensionalmente e permitiu uma melhor compreensão da cidade construída e da cidade legalmente permitida. Foi importante o uso dos três sistemas de visualização para auxiliar no processo cognitivo de cada um dos membros respeitando a individualidade do processamento da informação espacial. Após um entendimento coletivo do modelo e do espaço, a discussão das propostas passa a ser em um nível mais igualitário permitindo que todos consigam emitir suas opiniões com base em um conhecimento já consolidado dando início a um processo de tomada de decisões menos tendencioso e mais compartilhado.

7 CONCLUSÃO

Essa tese objetivou o desenvolvimento de uma pesquisa multidisciplinar no desenvolvimento e implementação de sistemas de visualização e modelagem tridimensional paramétrica do espaço urbano. Foi apresentada uma contribuição para a criação de um roteiro metodológico para a modelagem paramétrica da ocupação do território, tanto na perspectiva da elaboração da base de dados, na criação de algoritmos para a construção dos modelos tridimensionais, como na execução de testes para avaliação dos benefícios de ambientes visuais.

Ao longo dessa tese foi possível identificar algumas mudanças importantes de paradigmas vividos dentro do geoprocessamento e nos sistemas de suporte ao planejamento urbano. Essas mudanças se apresentaram desde a construção da base de dados com a inserção do novo conceito de parcela para o mapeamento urbano. Esse conceito vem sendo discutido e implementado como uma nova forma de representação do espaço urbano. A parcela se consolida como uma informação necessária no mapeamento do território e trás para a discussão a necessidade de se trabalhar com o dado volumétrico para a melhor gestão e planejamento urbano.

O início das discussões sobre o cadastro territorial multininalitário tridimensional será beneficiado com esse trabalho uma vez que apresenta formas de construção dos dados para a montagem do banco de dados único. Vale registrar que para que o cadastro seja funcional e seja um instrumento de apoio a decisão serão necessárias a definição de políticas e melhores práticas para a constante atualização dos dados.

Essas novas formas de representação do espaço, bem como o momento de necessidade de difusão dos dados espaciais, veem ao encontro aos novos paradigmas do geoprocessamento e ao conceito de *geodesign*. Esse trabalho buscou desenvolver uma metodologia e um sistema de geovisualização que cumprisse todo o conjunto de processos inerentes ao *geodesign*.

Apesar de não ter sido possível alcançar todo o conjunto de métodos de desenho e planejamento, foi feito um primeiro passo na reunião de dados dentro de um sistema tridimensional que permite a caracterização, diagnóstico, simulação, retroalimentação, verificação dos impactos. Ainda dentro desse *framework* desenvolvido o teste permitiu o envolvimento de um pequeno grupo de pessoas para discussão dos resultados obtidos. É

necessário que seja realizado o envolvimento de mais atores da cidade, outros estudos na forma de desenho bem como avançar para a etapa de proposições. Todavia, esse trabalho abre possibilidades que podem ser complementadas com várias pesquisas.

O geoprocessamento vive um momento de difusão dos dados georreferenciados, tornando-os públicos e acessíveis a maior e diversa quantidade de pessoas. Nesse sentido, surgem os sistemas de geovisualização como uma opção de integração que permitem a difusão dos dados e a apresentação dos impactos de uma tomada de decisão. Quando aplicados ao planejamento e gestão urbana, a integração de todos esses novos conceitos e paradigmas trazem o foco da discussão para a necessidade da existência de novas ferramentas e sistemas que permitam a modelagem paramétrica da ocupação do território apresentada em ambientes de visualização.

Apesar do grupo de testes ter sido ilustrativo e não conclusivo, ficou claro o apontamento no sentido das contribuições dos modelos tridimensionais bem como a utilização de geovisualizadores no sentido de auxiliar na interpretação e reconhecimento da cidade. Após os testes, todos os membros do grupo de testes declaram a importância de terem acesso a instrumentos e modelos como o apresentado para auxiliarem na tomada de decisão. De toda forma, foi percebido que existe a necessidade de integração de várias tecnologias, muitas ainda pouco acessíveis – como o caso das cavernas virtuais, para que seja possível nivelar o conhecimento para permitir que todos tenham a correta interpretação cognitiva e percepção do espaço modelado.

É um roteiro possível de ser executado, mas ainda é necessário o investimento mais massivo em equipamentos para a realização dessa integração em larga escala. Isso se reafirma no momento em que entendemos que os ambientes de visualização foram de fundamental importância para o processo de participação de pessoas de experiências anteriores e graus de conhecimento tão diferentes. Os testes contribuíram para o conhecimento sobre como a tecnologia das geovisualização, as capacidades humanas do processamento de informação e diferentes ambientes de visualização podem impactar na tomada de decisão sobre planejamento urbano.

A partir da apresentação dos dados modelados segundo as regras urbanísticas é possível perceber o ganho de compreensão sobre o espaço. A visualização dos envelopes permite

deixarmos a interpretação abstrata dos parâmetros urbanísticos apresentados em tabelas em uma informação de interpretação do conjunto contextualizado.

Nesse sentido, nessa tese foram utilizados os sistemas da família ESRI como o tripé de base para a montagem dos dados, análises tridimensionais e visualização dos modelos, com o ArcMap, ArcScene e CityEngine, respectivamente. Ficou claro que o CityEngine é mais uma das etapas desse processo de construção de um grande sistema de suporte a decisão, e que ainda possui algumas limitações técnicas.

Como o CityEngine é um aplicativo novo dentro do contexto das geotecnologias e especialmente do geoprocessamento aplicado à gestão urbana, a comunidade ainda é muito pequena. Isso dificulta o acesso a tutoriais e demais auxílios para a operacionalização adequada do software. Uma das grandes dificuldades foi o *input* e *output* de dados no sistema. A dificuldade de *input* se deve, principalmente, ao fato que os dados existentes no mapeamento das cidades ainda não acompanham o novo conceito de parcela. A questão de *output* e retornos de relatórios vem sendo resolvida com as novas versões do aplicativo e o aumento da comunidade que indica as necessidades de melhoria no sistema. Na versão atual do ArcMap e do CityEngine, já é possível conseguir uma saída de dados, mesmo que ainda longe do ideal. Outra limitação foi trabalhar com a morfologia real do terreno.

Os impactos topográficos foram contemplados de forma bastante simples onde a menor cota altimétrica da cidade foi considerado 0 e a maior foi considerado o número 2. Foi aplicado a esse pequeno intervalo de valores um exagero vertical para a representação topográfica do território. Não foi possível avaliar o impacto topográfico nas simulações devido a essa questão. A principal limitação foi devido à construção dos envelopes que adotavam o ângulo do terreno para a construção dos envelopes deixando a simulação com uma conformação completamente incoerente.

Outra grande dificuldade foi na criação dos algoritmos para a decodificação dos parâmetros urbanísticos da cidade legalmente construída. O entendimento da lógica da programação do sistema ainda é falha, e os tutoriais não permitem a construção de regras que levem em consideração parâmetros brasileiros. Com isso, a tese contribuiu para o início de uma construção de biblioteca de regras paramétricas.

Os valores hoje, dentro das geotecnologias, afirmam que é necessária uma interoperabilidade entre sistemas para que seja possível criar retratos interpretativos da realidade, gerar simulações de cenários, permitir a participação de diversos atores auxiliando as tomadas de decisão. No roteiro metodológico aqui proposto, foi realizado um *framework* com a utilização de diversos sistemas que conversaram entre si para gerar uma modelagem tridimensional e a criação de possíveis cenários.

O desenvolvimento de um roteiro para testes de usabilidade, interação e comunicabilidade dos modelos e dos sistemas de visualização é também uma importante contribuição dessa tese, uma vez que se trata de roteiros que propõem a avaliação e ganho de informação de modelos paramétricos de ocupação do território sobre a perspectiva do *geodesign*.

Foi perceptível também que esse roteiro proposto é um primeiro esforço no sentido da compreensão dos fenômenos espaciais na dimensão espaço com fim de representá-los em modelos tridimensionais em ambientes de realidade virtual. Trata-se, até esse ponto, de modelos prescritivos. Os modelos prescritivos são aqueles que indicam caminhos para solucionar uma problemática. Esses modelos inserem no sistema as possibilidades de análise. Para torná-lo um modelo de maior complexidade, como os modelos prospectivos e preditivos é necessário acrescentar mais informações no modelo para torná-lo dinâmico e temporal.

Entende-se a necessidade de acrescentar mais variáveis como, por exemplo, um mapa dinâmico de capacidade de carga urbana para permitir que os modelos sejam utilizados como ferramentas de apoio as decisões relativas ao processo de negociação e planejamento de volumes. A inserção de análise sobre outras perspectivas que não apenas a volumétrica, pode tornar esse modelo um importante instrumento na definição de estoques construtivos, melhores locais para recebimento de coeficientes extras, estudos de impacto a vizinhança e outros instrumentos do estatuto da cidade.

Belo Horizonte está vivendo um momento propício na discussão sobre a outorga onerosa do direito de construir - OODC, recurso instituído pela Lei Municipal de Belo Horizonte e oriundo dos princípios do Estatuto da Cidade. Ele possibilita ao proprietário

do imóvel o direito de construir acima do Coeficiente de Aproveitamento Básico adotado, mediante a contrapartida a ser prestada pelo beneficiário. Esta contrapartida é adquirida através do pagamento de uma taxa por parte do proprietário ao poder público e é destinada a recursos aplicados ao Fundo de Habitação de Interesse Social.

A OODC já existe em lei, mas ainda não acontece efetivamente no município de Belo Horizonte, uma vez que tem sido feita a análise cuidadosa por parte dos técnicos da prefeitura de como poderia ser distribuídos os estoques de potencial construtivo, de modo que não haja saturação e impactos urbanísticos sobre a cidade. Esse estudo pode ser beneficiado e ter a discussão compartilhada se for possível simular em ambiente tridimensional, interativo e de imersão as pretensões do local onde se planeja distribuir esse estoque construtivo. No caso da OODC, os recursos recebidos pelos cofres públicos são destinados a obras de interesse social, em setores definidos como ZEIS (Zonas de Especial Interesse Social).

Entende-se que ainda se trata de uma modelagem complexa com algumas restrições técnicas de ser aplicado em outros municípios, mas a passo inicial para todas as cidades é a construção da base de dados e centralização em um banco de dados único para a construção do cadastro territorial multifinalitário. Como foi apresentado, existem possibilidades de construção da base de dados de maneiras menos onerosas para a prefeitura.

7.1 Trabalhos Futuros

Essa tese investigou como é possível criar um modelo paramétrico de ocupação do território e adequá-lo em um sistema de suporte a decisão que integre os conceitos e valores atuais do geoprocessamento e *geodesign*.

As possibilidades de aplicação de novos métodos e estrutura para o uso dos modelos tridimensionais são infinitas, e há muitos aspectos da pesquisa que pode servir de base para novas pesquisas e desenvolvimento. São mencionadas algumas delas:

- Para otimizar ainda mais integração dos modelos BIM aos SIG e integrá-lo em modelos de cidades em 3D em um ambiente de realidade virtual;
- Desenvolvimento de novas metodologias da construção da base de dados para que seja possível otimizar e economizar recursos;
- Estudos de novos *softwares* mais fáceis de utilização e com custo reduzido;
- Inserir novas camadas de informação para que a análise se torne mais complexa e não apenas volumétrica;
- Para a realização de mais estudos relacionados ao uso do meio de realidade virtual em nas tomada de decisão em grupo aperfeiçoando o roteiro dos testes e acrescentando mais membros;
- Aplicação desses estudos para tomada de decisão relacionada aos instrumentos do Estatuto da cidade;
- Realização do teste com um grupo focal que seja escolhido de forma aleatória com os diversos atores para que todos segmentos que fazem parte da decisão sobre o território estejam devidamente representados.
- Inserção de estudos relativos a vazios urbanos para identificação e melhor aproveitamento dessas áreas para a construção de espaços de uso coletivo.
- Desenvolvimento de uma linha de pesquisa para entendimento de como são desenvolvidos trabalhos de modelos paramétricos tridimensionais em outros países.
- Modelagem da cidade percebida de acordo com os mapas mentais descritos por um grupo de testes.

Finalmente, a pesquisa no campo da modelagem tridimensional paramétrica pode contemplar de forma mais ampla a ponte com a cidade percebida como, por exemplo, a aplicação de diferentes texturas alterando a experiência visual e espacial dos modelos para compreender como esta pode alterar o processo e o resultado da tomada de decisão. Além disso, é necessário mais pesquisa para entender melhor como o meio da realidade virtual afeta no julgamento e tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

AL-KODMANY, K. Visualization Tools and Methods in Community Planning: From Freehand Sketches to Virtual Reality, **Journal of Planning Literature**, vol. 17, n. 2, p. 189-211, 2002.

AMBROSE, Peter J. **Urban Process and Power**. Routledge, 1994. 245 p.

ANDRIENKO, G. et al. Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda. **International Journal of Geographical Information Science**. v. 21 n. 8, p. 839-857, 2007.

ARIAS, E. et. Al. Transcending the individual human mind—creating shared understanding through collaborative design, **ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)**, vol. 7, n. 1, p. 84-113, 2000.

AXELSSON, P. Processing of laser scanner data—algorithms and applications. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. v. 54, p. 138–147, 1999.

BANSAL, V. K. **Use of GIS and Topology in the Identification and Resolution of Space Conflicts**, **Journal of Computing in Civil Engineering**, 25(2), 2011, 159-171.

BATTY, M. et. al. **Modelling virtual urban environments: centre for spatial analysis**, working paper 1, University College London, London, 1998.

BAZOLLI, João Aparecido. **Os dez anos da vigência do Estatuto da Cidade no processo dialético da práxis da regularização fundiária urbana**. Jus Navigandi, Teresina, ano 17, n. 3297, 2012.

BELO HORIZONTE. **Lei 7166 de 27 de agosto de 1996**. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município. anexo vi - parâmetros urbanísticos.

BENÉVOLO, Leonardo. **História da Cidade**. São Paulo, Editora Perspectiva, 5. ed., 2011. 728 p. (primeira edição de 1976).

BERLO, D. K. **The process of communication**. New York: Holt, Rinehart, & Winston, 1960.

BEVAN, N. **Usability Issues in Web Site Design**. In: Proceedings of UPA'98, Washington DC, p. 23-26, 1998.

BIEDERMAN, I; GERHARDSTEIN, P. C. Viewpoint-dependent mechanisms in visual object recognition: Reply to Tarr: Reply to Tarr and Bulthoff (1995),

Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, vol. 21, p. 1506-1514, 1995.

BIEDERMAN, I. Higher-level vision: visual cognition and action, **MIT Press**. vol. 2, p. 41-72, 1990.

BILDA, Z; GERO J. S. **Do We Need CAD during Conceptual Design?** Computer Aided Architectural Design Futures, Springer, p. 155-164, 2005.

BOARD, C. Maps as models. In.: CHPRLEY, J., HAGGET, P. **Models in Geography**. London: Methuen, 1971. p. 671-725.

BORGES, J; MOURA, A.C.M. **Navegação Virtual no WRWorx**. Material Didático, Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura da UFMG, 2013, 11p. Disponível em: <http://geoprocea.arq.ufmg.br/projetos/analise-espacial/material-didatico>

BOTELHO, A. A produção do espaço e o empresariamento urbano: o caso de Barcelona e seu Fórum das Culturas de 2004. **Geosp. Espaço e Tempo**. São Paulo: FFLCH-USP, n.16, p.111-124, 2004."

BRANDÃO, A.C., SANTOS-FILHO, A.V. Sistema de Cadastro Territorial Georreferenciado em Áreas Urbanas Áreas Urbanas . **Revista VeraCidade** . vol. 3, n. 3, maio, 2008.

BRASIL. **Lei Federal nº 10.257**. 10 de jul. de 2001. Regulamenta os Arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.

BRASIL. **Portaria Ministerial n. 511**, Ministério das Cidades. 07 de dez. de 2009. Institui Diretrizes para a Criação, Instituição e Atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos Municípios Brasileiros.

BROOKS, B. M. et. al. The specificity of memory enhancement during interaction with a virtual environment. **Memory**. vol. 7, n. 1, p. 65-78, 1999.

BURGESS, N. Spatial memory: how egocentric and allocentric combine, **Trends in Cognitive Sciences**. vol. 10, n.12, p. 551-557, 2006.

BUSCHMANN, F. et. al. **Pattern-oriented software architecture: A system of patterns**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 1996.

BUZIEK, G. Legend Designs for Non interactive Cartographic Animations, Computer & Geosciences, Vol. 26, 21-28, 2000

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução ao Geoprocessamento. In: CÂMARA, G. et. al. (Orgs.) **Geoprocessamento: teoria e aplicações**. São José dos Campos: Inpe, 2000.

CARD, S.K., MACKINLAY, J.; SHNEIDERMAN, B. **Readings in Information Visualization: using vision to think**. Morgan Kaufmann Publishers, 1999. 689 p.

CARLOS, A. F. **A (Re) produção do espaço urbano: o caso de Cotia**. (tese de doutorado). Faculdade de Filosofia Letras e ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

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

CARTWRIGHT, W.; PETERSON, M. P.; GARTNER, G. **Multimedia Cartography**. 1. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1999. 343 p.

CASTELLS, M; BORJA, Jordi - "As Cidades como Atores Políticos", **Revista Novos Estudos CEBRAP**, São Paulo, n. 45, jul. 1996, p.152-166.

CHAN, Roy. et. al. **Urban Simulation: An Innovative Tool for Interactive Planning and Consensus Building**. Proceedings of the 1998 National Planning Conference, april 4-8, Boston, 1998.

CHEN, L. **Architectural visualization: An analysis from human visual cognition process**, Program in Digital Arts & Design Faculty of Art & Design, Monash University, Australia, 2004.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **As Perspectivas dos Estudos Geográficos**. São Paulo: Difel, 1997.

CHRISTOU, C. G., & BULTHOFF, H. H. View dependence in scene recognition after active learning, **Memory and Cognition**. vol. 27, p. 996-1007, 1999.

CONNIFF, A. et. al. A comparison of active navigation and passive observation of desktop models of future built environments, **Design Studies**. vol. 31, n. 5, p. 419-438, 2010

CONROY, Ruth. **Spatial navigation in immersive virtual environments**. 2010. Tese de Doutorado. University College London.

DALE, P. F.; MCLAUGHLIN, J. D. **Land Information Management: an Introduction with Special Reference to Cadastral Problems in Third World Countries**. New York: Oxford University Press, 1990.

DAMIANI, A.L. **As contradições do Espaço: Da lógica (Formal) à Lógica (Dialética), a Propósito do Espaço. O espaço no fim do Século a Nova Raridade**. São Paulo: Contexto, São Paulo, 1999.

DANAHY, J;W., HOINKES, R. **Polytrin: collaborative stteing for environmental design**. CAAD Futuress'95, Toronto: The Global Design Studio, 1995.

DIBIASI, D. Designing animated maps for a multimedia encyclopedia. **Cartographic Perspectives**. n. 19, p. 3–7, 1994.

DIBIASI, D. Animation and the role of map design in Scientific Visualization. **Cartography and Geographic Information Systems**, v.19, n.4, p. 201-214; 265-266, 1992.

DICKINSON, S. J. Object Representation and Recognition. In E. Lepore and Z. Pylyshyn, editors, *Rudgers University Lectures on Cognitive Science*, **Basil Blackwell publishers**. p. 172-207, 1999.

EARNSHAW, R.A.; WISEMAN, N. **An introductory guide to scientific visualization**. 1ed. Berlim: Springer – Verlag, 1992. 156 p.

ENEMARK, Stig. **From Cadastre to Land Governance in Support of the Global Agenda: The Role of Land Professionals and FIG**. Federação Internacional de Geômetras- FIG. Article of the Month, 2010.

EPSTEIN, Joshua M. **'Why Model?'**. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 11(4)12, 2008, 14p.

ERBA, Diego Alfonso; CARNEIRO, Andrea Flávia Tenório; AUGUSTO, Eduardo Agostinho Arruda. **3D CADASTRES IN SOUTH AMERICA**. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 64/4, 2013, p. 887-900.

ESRI. **Tutorial Multipatch Overpass**: Getting Started. Version: 1.1 Date: October 22, 2010, 9 p.

EVANS, J. Dual-Processing Accounts of Reasoning, Judgment, and Social Cognition, **Annual Review of Psychology**. vol. 59, p. 255-278, 2007.

FALUDI, A. Rationality, critical rationalism, and planning doctrine. In: S. J. MANDELBAUM, L. et. al. (eds.), **Explorations in planning theory**, The State University of New Jersey: Rutgers, 1996. p. 65-82.

FERNANDES, E. O Estatuto da Cidade e a ordem jurídico-urbanística. In: Celso Santos CARVALHO, C. S; ROSSBACH, A. C. **O Estatuto da Cidade** : comentado. São Paulo: Ministério das Cidades : Aliança das Cidades, 2010. 55 - 70 p.

FERRIS, Hugh. **The metropolis of tomorrow**. New York: Princeton Architectural Press, 1929.

FIG - International Federation of Surveyors (2005): Aguascalientes Statement – The Inter-Regional Special Forum on Development of Land Information Policies in the Americas. Aguascalientes, Mexico, **FIG Publication**. n. 34, 2005.

FIGUEIREDO, Marcelo. **Considerações a respeito da outorga onerosa (solo criado) no Projeto de Lei n. 5.788, de 1990**. Working Paper 30-2000/30. Lisboa: Faculdade de Direito da Universidade Nova de Lisboa.

FINKE, R. A. **Principles of Mental Imagery**. The MIT Press, MA, 1989.

FISCHER, G. Social Creativity, Symmetry of Ignorance and Meta-Design, **Special Issue on Creativity & Cognition 1999 of the International Journal Knowledge-Based Systems**, Elsevier Science B.V., Oxford, UK. vol. 13, n. 7-8, p. 527-537, 2000.

FLAXMAN, M. **Geodesign**: Fundamentals and Routes Forward. Presentation to the Geodesign Summit, Jan. 20, 2012, Redlands, CA. 2009.

FRANCISCO, Caramuru Afonso. **Estatuto da Cidade Comentado**. São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2001.

FRIEDMAN, J. Two centuries of planning theory: an overview. In: S. J. MANDELBAUM, L. et. al. (eds.), **Explorations in planning theory**, The State University of New Jersey: Rutgers, 1996. p. 10-29.

GALVÃO, Mariana Freire Agra. A Produção Capitalista do Espaço: o caso do mercado imobiliário do município de Jaboatão dos Guararapes (PE) e as novas reconfigurações produtivas na RMR. **Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais**, v. 1, n. 2, p. 42-59, 2012.

GIACOMELLI, A. **Integration of GIS and Simulation Models**. In: CAMPAGNA, M. **GIS for sustainable development**. CRC Press, 2006, p. 181 – 192.

GIGERENZER, Gerd; SELTEN, Reinhard (Ed.). **Bounded rationality: The adaptive toolbox**. Mit Press, 2002.

GODOY, Vanessa Ferraz; **Paisagem cultural do centro do Rio de Janeiro - identificação, caracterização e representação do olhar da comunidade com o apoio da cartografia e da navegação virtual**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2011, 156p.

GOMES, F. **Autodesk BIM&SIG**. Material do Webinar da Autodesk, 2012.

GOOGLE, 2012 - Imagens Disponíveis em acervo. Última Consulta: Outubro de 2012.

G. CULLEN. **Townscape**. Architectural Press, 1971. 199 p.

Haber, R. & McNabb, D. A. (1990). Visualization idioms: A conceptual model for scientific visualization systems. In *Visualization in Scientific Computing*.

HALL, E.T. **A dimensão oculta**. 2. ed. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1981. 180 p.

HALL, P; TEWDWR-JONES, M., **Urban and Regional Planning**. Taylor & Francis, 2001.

HARVEY, David . “Do gerenciamento ao empresariamento: a transformação da administração urbana no capitalismo tardio”. **Espaço & Debates**. n. 39, NERU, 1996, p. 48-64.

HARVEY, David. **A Justiça Social e a Cidade**. Armando Correa da Silva (Trad.) São Paulo:Hucitec. 1980. 291 p.

HOCH, C. A pragmatic inquiry about planning and power. In: S. J. MANDELBAUM, L. et. al. (eds.), **Explorations in planning theory**, The State University of New Jersey: Rutgers, 1996. p. 30-44.

HOINKES, R.; E. LANGE. 3D for free. Toolkit expands visual dimensions in GIS. **GIS World**. vol.8, n.7, p. 54-56, 1995.

KAVAKLI, M; GERO, J. S. Sketching as mental imagery processing. **Design Studies** vol. 22, n. 4, p. 347-364, 2001.

KENYON, R. V. et. al. Accommodation and Size-Constancy of Virtual Objects, **Annals of Biomedical Engineering**. vol. 36, n. 2, p. 342-348, 2008.

KLATZKY, R. L. Allocentric and egocentric spatial representations: Definitions, distinctions, and interconnections, **Spatial Cognition**. vol. 14, n.4, p. 1-17, 1998.

KOH, G. et al. Use of virtual environments for acquiring configurational knowledge about specific real-world spaces, **Presence: Teleoperators & Virtual Environments**. vol. 8, p. 632-656, 1999.

KOSSLYN, S. Visual mental images as re-presentations of the world: A cognitive neuroscience approach, **Visual and Spatial Reasoning in Design**, p. 83-92, 1999.

LANGE, E. Communicating with the Public through Visualizations, Trends in Real-time Visualization and Participation. In: BUHMANN, E. et. al. (Eds.). **Trends in Real-Time Landscape Visualization and Participation**. Heidelberg: Wichmann, 2005. p. 16-26.

LARSSON, P., VÄSTFJÄLL, D., KLEINER, M. The Actor-Observer Effect in Virtual Reality Presentations, **CyberPsychology & Behavior**, vol. 4, n. 2, p. 239-246, 2001.

Leão, C., Krug, L. A., Kampel, M. e Fonseca, L. M. G. **Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do**

uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. Anais. São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos., p. 939-946.

LEFEBVRE, Henri. **A Revolução Urbana.** MARTINS, Sérgio (Trad.) Belo Horizonte: Ed. UFMG, 1999. 178p.

LEFEBVRE, Henri. **Lógica formal, lógica dialética.** Rio de Janeiro: Civilização brasileira, 1995, p. 192.

LEMOS, André. **Cidade e mobilidade. Telefones celulares, funções pós-massivas e territórios informacionais.** Matrizes. Revista do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade de São Paulo. 2007. p 131-177.

LOCH, Carlos & ERBA, Diego A. **Cadastro técnico multifinalitário urbano e rural.** 2007. ISBN 85-906701-2-0. 142 p.

LOGIE, R. H. **Visuo-spatial working memory.** Hove: Erlbaum Associates, 1995.

LYNCH, Kevin. **The Image of the City.** Cambridge Massachussettes., MIT Press, 1960. 194 p.

MARINI, M. The potencial of interactive graphics systems, in: SECONDINI, Piero (org), **The Knowledge of the land and the Environment: the Role of Information Technology,** Milano: Enitada, 1988, p.199-153.

MAARTTOLA, I; SAARILUOMA, P. Error risks and contradictory decision desires in urban planning, *Design Studies*, vol. 23, n. 5, p. 455-472, 2002.

MACEACHREN, A. M. **How Maps Work: Representation, Visualization, and Design.** New York: The Guilford Press, 1995. 513 p.

MACEACHREN, A. M. Visualization: Cartography for the 21st century. In: **annual conference of polish spatial information association, 7th,** 1998, Warsaw, Poland. Proceedings... Warsaw: PSIA, v. 2, 1998. p. 287-296

MACEACHREN, A. M.; KRAAK, M. J. Exploratory cartographic visualization: advancing the agenda. **Computers & Geosciences**, v.23, n. 4, p. 335-343, 1997.

MACKINLAY, J. Applying a theory of graphical presentation to the graphic design of user interfaces, **Symposium on User Interface Software and Technology.**

Proceedings of the 1st annual ACM SIGGRAPH symposium on User Interface Software. p. 179-189, 1988.

MAYER, H. "Levels of detail in 3d building reconstruction from lidar data", Proc. Int. Archives Photogrammetry, **Remote Sensing, and Spatial Information Sciences.** vol. 37, p. 485 -490, 2008.

MCCORMICK B. H. et al. Visualization in Scientific Computing. **Computer Graphics, ACM Siggraph,** vol. 21, n. 6, 1987.

Moura, A. C. M. **Aplicações de modelos de mensuração de métricas de paisagem nos estudos da dinâmica de ocupação urbana no quadrilátero ferrífero e região metropolitana de Belo Horizonte – MG - XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia - Aracaju - SE - Brasil, 2010.**

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento aplicado ao planejamento urbano e à gestão do patrimônio histórico de Ouro Preto – MG.** Rio de Janeiro: Programa de Pós-Graduação em Geografia. IGEO. UFRJ, 2002. 482 p. (Tese de Doutorado)

MOURA, Ana Clara M. Learning topics in urban planning at UFMG: geoprocessing to support analysis, planning and proposal of the urban landscape at neighborhood scale. **5th International Seminar on Environmental Planning and Management - Urban Responses for Climate Change - Brasilia, Brazil - October 18 – 20, 2012.** 15 p.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano.** Belo Horizonte: Edição da autora, 2003, 294 p.

MOURA, A. C. M., FREIRE, G. J. M. O papel do Cadastro Territorial Multifinalitário nas políticas públicas de planejamento e gestão urbana como apoio aos instrumentos do Estatuto da Cidade.. Rio de Janeiro, **Revista Brasileira de Cartografia,** n. 65, v.2, p. 315-325, 2013. (Edição Espacial de Cadastro Territorial Multifinalitário)

MOURA, A. C. M., SANTANA, Sheyla A. **As parcelas como nova forma de modelar a cidade no cadastro territorial multifinalitário.** Relatório Técnico submetido ao Programa PROEXT 2013, Ministério das Cidades, 2014.

MOURA, A. C. M., SANTANA, Sheyla, A. From authorial drawings to the parametric modeling of territorial occupation: representation and modeling influences in the process of designing the urban space. **Revista Brasileira de Cartografia, 2014.** (não publicado).

MULLINS, M. Interpretation of simulations in interactive VR environments: depth perception in cave and panorama, **Journal of Architectural and Planning Research**. vol. 23, p. 328-340, 2006.

NACERI, A. et. al. What Visual Cues Do We Use to Perceive Depth in Virtual Environments?, ICIRA 2009, LNAI 5928, **Springer-Verlag**, Berlin: Heidelberg, p. 812-823, 2009.

National Institute of Building Sciences. **Journal of Building Information Modeling**, Falls, 2000. 82 p.

NETO, Floriano de Azevedo Marques. **Outorga Onerosa do Direito de Construir (Solo Criado). Estatuto da Cidade (Comentários à Lei Federal 10.257/2001)** / Coordenadores Adilson Abreu Dallari e Sérgio Ferraz. São Paulo: Malheiros Editores, 2002.

NICCOLA, C. Dialettica di modelli e fattori d'incertezza nello studio delle aree metropolitane. In.: **Bolognafiore – SAIE. Il projeto metropolitano: la città Europea**, Bologna: Fiere di Bologna, 1991. p. 20.

NIELSEN, A. **A Qualification of 3D Geovisualisation**: PhD thesis, Institut for samfundsudvikling og planlægning, Aalborg Universitet, Denmark, 2007,

NIJKAMP, P; H.J. SCHOLTEN. Spatial Information Systems: Design, Modelling and Us in Planning. In: **International Journal of Geographical Information Systems**. vol. 1, n. 7, p. 85-96, 1993.

NIKOLIC, D. **Evaluating relative impact of virtual reality components detail and realism on spatial comprehension and presence**. Pennsylvania State University, U.S., 2007.

NORBERG-SCHULZ, C. **Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture**. New York: Rizzoli, 1980.

NORONHA, Carlos Roberto; COSTA, Heloisa Soares de Moura. **Área central de Belo Horizonte: arqueologia do edifício vertical e espaço urbano construído**. (dissertação de mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, 1999.

NOY, Natalya F.; CHUGH, Abhita; ALANI, Harith. **The CKC challenge: Exploring tools for collaborative knowledge construction.** Intelligent Systems, IEEE, v. 23, n. 1, p. 64-68, 2008.

PENSA, S. **Supporting Planning Processes by the Use of Dynamic Visualization. International Seminar New tendencies on Geotechnologies to Urban Planning.** UFMG, Brazil, 2013. (notas de apresentação e discussões em seminário).

PERUCH, P; GAUNET, F. **Virtual environments as a promising tool for investigating human spatial cognition,** Current Psychology of Cognition, vol. 17, n. 4-5, 881-899, 1998.

PETIT, C; PULLAR, D. **An Integrated planning tool based upon multiple criteria evaluation of spatial information.** Computers, Environment and Urban Systems. n. 23, p. 339-357, 1999.

PEUQUET, Donna J; MARBLE, Duane F. (Eds). **Introductory Readings in Geographic Information Systems.** London: Taylor & Francis, 1990. 387 p.

PLANK, M. et. al. **Gramann Human EEG correlates of spatial navigation within egocentric and allocentric reference frames** C. Hölscher (Ed.) et al., Spatial Cognition VII, Springer, Berlin Heidelberg, p. 191-206, 2010.

POSTMES, T; SPEARS, R; CIHANGIR, S. Quality of Decision Making and Group Norms, **Journal of Personality and Social Psychology.** vol. 80, p. 918-930, 2001.

PRATES, R.O.; SOUZA, C.S.; BARBOSA, S.D.J.; **A Method for Evaluating the Communicability of User Interfaces.** Interactions 7, 1. New York: ACM Press, p. 31-38, 2000.

RIBEIRO, José Carlos; LIMA, Leonardo Branco. **Mapas colaborativos digitais e (novas) representações sociais do território: uma relação possível.** Ciberlegenda, v. 2, n. 25, p. 35-47, 2011.

RIECKE, B. et. al. Do We Need to Walk for Effective Virtual Reality Navigation?, Physical Rotations Alone May Suffice, **Spatial Cognition VII.** vol. 6222, p. 234-247, 2010.

ROLNIK, Raquel. **Brasil, Estatuto da cidade:** Guia para implementação pelos municípios e cidadãos. Estatuto da Cidade: Lei 10.257 de 10 de julho de 2001, que

estabelece diretrizes gerais da política urbana. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de publicações, 2001.

SANDERCOCK, M. **Cartographic visualization relies on the use of maps to present cartographic ideas, is this visualization metaphor relevant in today's digital world?**, 2000. Disponível em: <www.gisca.adelaide.edu.au/~msanderc/>.

SANTANA, S.A.S. **Modelagem de comunicação em WebGis para difusão de dados geográficos e promoção da análise espacial**. UFMG, 2009. (dissertação de mestrado)

SARJAKOSKI, T. Networked GIS for public participation - Emphasis on utilizing image data, Computers, **Environment and Urban Systems**, vol. 22, No. 4, 381-92, 1998.

SCHNABEL, Marc A.; KVAN, Thomas. **Spatial understanding in immersive virtual environments**. International Journal of Architectural Computing, v. 1, n. 4, p. 435-448, 2003.

SCHULZ-HARDT, S. et. al. 2000, Biased information search in group decision making, Journal of Personality and Social Psychology, Vol. 78, No. 4, 655-669.

SHUFELT, J. **Geometric Constraints for Object Detection and Delineation**, 1999. 530 p.

SIMON, H. **A Behavioral Model of Rational Choice, in Models of Man, Social and Rational: Mathematical Essays on Rational Human Behavior in a Social Setting**, New York, Wiley, 1957.

SLOCUM, T.A. **Thematic cartography and visualization**. Upper-Saddle River, NJ:Prentice-Hall. 293 p. 1999.

SMITH, Andy, Dodge, Martin, and DOYLE, Simon. Visual Communication in Urban Planning and Urban Design. Centre for Advanced Spatial Analysis Working Paper Series Paper 2, 1998.

SOMMERVILLE, Ian. **Software Engineering. Pearson education**. Asia, 6. ed. 2000

SUNESON, K. et. al. 2008, Virtual Reality As a New Tool in the City Planning Process, **Tsinghua Science and Technology**, Vol. 13, No. 1, 255-260.

SVENSSON, C. et. al. Arkitektävlingar, gestaltningsprogram och arkitektonisk kvalitet. Working Paper, TRITA-ARK-Forskningspublikationer 2006:1. **Skolan för arkitektur och samhällsbyggnad**, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, Swede.

TARR, M. J., VUONG, Q. C.: 2002, **Visual object recognition**. In H. Pashler & S. Yantis (Eds.) Steven's Handbook of Experimental Psychology (3rd ed.), Sensation and Perception, John Wiley & Sons, Inc., New York, Vol. 1, 287-314.

THOMPSON, E. M., HORNE, M., LOCKLEY, S. and CERNY, M. **Towards an information rich 3D city model: virtual Newcastle Gateshead GIS Integration**. In: CUPUM '11 12th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, 2011, Alberta, Canada. 14p.

TOMLIN, Dana. **Geographic Information Systems and cartographic modeling**. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990. 249 p.

TRAVERSARI, E. Vant e fotogrammetria - Um piscar sobre a tecnologia. **Workshop de Sensoriamento Remoto**. UFPE - 5 de Julho 2013.

UCGIS (1996) - "Research Priorities for Geographic Information Science" - **Cartography and Geografic Information System**, 23/3, 1996.

UNDERKOFFLER, John; ISHII, Hiroshi. **Urp: a luminous-tangible workbench for urban planning and design**. In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 1999. p. 386-393.

USP. **Material de Divulgação da Caverna Virtual**. Núcleo de realidade virtual do laboratório de sistemas integráveis, 2013, 8 p.

VAN DER BERG; VAN DER MEER. **Quando dizem que É passato il tempo dela pianificazione programmata**. Si deve dare spazio ala flessibilità e alla creatività, 1991, p. 41.

VANDE, A.M. Form Follows Data: **The Symbiosis between Design & Information Visualization**, International Conference on Computer-Aided Architectural Design (CAADfutures'05), OKK Verlag, Vienna, Austria, pp. 31-40, 2005

VECERA, S. P. **Visual object representation**: An introduction, *Psychobiology*, Vol. 26, 281-308, 1998.

VERTEGAAL, Roel et al. **Designing for augmented attention: Towards a framework for attentive user interfaces**. *Computers in Human Behavior*, v. 22, n. 4, p. 771-789, 2006.

VICENTINI, I. **Teorias da cidade: reformas urbanas contemporâneas**”, in *Anais do IX Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional - Anpur*. Rio de Janeiro: Anpur/Ippur/UFRJ. 2001.

VOLKER, L.: **Deciding about Design Quality**, Value judgements and decision making in the selection of architects by public clients under European tendering regulations, Leiden: Sidestone Press.

WARE, C.; PLUMLEE, M. **3D geovisualization and the structure of visual space**. *Exploring Geovisualization*, p. 567-576, 2005.

WEAVER, D. H.: 2007. Thoughts on Agenda Setting, Framing, and Priming, *Journal of Communication*, Vol. 57, 142-147.

WILLIAMSON, I. et al. **Land Administration and Spatial Data Infrastructures**. FIG Working Week 2005 and GSDI-8, Cairo, Egypt April 16-21, 2005.

WILSON, P. N., & Wildbur, D. J. **First-perspective alignment effects in a computer-simulated environment**, *British Journal of Psychology*, vol. 95, 197-217, 2004.

XAVIER-DA-SILVA, Jorge. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro: D5 Produção Gráfica, 2001. 228 p.

YI-FU, Tuan . **Topophilia**: a study of environmental perception, attitudes, and values. Columbia University Press, 1990. 260 pag.

YUILLE, A.L; ULLMAN, S. Computational Theories of Low Level Vision. In: **An Invitation to Cognitive Science**. vol. 2, Eds. D. Osherson, S. Kosslyn and J. Hollerbach, MIT Press, Cambridge, MA, 1990.

ZEVI, B. **Saber Ver a Arquitetura**. Martins Fontes, São Paulo, 1978. 276 p.

ZHOU, Feng; DUH, Henry Been-Lirn; BILLINGHURST, Mark. **Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR.** In: Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. IEEE Computer Society, 2008. p. 193-202.

ZIPF, A. Spatiotemporal Data Modeling for “4D” Databases, p.123 - 141 In: CAMPAGNA, M. **GIS for sustainable development.** CRC Press, 2006. 535 p.

ZYNGIER, C M. **Paisagens possíveis:** Geoprocessamento na análise da ação de agentes modeladores das paisagens urbanas dos Bairros Santa Lúcia e Vale do Sereno. Belo Horizonte: Programa de pós-graduação em arquitetura e urbanismo. EA, UFMG, 2012, 296 p. (Dissertação de mestrado).

ANEXO 1 - REGRAS

Regra da Cidade Construída.

```
attr height = 0
attr GFHeight = 3
attr UFHeight = 3
attr AreaEdificada = 0

Edificacoes -->
  set (AreaEdificada, geometry.area) report ("Area da
Edificação Existente", AreaEdificada)
  extrude (height)
  set (material.opacity, 0.5)
  split (y) {GFHeight : Volume("GF") | ~1 : UpperFloor }

UpperFloor -->
  split (y) { ~ UFHeight : Volume("UF") } *

Volume (volumeType) -->
  case volumeType == "GF":
    color ("#D9D919")
    set (material.opacity, 0.5)
    Reporting
  else :
    color ("#D9D919")
    set (material.opacity, 0.5)
    Reporting

Reporting -->
  report ("Primeiro Andar Existente", geometry.area (bottom))
  report ("Demais Andares Existente", geometry.area (bottom) /
AreaEdificada )
```

Regra das Vias

```
/**
 * File:    Vias.cgal
 * Autor:   Sheyla Santana
 */

version "2011.1"

# -----
# Attributes
# -----

@Group("Model Options",0) @Order(1) @Range("Low","High")
attr Level_of_Detail = "Low"

const highLOD = Level_of_Detail == "High"

# -----
# Street Attributes

@Description("nbr of lanes. in case both are set to 0 (default), same
number of lanes in both directions")
@Group("Street Layout",1) @Order(1) @Range(0,4)
attr Nbr_of_left_lanes = 0

@Description("nbr of lanes. in case both are set to 0 (default), same
number of lanes in both directions")
@Group("Street Layout",1) @Order(2) @Range(0,4)
attr Nbr_of_right_lanes = 0

@Description("avg lane width, only needed when lane numbers are not
set (= 0)")
@Group("Street Layout",1) @Order(3) @Range(3,8)
attr Lane_width = 3.5

@Group("Street Layout") @Order(4) @Range(0,10)
attr Median_width = case hasMedianInit: 1.5 else: 0

@Group("Street Layout") @Order(5)
attr Lawns = case p(0.5): true else: false

@Group("Street Layout") @Order(6)
attr Arrow_marking = case p(0.3): true else: false

# -----
# Crosswalk Attributes

@Description("if no crosswalks should be generated, it can be set to
zero")
@Group("Crosswalk",2) @Order(1) @Range(0,10)
attr Crosswalk_width =
    case lenAlongU > 3:
    case lenAlongV > 10: 4 else: 3
    else: 0

@Group("Crosswalk",2) @Order(2) @Range("American","European")
attr Crosswalk_style = "American"
```

```

# -----
# Street Furniture Attributes

@Group("Lights",3) @Order(1)
attr Traffic_lights = false

@Group("Lights") @Order(2)
attr Lamps = false

@Group("Lights") @Order(3) @Range(1,30)
attr Lamp_distance = 14

@Group("Trees",4) @Order(1) @Range(0,100)
attr Tree_percentage = 0

@Group("Trees") @Order(2) @Range(2,50)
attr Tree_distance = rand(10,20)

@Group("Trees") @Order(3) @Range(2,30)
attr Tree_max_height = 7

# -----
# Bridge Attributes

@Group("Bridge",5) @Order(1)
attr Force_bridge = false

@Group("Bridge",5) @Order(2)
attr Bridge_Thickness = 1

@Group("Bridge",5) @Order(3)
attr Pier_distance = 23

@Group("Bridge") @Order(4)
attr Pier_width = 2.3

# -----
# Vehicle Attributes

@Description("vehicles per km per lane")
@Group("Traffic Density",6) @Range(0,200) @Order(1)
attr Vehicles_per_km = 0

@Group("Traffic Density") @Range(0,100) @Order(2)
attr Bus_Percentage = 3

# -----
# Sidewalk Attributes

@Group("Sidewalk",7) @Order(1) @Range(0,100)
attr People_percentage = 0

@Group("Sidewalk") @Order(2) @Range(0,100)
attr Props_percentage = 0

@Group("Sidewalk") @Order(3) @Range(0,0.4)
attr Sidewalk_height = 0.2 # height of sidewalk (and depth of curbs)

```

```

# -----
# Mapped Attributes

@Group("Connected Attributes",8) @Order(1) //@Hidden
attr connectionEnd = "STREET" # built in value attributes, needs
to be sourced as Object (parent)

@Group("Connected Attributes") @Order(2) //@Hidden
attr connectionStart = "STREET" # built in value attributes,
needs to be sourced as Object (parent)

@Group("Connected Attributes") @Order(3) //@Hidden
attr type = "MINOR" # built in value attributes, needs
to be sourced as Object (parent)

@Group("Connected Attributes") @Order(4)
attr elevation = 0

# -----
# Functions
# -----

hasMedianInit =
  case calcNbrOfLanes > 3.99:
    case Nbr_of_left_lanes > 0 && Nbr_of_right_lanes > 0: true
    case Nbr_of_left_lanes == 0 && Nbr_of_right_lanes == 0:
true
    else: false
  else: false

calcNbrOfLanes = rint(lenAlongV/ Lane_width )
calcLanesLeft = rint((lenAlongV*0.5-Median_width) / Lane_width)
calcLanesRight = rint((lenAlongV - calcLanesLeft*Lane_width -
Median_width) / Lane_width)

lenAlongU = geometry.du(0,unitSpace) # for convenience and
readability only
lenAlongV = geometry.dv(0,unitSpace) # for convenience and
readability only

### -----
# connection check helper functions

# connection check depending on the mapped connection identifier
connected(ident) =
  case ident == "CROSSING" : true
  else : false

# test if shape is a connected start
isConnectedAtStart =
  connected(connectionStart)

# test if shape is a connected end
isConnectedAtEnd =
  connected(connectionEnd)

```

```

# returns 1 if a crossing at start/end, otherwise 0. Used as split
dimension for crosswalk split
conStart =
    case isConnectedAtStart : 1 else: 0
conEnd =
    case isConnectedAtEnd: 1 else: 0

# -----
# Assets
# -----

LOD = case highLOD: 1 else: 0

# Street Textures
concrete_tex = "assets/streets/textures/asphalt.jpg"
sidewalk_tex = "assets/streets/textures/asphalt_brighter.jpg"
crosswalk_tex =
    case Crosswalk_style == "American" :
"assets/streets/textures/crosswalk_us2.jpg"
    else
"assets/streets/textures/crosswalk.jpg"
curb_tex = "assets/streets/textures/curb.jpg"

arrows = case Arrow_marking: "arrows" else: "stop"

getStreetTexture(type,lanes) =
    case lanes >= 4 : "assets/streets/textures/street_4lanes_" +
type + ".jpg"
    case lanes < 1 : "assets/streets/textures/street_1lanes_" +
type + ".jpg"
    else
: "assets/streets/textures/street_" + lanes +
"lanes_" + type + ".jpg"

# sidewalk props
newsbox_asset = "assets/streets/street_furniture/newsbox.obj"
mailbox_asset = "assets/streets/street_furniture/mailbox.obj"

# signs
getSign = fileRandom("assets/streets/traffic_signs/*.obj")

# lamps
lamp2_asset = "assets/streets/lamps/lamp.02.parallel.lod" + LOD +
".obj"
lamp3_asset = "assets/streets/lamps/lamp.03.withsign.lod" + LOD +
".obj"
lamp4_asset = "assets/streets/lamps/lamp.04.single.lod0.obj"
lamp5_asset = "assets/streets/lamps/lamp.05.withsign.lod" + LOD +
".obj"

# trafficcontrols
trafficcontrol1_asset =
"assets/streets/traffic_controls/traffic_light.01.with_walking_signs.l
od" + LOD + ".obj"
trafficcontrol2_asset =
"assets/streets/traffic_controls/traffic_light.02.big_with_lamp_and_si
gn.lod" + LOD + ".obj"
trafficcontrol3_asset =
"assets/streets/traffic_controls/traffic_light.03.4sides.obj"

```



```

trafficcontrol4_asset =
"assets/streets/traffic_controls/bigsign.01.luminated.lod" + LOD +
".obj"

# vegetation
tree =
    case highLOD : fileRandom("assets/vegetation/trees-
geometry/Tree_*.obj")
    else         : fileRandom("assets/vegetation/trees-
billboards/alleyTree_*_v1.obj")

lawn_tex = "streets/textures/lawn.jpg"

# -----
# Street Rule
# -----

@StartRule
Street -->
    alignScopeToAxes (y)
    split(u,unitSpace,0){ Crosswalk_width *conStart : Crosswalk(-1)
                        | ~1                          :
Streetsides
                        | Crosswalk_width *conEnd   :
Crosswalk(1) }
    BridgeMain

# create left and right side of the street (per default same nbr of
lanes in both directions, but user can influence it via attributes)
Streetsides -->
    case calcNbrOfLanes < 1.1 : Asphalt
    case Nbr_of_left_lanes == 0 && Nbr_of_right_lanes == 0:
        split(v,unitSpace,0){ ~calcLanesLeft          :
Lanes (calcNbrOfLanes,connectionEnd,0) Vehicles(0)
                        | Median_width
: Median
                        | ~calcLanesRight
: scaleUV(0,-1,-1) Lanes (calcNbrOfLanes,connectionStart,2)
Vehicles(2) }
    else:
        split(v,unitSpace,0){ ~Nbr_of_left_lanes :
Lanes (Nbr_of_left_lanes,connectionEnd,0) Vehicles(0)
                        | Median_width
: Median
                        | ~Nbr_of_right_lanes :
scaleUV(0,-1,-1) Lanes (Nbr_of_right_lanes,connectionStart,2)
Vehicles(2) }

# Lanes
Lanes (nLanes,connectionType,dir) -->
    case connectionType == "STREET" || lenAlongU < 10:
        Asphalt("stripes",nLanes)
    case connectionType == "JUNCTION" && type == "MAJOR":
        Asphalt("stripes",nLanes)
    else:
        split(u,unitSpace,0){ ~1 : Asphalt("stripes",nLanes)
                        | 12 : Asphalt(arrows,nLanes)
trafficcontrol (dir) }

# Asphalt

```

```

# - with lanes
Asphalt (type,nLanes) -->
    case lenAlongU > 3:
        [ extrude(0.1) comp(f){all: NIL} ] // required for
occlusion check
        normalizeUV(0, uv, collectiveAllFaces)
        scaleUV(0,0.5*rint(lenAlongU/6),1)
        texture(getStreetTexture (type,nLanes))
        Asphalt.
    else:
        Asphalt

# - no lanes
Asphalt -->
    [ extrude(0.1) comp(f){all: NIL} ] // required for occlusion
check
    setupProjection(0, world.xz, 12, 9) projectUV(0)
    texture(concrete_tex)
    Asphalt.

# -----
# Traffic Light
# -----

trafficcontrol (dir) -->
    case Traffic_lights :
        split(u,unitSpace,0){ ~1 : NIL
            | 0.1: split(v,unitSpace,0){ 0.1: t(0,
Sidewalk_height , (1-dir)*2* Sidewalk_height ) alignScopeToAxes (y)
trafficcontrolAsset (dir) } }
    else :
        NIL

trafficcontrolAsset (dir) -->
    20% : s(0,3,0) r(0,-90+dir*90,0) i(trafficcontrol1_asset)
    30% : s(0,6,0) r(0,-90+dir*90,0) i(trafficcontrol4_asset)
    20% : s(0,2,0) r(0,-90+dir*90,0) i(trafficcontrol3_asset)
    else: s(0,6,0) r(0,-90+dir*90,0) i(trafficcontrol2_asset)

# -----
# Crossing & Junction
# -----

Crossing -->
    alignScopeToAxes (y)
    Asphalt
    BridgeCrossing

Junction -->
    alignScopeToAxes (y)
    Streetsides
    BridgeCrossing

JunctionEntry -->
    alignScopeToAxes (y)
    Asphalt
    BridgeCrossing

Island -->
    NIL

```

```

# -----
# Crosswalk
# -----

# splits the street the same way as before the lanes
Crosswalk(side) -->
    case Median_width > 0 && Nbr_of_left_lanes == 0 &&
Nbr_of_right_lanes == 0:
        split(v,unitSpace,0){ ~calcLanesLeft           :
CrosswalkTex
                                | Median_width - Sidewalk_height :
Isle(side)
                                | ~calcLanesRight
                                : CrosswalkTex }
        case Median_width > 0:
            split(v,unitSpace,0){ ~ Nbr_of_left_lanes   :
CrosswalkTex
                                | Median_width - Sidewalk_height :
Isle(side)
                                | ~ Nbr_of_right_lanes      :
CrosswalkTex }
        else :
            CrosswalkTex

# texture the shape
CrosswalkTex -->
    case geometry.isRectangular(2):
        CrosswalkTexQuad
    case geometry.isRectangular(5):
        alignScopeToGeometry(zUp,0,0)
        split(x){ ~1: Asphalt | '0.6: CrosswalkTexQuad | ~1: Asphalt
}
    else:
        Asphalt

CrosswalkTexQuad -->
    normalizeUV(0, uv, collectiveAllFaces)
    scaleUV(0,1,ceil(lenAlongV)/8)
    texture(crosswalk_tex) asdf.

# the isle is a small extrusion plus a round median-end is added
Isle(side) -->
    alignScopeToGeometry(zUp, 0, 0)
    MedianWithCurb( Sidewalk_height *0.2)
    RoundMedian(side)

# the median end is translated and splitted according to the side
parameter (very hacky to support round streets)
RoundMedian(side) -->
    case side == 1:
        split(u,unitSpace,0){ '0.99: NIL | ~1:
            alignScopeToGeometry(yUp, 0, longest)
            s( Median_width,'1,Median_width)
            t(-Sidewalk_height*0.5,0,0)
            alignScopeToGeometry(yUp, 0, 2)
            split(x){ Median_width *0.5 : RoundCurbs(2)
                | ~1 : MedianWithCurb(
Sidewalk_height )
                | Sidewalk_height : SolidCurbsNormal } }

```

```

else:
    split(u,unitSpace,0){ '0.01:
        alignScopeToGeometry(yUp, 0, longest)
        s( Median_width,'1,Median_width)
        t(-Sidewalk_height*0.5,0,'-1)
        alignScopeToGeometry(yUp, 0, 0)
        split(x){ Median_width *0.5 : RoundCurbs(2)
            | ~1 : MedianWithCurb(
Sidewalk_height )
            | Sidewalk_height : SolidCurbsNormal } }

# and insert half a cylinder
RoundCurbs(index) -->
    extrude( Sidewalk_height ) setPivot(xyz,index)
    i("streets/misc/roundcurbs.obj")
    comp(f){ top : split(y){ Sidewalk_height : Curbs | ~1 :
MedianFill(Sidewalk_height) }
        | side : Curbs }

# -----
# Median
# -----

Median -->
    MedianWithCurbs
    alignScopeToAxes(y)
    CenterLamps CenterTrees

# adds curbs on all sides
MedianWithCurbs -->
    case Crosswalk_width > 0 || Median_width < 1:
        split(u,unitSpace,0){ Sidewalk_height *conStart :
SolidCurbs
            | ~1 :
MedianWithCurb( Sidewalk_height)
            | Sidewalk_height *conEnd : SolidCurbs }
    else: # in case crosswalkWidth is set to zero, we make a round
finishing
        split(u,unitSpace,0){ lenAlongV*0.5*conStart : Asphalt
RoundCurbs(2)
            | ~1 : MedianWithCurb(
Sidewalk_height)
            | lenAlongV*0.5*conEnd : Asphalt
RoundCurbs(0) }

MedianWithCurb(h) -->
    extrude(world.y,h)
    comp(f){ top : split(v,unitSpace,0){ Sidewalk_height : Curbs |
~1 : MedianFill(h) | Sidewalk_height : Curbs }
        | side : Curbs }

MedianFill(h) -->
    case Lawns && h > Sidewalk_height*0.5 : Lawn #do not create
lawn on median's of crosswalks
    else : Pavement

# distributes lamps
CenterLamps -->
    case Lamps :
        split(u,unitSpace,0){ ~ Lamp_distance : NIL

```

```

| { 0.1: alignScopeToGeometry(yUp,0,0) s(0,0,0)
center(xyz) Lamp(2)
| ~ Lamp_distance : NIL }* }

else : NIL

# and trees
CenterTrees -->
  case p(Tree_percentage/100) && scope.sz > 1.5:
    split(u,unitSpace,0){ ~ Tree_distance *0.5 : NIL
      | { 0.1: s(0,0,0) center(xyz) Tree | ~
Lamp_distance : NIL }*
      | 0.1: s(0,0,0) center(xyz) Tree | ~
Lamp_distance *0.5 : NIL }
    else : NIL

# -----
# Bridge Construction
# -----

const isBridge = Force_bridge ||
  convert(y,scope,world,pos,scope.sx*0.5,scope.sy*0.5,scope.sz*0.5)
)-elevation > 2
const isRaised =
  convert(y,scope,world,pos,scope.sx*0.5,scope.sy*0.5,scope.sz*0.5)
)-elevation > 0.5

heightOverTerrain =
  convert(y,scope,world,pos,scope.sx*0.5,scope.sy*0.5,scope.sz*0.5)-
  elevation

BridgeMain -->
  case isBridge:
    BridgeConcrete(Bridge_Thickness)
    translate(rel,world,0,-Bridge_Thickness,0)
    split(u,unitSpace,0){ ~Pier_distance/2 : NIL
      | { Pier_width : Pier | ~Pier_distance : NIL }*
      | Pier_width : Pier | ~Pier_distance : NIL }
    else : NIL

Pier -->
  case heightOverTerrain > 0:
    split(v,unitSpace,0){ '0.15: NIL
      | ~1: alignScopeToGeometry(yUp,0,0)
        extrude(world.y,-heightOverTerrain)
        alignScopeToAxes(y)
        s('1','20','1) t(0,'-0.5,0) PierCheck
      | '0.15: NIL }
    else : NIL

PierCheck -->
  case overlaps(inter):
    NIL
  else:
    t(0,'0.5,0) s('1','0.05','1)
    split(y){2.2: PierBase | ~1: PierShafts | 1: BridgeSolid }

PierShafts -->
  case scope.sz > 7:
    split(x){ 0.5: NIL

```

```

        | ~1 : split(z){ ~1: NIL | ~3: comp(f){side:
BridgeSolid} | ~4: NIL | ~3: comp(f){side: BridgeSolid} | ~1: NIL }
        | 0.5: NIL }
    else:
        split(x){ 0.5: NIL
        | ~1 : split(z){ ~0.5: NIL | ~3: comp(f){side:
BridgeSolid} | ~0.5: NIL }
        | 0.5: NIL }

PierBase -->
    s('1, scope.sy+5, '1) t(0, -5.3, 0) i("builtin:cube")
    comp(f){ side: BridgeSolid | top: roofHip(60) split(y){ 0.3:
BridgeSolid } }

BridgeSide -->
    case isBridge:
        BridgeRailing
        BridgeConcrete(0.4) translate(rel, world, 0, -0.4, 0)
        reverseNormals
        comp(f){all: BridgeSlope }
    case isRaised:
        BridgeConcrete(2)
    else : NIL

BridgeCrossing -->
    case isBridge:
        BridgeConcrete(Bridge_Thickness)
    else : NIL

BridgeSlope -->
    case geometry.isRectangular(10) && Bridge_Thickness > 2:
        roofShed(23, 2)
        comp(f){all = BridgeMaterial }
    else:
        NIL

BridgeConcrete(height) -->
    translate(rel, world, 0, -height, 0)
    extrude(world.y, height)
    comp(f){top: NIL | all= BridgeMaterial }

BridgeRailing -->
    case highLOD == true:
        translate(rel, world, 0, Sidewalk_height , 0)
        split(v, unitSpace, 0){ ~1: NIL | 0.4: extrude(world.y, 0.8)
color("#eeeeee") comp(f){all: BridgeMaterial} }
        split(v, unitSpace, 0){ ~1: NIL | 0.1:
translate(rel, world, 0, 0.8, 0) VerticalRails
translate(rel, world, 0, 0.3, 0) extrude(world.y, 0.05) RailMaterial |
0.17: NIL }
    else:
        translate(rel, world, 0, Sidewalk_height , 0)
        split(v, unitSpace, 0){ ~1: NIL | 0.4: extrude(world.y, 0.8)
color("#eeeeee") comp(f){all: BridgeMaterial} }
        split(v, unitSpace, 0){ ~1: NIL | 0.1:
translate(rel, world, 0, 0.8, 0) VerticalRails
translate(rel, world, 0, 0.3, 0) comp(f){ all: extrude(world.y, 0.05)
comp(f){front: RailMaterial} | 0.17: NIL } }

VerticalRails -->
    case highLOD == true:

```

```

        comp(f){all: split(x){ ~1 : NIL
                                | 0.1: s('1,0.07,'1)
center(y) extrude(world.y,0.3) RailMaterial
                                | { ~2 : NIL
                                | 0.1: s('1,0.07,'1)
center(y) extrude(world.y,0.3) RailMaterial }*
                                | ~1 : NIL } }
    else:
        comp(f){all: split(x){ ~1 : NIL
                                | 0.1: s('1,0.07,'1)
center(y) extrude(world.y,0.3) comp(f){front: RailMaterial}
                                | { ~2 : NIL
                                | 0.1: s('1,0.07,'1)
center(y) extrude(world.y,0.3) comp(f){front: RailMaterial} }*
                                | ~1 : NIL } }

BridgeSolid -->
    comp(f){ all: setupProjection(2,scope.xy,'1,'1) projectUV(2)

set(material.dirtmap, "streets/textures/dirtmap.1.512x512.jpg")
    BridgeMaterial }

BridgeMaterial -->
    setupProjection(0,scope.xy,~12,~9,1) projectUV(0)
    texture(sidewalk_tex)

RailMaterial -->
    set(material.specular.r, 1) set(material.specular.g, 1)
set(material.specular.b, 1)
    set(material.shininess, 20)
    color("#cccccc")
    setupProjection(0,scope.xy,~12,~9,1) projectUV(0)
    texture(concrete_tex)

# -----
# Sidewalk
# -----

Sidewalk -->
    alignScopeToAxes(y)
    BridgeSide
    SidewalkWithCurbs
    t(0, Sidewalk_height ,0)
    SidewalkLamps SidewalkTrees SidewalkProps People

SidewalkWithCurbs -->
    extrude(world.y, Sidewalk_height )
    comp(f){ top    : split(y){ Sidewalk_height : Curbs | ~1 :
GrassPavement }
            | side : Curbs }

SidewalkLamps -->
    case Lamps && lenAlongU > 5:
        split(u,unitSpace,0){ ~ Lamp_distance : NIL
                                | { 0.1: t(0,0,scope.sz- Sidewalk_height *2)
Lamp(3) | ~ Lamp_distance : NIL }* }
    else : NIL

SidewalkTrees -->
    case lenAlongV > 3 && lenAlongU > 5:

```

```

        split(u,unitSpace,0){ ~ Tree_distance *0.5 : NIL
          | { 0.1: Tree | ~ Tree_distance : NIL }*
          | 0.1: Tree | ~ Tree_distance *0.5 : NIL }
    else : NIL

SidewalkProps -->
    case p(Props_percentage/100) && lenAlongU > 5:
        split(u,unitSpace,0){ Crosswalk_width *2.5+rand(-2,2): NIL
          | 0.1: Box | ~1: NIL | 0.1: Box
          | Crosswalk_width *2.5+rand(-2,2): NIL }
        split(u,unitSpace,0){ ~ Lamp_distance *0.5 : NIL
          | { 0.1 : SignAsset | ~ Lamp_distance : NIL }*
          | 0.1 : SignAsset | ~ Lamp_distance *0.5 : NIL
        }
    else: NIL

# -----
# Assets
# -----

Lamp(index) -->
    alignScopeToAxes(y) // place the Lamps vertically
    s(0,5,0) // set height to 5 meters
    LampAsset(index) // since the scope's dimension are zero
in x and z, these are set according to the asset

LampAsset(nr) -->
    case nr == 2 : r(0,90,0) i(lamp2_asset)
    case nr == 3 : r(0,90,0) i(lamp3_asset)
    case nr == 4 : i(lamp4_asset)
    else : i(lamp5_asset)

Tree -->
    case heightOverTerrain < 2 && p(Tree_percentage/100):
        t(0,0,'0.65) // in the middle of the
sidewalk
        s(0,rand( Tree_max_height *0.95, Tree_max_height ),0)
        // set height
        r(0,rand(0,360),0) // random rotate
        i(tree) // since the scope's
dimension are zero in x and z, these are set according to the asset
    else : NIL

Box -->
    case p(Props_percentage/100) && heightOverTerrain < 2:
        t(0,0,scope.sz- Sidewalk_height -rand(0.5,1))
        s(0,rand(0.9,1.3),0) r(scopeCenter,0,180,0)
        BoxAsset
    else : NIL

BoxAsset -->
    60% : i(newsbox_asset)
    else : i(mailbox_asset)

SignAsset -->
    case p(Props_percentage/100) :
        t(0,0,scope.sz-Sidewalk_height)
        s(0,0,0) r(scopeCenter,0,90,0)
        i(getSign)
    else : NIL

```



```

# -----
# Rules needed by all
# -----

SolidCurbs -->
    extrude(world.y, Sidewalk_height )
    comp(f){ top: alignScopeToGeometry(zUp,1) Curbs | side: Curbs }

SolidCurbsNormal -->
    extrude( Sidewalk_height )
    comp(f){ top: alignScopeToGeometry(zUp,1) Curbs | side: Curbs }

Curbs -->
    case scope.sx < 0.5:
        setupProjection(0,scope.xy,1,'1) projectUV(0)
        translateUV(0,-scope.sx/2,0)
        texture( curb_tex)
    else:
        setupProjection(0,scope.xy,~1.1,'1) projectUV(0)
        texture( curb_tex)

GrassPavement -->
    case Lawns && lenAlongV > 2 && lenAlongU > 8 &&
heightOverTerrain < 2:
        split(u,unitSpace,0){ Crosswalk_width*2: Pavement
        | split(v,unitSpace,0){'0.4 : split(u,unitSpace,0){
~8 : Lawn | { ~2: Pavement | ~8 : Lawn }* }
        | ~1 : Pavement }
        | Crosswalk_width*2: Pavement}
    else : Pavement

Lawn -->
    texture(lawn_tex)

Pavement -->
    alignScopeToGeometry(zUp, 0,0)
    Pavement(rand(10),rand(10))

Pavement(texUOffset,texVOffset) -->
    setupProjection(0,scope.xy,12,9,texUOffset,texVOffset)
projectUV(0)
    texture(sidewalk_tex)

# -----
# People
#
# Sample assets provided by lowpolygon3d.com
#
# More assets with high-res textures can be
# purchased at http://www.lowpolygon3d.com.
#
# -----

peopleAsset = fileRandom("assets/people_by_lowpolygon3d_com/*.obj")
dirHuman = 50%: 90 else: -90

People -->

```

```

    case lenAlongU > 1000:
        split(u,unitSpace,0){ '0.5: People | '0.5: People }
    case People_percentage > 0:
        50% : split(u,unitSpace,0){ { 0.1: Human | ~rand(2,5): NIL
| 0.1: Human | ~rand(2,5): NIL }* | 0.1: Human } # could be
distributed better...
        else: split(u,unitSpace,0){ { 0.1: Human | ~rand(0.5,5.5):
NIL | 0.1: Human | ~rand(0.5,5.5): NIL }* | 0.1: Human } # could be
distributed better...
        else:
            NIL

Human -->
    case (scope.sz < 2 && p(People_percentage/100*0.3))
        || (scope.sz >= 2 && p(People_percentage/100)):
        t(0,0,'rand(0.1,0.6))
        s(0,rand(1.7,1.9),0) r(0,dirHuman,0)
        i(peopleAsset)
    else:
        NIL

# -----
# Vehicles
#
# Sample assets provided by lowpolygon3d.com
#
# More assets with high-res textures can be
# purchased at http://www.lowpolygon3d.com.
#
# -----

vehicleAsset(type) =
fileRandom("assets/vehicles_by_lowpolygon3d_com/"+type+"/*.obj")

const vehiclesProb = ( Vehicles_per_km *minCarDistance)/1000
const minCarDistance = 6

Vehicles(dir) -->
    case vehiclesProb > 0:
        split(v,unitSpace,0){ ~ Lane_width : VehiclesOnLane(dir) }*
    else:
        NIL

VehiclesOnLane(dir) -->
    case lenAlongU > 1000:
        split(u,unitSpace,0){ '0.5: VehiclesOnLane(dir) | '0.5:
VehiclesOnLane(dir) }
    case lenAlongU > 10 && p(Bus_Percentage/100):
        split(u,unitSpace,0){ ~1: VehiclesOnLane(dir) |
(rand(15,25)): Vehicle(dir,"bus") }
    case lenAlongU > 5:
        split(u,unitSpace,0){ ~1: VehiclesOnLane(dir) |
(rand(minCarDistance,15)): Vehicle(dir,"car") }
    else:
        NIL

Vehicle(dir,type) -->

```

```

    case p(vehiclesProb):
      split(u,unitSpace,0){ ~1: NIL | 0.5:
alignScopeToGeometry(yUp,dir) VehicleAsset(type) | ~1: NIL }
      else:
        NIL

VehicleAsset(type) -->
  t(0,0,'rand(0.4,0.6)) s(0,0,0) r(0,90,0) i(vehicleAsset(type))
  set(material.opacity,1.0)

# -----
# -----
#
# STYLES
#
# -----
# -----

style Residential_Road
attr Level_of_Detail = "High"
attr Median_width = 1.5
attr Lawns = true
attr Traffic_lights = true
attr Tree_percentage = 100.0
attr Vehicles_per_km = 60.0
attr People_percentage = 40.0

```

Regra da Cidade Legalmente Construída

```
attr Frontal = 6
attr Lateral = 3
attr TO = 0.4
attr CA = 3
attr GFHeight = 3
attr UFHeight = 3

@hidden
attr parcelArea = 0

Lot --> Area(geometry.area)
Area(area) --> set(parcelArea, geometry.area) report("Area do Lote PD",
parcelArea) Afast_F(area)
Afast_F(area) --> setback(Frontal) { streetSide : NIL | remainder : Afast_L(area)
}
Afast_L(area) --> setback(Lateral) { noStreetSide : NIL | remainder :
projecao(area) }
projecao(area) --> case geometry.area > area * TO : Redimensiona(area,
geometry.area)
else : Sobe(area, geometry.area)
Redimensiona(area, areaP) --> s('area*TO/areaP, 'area*TO/areaP, '1) center (xz)
Sobe (area, geometry.area)
Sobe (area, areaSC ) -->
extrude(3*(area*CA/areaSC))
split (y) {GFHeight : Volume("GF") | ~1 : UpperFloor }
UpperFloor -->
split (y) { ~ UFHeight : Volume("UF") } *
Volume (volumeType) -->
case volumeType == "GF":
color("#990000")
set(material.opacity, 0.5)
Reporting

else :
color("#990000")
set(material.opacity, 0.5)
Reporting

Reporting -->
report("Primeiro Andar PD", geometry.area(bottom))
report("Demais Andares PD", geometry.area(bottom) / parcelArea )
report("Volume", geometry.area(bottom) * Height)
report("Area Construída", geometry.area(bottom)+ geometry.area(bottom) /
parcelArea)
```

Regra do Comparativo entre cidade construída e cidade legalmente permitida

```
attr height = 0
attr GFHeight = 3
attr UFHeight = 3
attr AreaEdificada = 0
```

Edificacoes -->

```
    set (AreaEdificada, geometry.area) report ("Area da Edificação Existente",
AreaEdificada)
    extrude (height)
    set (material.opacity, 0.5)
    split (y) {GFHeight : Volume("GF") | ~1 : UpperFloor }
```

UpperFloor -->

```
    split (y) { ~ UFHeight : Volume("UF") } *
```

Volume (volumeType) -->

```
    case volumeType == "GF":
        color ("#D9D919")
        set (material.opacity, 0.5)
        Reporting
    else :
        color ("#D9D919")
        set (material.opacity, 0.5)
        Reporting
```

Reporting -->

```
    report("Volume Resultante",Volume)
```

ANEXO 2 - SCRIPTS

Script - [alignStaticShapesToDynamicStreets v1.2.py](#)

```
from scripting import *
import math
```

```
# get a CityEngine instance
ce = CE()
```

```
"""
description.
```

note that depending on the geometric form of the shape, this algorithm may not find the 'best FIRST EDGE'.

--> select static shapes and street segments only to run.

--> the script will orient the 'FIRST EDGE' to the nearest street segment. only one segment is taken into account per shape.

--> the edges are evaluated on the following criteria :

- 1] distance of edge midpoint to nearest segment point (projected point or nearest end point)
- 2] smallest angle between "edge-normal" and vector the vector between the edge's midpoint and the nearest segment point
- 3] if multiple edges fulfill criteria 1] and 2], choose the longest.

--> criteria 1] and 2] can be reversed, by toggling (0/1) distanceCriteriumPriority and angleCriteriumPriority.

```
"""
```

```
""" USER INPUTS """
```

```
angleTolerance = 70 # relative (+-) angles allowed compared to the edge with the
smallest angle
distanceTolerance = 2 # relative (+-) distance allowed compared to the nearest edge's
distance
# else longest edge
```

```
distanceCriteriumPriority = 1 # use 0 OR 1
angleCriteriumPriority = 0 # use 0 OR 1
# else longest edge
```

```

#####
# FUNCTIONS
#####

def normalizeVector(v):
    length = math.sqrt((v[0] * v[0]) + (v[1] * v[1]) + (v[2] * v[2]))
    res = [ float(v[0] / length), float(v[1] / length), float (v[2] / length)]
    return res

def scalar_prod(v1,v2):
    return sum([v1[i]*v2[i] for i in range(len(v1))])

def calcAngleBetweenVectors(v1 ,v2):
    vector1 = normalizeVector (v1)
    vector2 = normalizeVector (v2)
    cosAngle = scalar_prod(vector1, vector2)
    angle = math.acos(cosAngle) * 180.0 / 3.14159265
    return angle

def vectorMagnitude(v):
    mag = math.sqrt((v[0] * v[0]) + (v[1] * v[1]) + (v[2] * v[2]))
    return mag

def vectorDifference(v1, v2):
    dif = [ v1[0] - v2[0] , v1[1] - v2[1], v1[2] - v2[2]]
    return dif

def vectorDist(v1, v2):
    dif = vectorDifference(v1, v2)
    dist = vectorMagnitude( dif)
    return dist

# calculate the shape's center of mass
def getShapePivot(shapeName):
    vertexList = ce.getVertices(shapeName)
    nV = len(vertexList) / 3
    avgX = 0;
    avgY = 0;
    avgZ = 0;
    for i in range(0, nV):
        avgX += vertexList[i*3+0]
        avgY += vertexList[i*3+1]
        avgZ += vertexList[i*3+2]
    avgX /= nV
    avgY /= nV
    avgZ /= nV
    return [avgX, avgY, avgZ]

```

```

# get the segment point (0-index)
def getSegmentPoints(segmentName) :
    vertexList = ce.getVertices(segmentName)
    startPoint = [vertexList[0], vertexList[1], vertexList[2]]
    endPoint = [vertexList[3], vertexList[4], vertexList[5]]
    return [startPoint, endPoint]

# get the nearest segment name of point.
def getSegmentDist(point, startPoint, endPoint) :

    shortestPoint = []

    v1 = [point[0] - startPoint[0], point[1] - startPoint[1], point[2] - startPoint[2] ]
    v2 = [endPoint[0] - startPoint[0], endPoint[1] - startPoint[1], endPoint[2] -
startPoint[2] ]

    dot = scalar_prod(v1,v2)

    lenV2Squared = vectorMagnitude(v2) * vectorMagnitude(v2)

    param = dot / lenV2Squared

    if param < 0:
        shortestPoint = startPoint

    elif param > 1:
        shortestPoint = endPoint

    else :
        shortestPoint = [ startPoint[0] + param * v2[0], startPoint[1] + param * v2[1],
startPoint[2] + param * v2[2] ]

    dist = vectorDist(point, shortestPoint)
    return [dist,shortestPoint]

# get the ID plus or minus one
def getIDPlusMinusOne(total, current, idOffset):
    finalID = 0

    if current + idOffset < 0 :
        finalID = (current + idOffset + total) % total
    else:
        finalID = (current + idOffset) % total

    return finalID

def checkMaxAngle(angle):
    if angle > 90 and angle <= 180:
        return 180 - angle

```



```

elif angle > 180:
    return angle - 180
else:
    return angle

def properVtxList(inputVertexList):
    properVertexList = []
    n_Vertices = len(inputVertexList) / 3
    id_vertices = 0
    for vtx in range (0, n_Vertices):
        vertex = [inputVertexList[id_vertices*3+0], inputVertexList[id_vertices*3+1],
inputVertexList[id_vertices*3+2] ]
        properVertexList.append(vertex)
        id_vertices += 1
    return properVertexList

def edgeList(inputVertexList):
    edgeList = []
    n_Vertices = len(inputVertexList)
    id_vertices = 0
    for vtx in range (0, n_Vertices):
        idPlusOne = getIDPlusMinusOne(n_Vertices, id_vertices, 1)
        edge = [ inputVertexList[id_vertices] , inputVertexList[idPlusOne]]
        edgeList.append(edge)
        id_vertices += 1
    return edgeList

def edgeMidpoint(edge):
    midPoint = [( edge[0][0] + edge[1][0]) /2,
        ( edge[0][1] + edge[1][1]) /2,
        ( edge[0][2] + edge[1][2]) /2]
    return midPoint

def rotateVector2D(edge) :
    v = vectorDifference(edge[0], edge[1])
    vRightRotate = normalizeVector([v[2],0,-v[0]])
    return vRightRotate

#####
#####
# START
#####
#####

@noUIupdate
def alignStaticShapeFirstEdgesToDynamicStreetSegments() :
    global angleTolerance
    global distanceTolerance

```

```
global distanceCriteriumPriority
global angleCriteriumPriority
```

```
staticShapes = ce.getObjectsFrom(ce.selection, ce.isShape)
segments = ce.getObjectsFrom(ce.selection, ce.isGraphSegment)
```

```
# START THE SHAPE LOOP
```

```
IDshape = 0
```

```
for shape in staticShapes :
```

```
    shapePivot = getShapePivot(shape)
```

```
    shapeVertexList = properVtxList( ce.getVertices(shape))
```

```
    shapeNVertices = len(shapeVertexList)
```

```
    shapeEdgeList = edgeList(shapeVertexList)
```

```
    shapeAttributeList = ce.getAttributeList(shape)
```

```
# # FIND THE NEAREST SEGMENTS PER SHAPE
```

```
nearestSegmentName = ""
```

```
nearestSegmentStartPoint = 0
```

```
nearestSegmentEndPoint = 0
```

```
#
```

```
nearestSegmentDist = 1000000
```

```
IDsegment = 0
```

```
for segment in segments :
```

```
    segmentStartPoint = getSegmentPoints(segment)[0]
```

```
    segmentEndPoint = getSegmentPoints(segment)[1]
```

```
segmentDist = getSegmentDist(shapePivot, segmentStartPoint,
segmentEndPoint)[0]
```

```
if segmentDist < nearestSegmentDist :
```

```
    nearestSegmentDist = segmentDist
```

```
    nearestSegmentName = segment
```

```
    nearestSegmentStartPoint = segmentStartPoint
```

```
    nearestSegmentEndPoint = segmentEndPoint
```

```
IDsegment += 1
```

```
# END SEGMENT LOOP
```

```
# # Make EdgeInfoList
```

```
edgeInfoList = []
```

```
#
```

```
edgeID = 0
```

```
for edge in shapeEdgeList :
```

```
    edgeInfo = []
```

```
    #edgeInfo[0] the original edge ID
```

```

edgeInfo.append(edgeID)

#edgeInfo[1] midPoint
midPoint = edgeMidpoint(edge)
edgeInfo.append(midPoint)

#edgeInfo[2] nearest point of segment from midpoint
nearestSegPointFromMidPoint = getSegmentDist(midPoint,
nearestSegmentStartPoint, nearestSegmentEndPoint)[1]
edgeInfo.append(nearestSegPointFromMidPoint)

#edgeInfo[3] nearest point of segment from midpoint
distNearestSegPointMidPoint =
vectorMagnitude(vectorDifference(nearestSegPointFromMidPoint, midPoint))
edgeInfo.append(distNearestSegPointMidPoint)

#edgeInfo[4] midPointNormal2D
midPointNormal2D = rotateVector2D(edge)
edgeInfo.append(midPointNormal2D)

#edgeInfo[5] vectorEdgeMidPointSegNearPoint
vectorEdgeMidPointSegNearPoint =
vectorDifference(nearestSegPointFromMidPoint, midPoint)
vectorEdgeMidPointSegNearPoint2D =
[vectorEdgeMidPointSegNearPoint[0],0,vectorEdgeMidPointSegNearPoint[2]]
edgeInfo.append(vectorEdgeMidPointSegNearPoint2D)

#edgeInfo[6] angle_segNearPoint_to_midPointNormal
angle_segNearPoint_to_midPointNormal2D =
calcAngleBetweenVectors(midPointNormal2D, vectorEdgeMidPointSegNearPoint2D)
edgeInfo.append(angle_segNearPoint_to_midPointNormal2D)

#edgeInfo[7] edgeLength
edgeLength = vectorMagnitude(vectorDifference(edge[0], edge[1]))
edgeInfo.append(edgeLength)

edgeInfoList.append(edgeInfo)
edgeID += 1

# # CREATE SORTED EDGE LISTS

```

```

    dist_EdgeInfoList = sorted(edgeInfoList, key=lambda dist: dist[3]) # sort list after
angle, the entry [3]
    angle_EdgeInfoList = sorted(edgeInfoList, key=lambda angle: angle[6]) # sort list
after angle, the entry [6]
    edgeLength_EdgeInfoList = sorted(edgeInfoList, key=lambda length: length[7]) #
sort list after angle, the entry [3]

#####
# END
#####

print ("_____")

```

Script – [StreetAlign.py](#)

```

# # MAKE LIST AFTER FIRST CRITERIUM
FIRST_FinalEdgeList = []

# if each entry is in range of best +- tolerance, append to list // AT LEAST ONE
WILL BE IN THE LIST !

if distanceCriteriumPriority > angleCriteriumPriority :
    for distEntry in dist_EdgeInfoList :
        if distEntry[3] <= dist_EdgeInfoList[0][3] + distanceTolerance and
distEntry[3] >= dist_EdgeInfoList[0][3] - distanceTolerance:
            FIRST_FinalEdgeList.append (distEntry)
    else:
        for angleEntry in angle_EdgeInfoList :
            if angleEntry[6] <= angle_EdgeInfoList[0][6] + angleTolerance and
angleEntry[6] >= angle_EdgeInfoList[0][6] - angleTolerance :
                FIRST_FinalEdgeList.append (angleEntry)

# # sort new lists
firstDist_EdgeInfoList = sorted( FIRST_FinalEdgeList, key=lambda dist: dist[3])
firstAngle_EdgeInfoList = sorted( FIRST_FinalEdgeList, key=lambda angle:
angle[6])

# # for each, chose the best second criterium.
SECOND_FinalEdgeList = []
if distanceCriteriumPriority > angleCriteriumPriority :
    for entry in FIRST_FinalEdgeList :
        # if angle smaller= best angle of the remaining angles, append

```

```

        if entry[6] <= firstAngle_EdgeInfoList[0][6] :
            SECOND_FinalEdgeList.append (entry)
    else:
        for entry in FIRST_FinalEdgeList :
            # if dist smaller= shortest dist of the remaining distances, append
            if entry[3] <= firstDist_EdgeInfoList[0][3] :
                SECOND_FinalEdgeList.append (entry)

# # if still multiples available, choose the longest edge
FirstEdgeID = 0
if len(SECOND_FinalEdgeList) == 1 :
    FirstEdgeID = SECOND_FinalEdgeList[0][0]

    else:
        nEdges = len(SECOND_FinalEdgeList)
        FirstEdgeID = sorted(SECOND_FinalEdgeList, key=lambda length:
length[7])[nEdges - 1][0]

# # Create the new vertex list
if FirstEdgeID == 0 :
    # no need for resetting the first edge
    pass
    else:
        newVertexList = []

        vertexIndex = 0
        for vertex in range (0, shapeNVertices) :
            newVertexList.append (shapeVertexList
[getIDPlusMinusOne(shapeNVertices, vertexIndex, FirstEdgeID)][0])
            newVertexList.append (shapeVertexList
[getIDPlusMinusOne(shapeNVertices, vertexIndex, FirstEdgeID)][1])
            newVertexList.append (shapeVertexList
[getIDPlusMinusOne(shapeNVertices, vertexIndex, FirstEdgeID)][2])
            vertexIndex += 1

# # reorder the shape and delete the old one

    shapeLayerList = ce.getObjectsFrom(ce.scene, ce.isShapeLayer,
ce.withName('reOrientedShapes'))
    newShape = ce.createShape(shapeLayerList[0], newVertexList)
    ce.setName(newShape, "newShape")

```

```

ce.setStartRule(newShape, "Lot")

# # append all object attributes
  for attr in shapeAttributeList :
    if len(attr.split("/")) > 1 :
      pass
    else:
      attrValue = ce.getAttribute(shape, attr)
      ce.setAttribute(newShape, attr, attrValue)

# # delete the shape
  ce.delete(shape)

# #Go to next shape
  IDshape += 1
# END SHAPE LOOP

#####
# SETUP OF LAYER FOR NEWLY DRAWN SHAPES
#####
shapeLayerList = ce.getObjectsFrom(ce.scene, ce.isShapeLayer,
ce.withName('reOrientedShapes'))

if len(shapeLayerList) == 0:
  ce.addShapeLayer('reOrientedShapes')

alignStaticShapeFirstEdgesToDynamicStreetSegments()

#####
# END
#####

print ("_____")

```

ANEXO 3 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA

ANEXO 4 - RESULTADO DO TESTE DE COMUNICABILIDADE