

Revista Brasileira de Cartografia (2016), Nº 68/8: 1571-1583  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **MODELAGEM PARAMÉTRICA DA PAISAGEM URBANA E CADASTRO 3D UTILIZANDO DADOS LIDAR: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

*Parametric Modeling of Urban Landscape and 3D Cadastre using LiDAR Data:  
a Methodological Proposal*

**Bráulio Magalhães Fonseca<sup>1</sup>, Ana Clara Mourão Moura<sup>2</sup>, Rodrigo Pinheiro Ribas<sup>3</sup>, Grazielle Anjos Carvalho<sup>4</sup> & Pedro Benedito Casagrande<sup>5</sup>**

<sup>1, 4, 5</sup> **Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG**  
**Instituto de Geociências e Laboratório de Geoprocessamento da EA-UFMG**  
Av Antônio Carlos 6627, Pampulha, Belo Horizonte-MG, Brasil  
brauliomagalhaes@cart.igc.ufmg.com, {grazielleanjo, pedrobcasagrande}@gmail.com

<sup>2</sup> **Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG**  
**Laboratório de Geoprocessamento da EA-UFMG**  
Rua Paraíba 697, Savassi, Belo Horizonte-MG, Brasil  
anaclara@ufmg.br, geoproca.arq.ufmg.br

<sup>3</sup> **Universidade do Estado de Santa Catarina – UFSC**  
**Departamento de Geografia**  
Av. Madre Benvenuta, 2007 - Itacorubi - Florianópolis, SC, Brasil  
ribasgeo@gmail.com

*Recebido em 20 de Junho, 2016/ Aceito em 17 de Agosto, 2016*  
*Received on June 20, 2016/ Accepted on August 17, 2016*

### **RESUMO**

O artigo apresenta discussões conceituais sobre o que representa a gestão da paisagem urbana contemporânea, sobretudo no momento em que a questão volumétrica é a tônica do mercado de investimentos, predomina nos planos diretores a partir da introdução de instrumentos legais do Estatuto da Cidade, e é o principal aspecto de transformações territoriais urbanas. Apresenta discussões sobre o papel da representação tridimensional, da visualização, e da educação cidadã para compreensão da gestão da paisagem coletiva resultante de parâmetros urbanísticos autorizados por Planos Diretores, discutindo a questão da necessidade de visualização para negociação de estoques volumétricos. Propõe processo metodológico para atender às demandas abordadas, através do emprego de dados de laser scanner (LiDAR - Light Detection And Ranging); de visualização tridimensional de estoques volumétricos; de comparações volumétricas para análise de autorizações de outorgas onerosas de ampliação de volumes construídos; e, finalmente, da estruturação de regras lógicas para a simulação em tempo real de resultados de parâmetros urbanísticos, com o uso de aplicativos Arc-Gis e CityEngine. Apresenta estudo de caso com vistas a ilustrar os procedimentos propostos. Conclui discutindo os desafios enfrentados pelo trabalho e suas possíveis aplicações para apoio a Leis de Uso e Ocupação do Solo Urbano.

**Palavras chaves:** Modelagem Paramétrica, Paisagem Urbana, Cadastro 3D, LiDAR.

## ABSTRACT

The article presents conceptual discussions about what represents the management of contemporary urban landscape, especially at a time in which the volumetric issue is the keynote of market investments, it's the main demand on Master Plans based on City Statute legal instruments and it's the main point in urban changes. Presents discussions on the role of three-dimensional representation, visualization, and citizen education in understanding the management of collective landscape resulted from urban parameters authorized by Master Plans, facing the needs of visualization to negotiate volumetric urban stocks. Proposes methodological process to meet the demands presented, through the employment of data of laser scanner (LiDAR - Light Detection And Ranging); three-dimensional viewing of volumetric stocks; volumetric analysis and comparisons to support the authorizations of extra volumes; and, finally, the structuring of logical rules for the real-time simulation of urban parameters results, using ArcGis and City Engine. Presents case studies to illustrate the applied procedures. In the conclusions discusses the challenge to be faced in possible applications to give support to decisions in laws of urban land use and occupation.

**Keywords:** Parametric Modeling, Urban Landscape, 3D Cadastre, LiDAR.

## 1. INTRODUÇÃO

O modo de gestão e controle da produção da paisagem urbana no Brasil é bastante morfométrico, baseado na definição de parâmetros geométricos da ocupação do lote. Entre esses parâmetros que moldam as edificações que somadas compõem a paisagem, destacam-se os afastamentos em relação às divisas, as taxas de ocupação do lote, as alturas máximas nas divisas, a taxa de permeabilidade do lote, o coeficiente de aproveitamento e, em alguns municípios, aplica-se também a cota de terreno por unidade, que visa controlar a densidade de ocupação estipulando a necessidade de uma metragem de terreno para cada unidade domiciliar. Todos esses parâmetros compõem envelopes máximos da ocupação do lote, dentro do qual o projetista propõe o seu projeto de edificação para atender à modelagem morfológica.

Em outros países a gestão da ocupação das unidades particulares, dos lotes, é feita através de outros condicionantes. Na Itália, por exemplo, interessa muito mais o estudo da capacidade de carga volumétrica e da densidade de ocupação, em função da infraestrutura existente e das condições do contexto, favorecendo os interesses sociais pela lógica da *"perequazione urbanistica"* (POMPEI, 1998). Na Alemanha a questão cultural é muito observada, havendo o interesse de preservação de eixos visuais direcionados para pontos focais da cidade, onde estão depositados os registros de valor histórico (BRUNS & SCHMIDT, 1997). Nos Estados Unidos a questão ambiental predomina, sendo um importante parâmetro para a ocupação do

lote, embora de uso voluntário, a análise do envelope solar, que simula as sombras que uma edificação pode provocar em seu entorno, de modo a moldar o projeto arquitetônico através do controle desses impactos na vizinhança (KETTLES, 2008). Nos códigos holandeses, cada fachada de edifício precisa receber pelo menos 3 horas de sol por dia no período de 21 e março a 21 de setembro (MAAS, VAN RIJS & KOEK, 2006).

O Brasil emprega, desde os primeiros planos diretores, sempre os mesmos clássicos parâmetros urbanísticos, e ousa pouco na parametrização e modelagem da paisagem, o primeiro deles o Plano Agache (PREFEITURA DO DISTRITO FEDERAL DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 1927). O resultado são paisagens urbanas resultantes de normas pouco compreendidas e o baixo índice de aprovação de projetos nas prefeituras municipais. Reina a ilegalidade por falta de compreensão do ganho comum que se pode ter com a aplicação de parâmetros, e pela baixa compreensão de como aplicar os parâmetros. Quando em uma sociedade ainda não se constituiu um pacto de uso respeitoso do território em comum, por falta de compreensão do que é valor e por falta de capacidade de comunicação entre os atores envolvidos, este pacto é substituído pelo emprego rígido das normativas. Enquanto em outros países o emprego de parâmetros de gestão da paisagem comum é uma conquista coletiva e um valor compartilhado, no Brasil ainda é uma tentativa de manutenção do mínimo aceitável para que a paisagem não se torne um ambiente inabitável. Contudo, é possível reverter este quadro,

ensinando os cidadãos a entenderem como funciona a ocupação dos lotes segundo escolhas existentes nos planos diretores municipais, de modo que em votações futuras possam estar mais conscientes das escolhas compartilhadas acerca da paisagem em comum (MOURA, 2015).

O país ainda possui uma forma de gestão do espaço urbano com baixa participação cidadã, não obstante todas as normativas exijam publicidade das decisões e não obstante as decisões serem realizadas em audiências públicas. Isto porque estar presente nas votações não significa ter conhecimento para a tomada de decisões. Assim, acredita-se nos instrumentos: visualização cartográfica, cadastro tridimensional, emprego das simulações visuais possibilitados pela modelagem digital, e na Modelagem Paramétrica da Paisagem Urbana como forma de criar condições educativas, na qual a participação se transforme em conhecimento, e conhecimento se transforme em capacidade de participação. Cita-se o princípio de Gehl (2010): *“First, we shape the cities – then they shape us”*, (primeiro damos forma às cidades, e então as cidades nos dão forma) defendendo que o aprendizado de viver em cidades bem estruturadas pode ser educativo no sentido de ensinar a querer o melhor, mas é preciso começar por alguma proposição do que é compartilhado como o aceitável.

O Brasil vive hoje uma mudança no modo de ocupação do território urbano, em função dos resultados do Estatuto da Cidade, Lei 19.257 (BRASIL, 2001). As transformações mais visíveis estão relacionadas à gestão do estoque volumétrico e à outorga desses estoques, sobretudo porque o modelo de ocupação territorial é baseado na concentração em torno das centralidades produtivas, resultando em supervalorização de algumas regiões do conjunto urbano e inacreditável verticalização, em contraste com amplo território desocupado fora das manchas urbanas.

O Estatuto da Cidade institui suas bases na definição da propriedade como de interesse social, princípio que já existia na Constituição Federal; na necessidade de instituir as decisões para os espaços coletivos através de participação cidadã, o que também já era previsto na Constituição Federal; mas traz como nova proposta os instrumentos que visam a recuperação da mais

valia imobiliária para os cofres públicos.

Entre os instrumentos do referido estatuto estão os que visam à gestão da volumetria urbana, compostos pelo TDC (Transferência do Direito de Construir) e o OODC (Outorga Onerosa do Direito de Construir). No TDC a negociação de implantação de volumes extras, além dos previstos pelo zoneamento para um lote, é realizada entre particulares, ou seja, o proprietário de um lote vende o seu direito volumétrico para outro proprietário, para que o volume seja utilizado em outro lote, em geral quando há interesse em incremento da verticalização para viabilização ou incremento financeiro de um empreendimento. Na Outorga Onerosa do Direito de Construir o direito de incremento da verticalização e volumetria é vendido pelo poder público, pela Prefeitura Municipal, com vistas a gerar recursos para atividades relacionadas às edificações de interesse social. A venda de coeficientes pelo poder público se baseia no princípio de que a propriedade deve cumprir a sua função social, o que justifica a definição de um coeficiente básico autorizado, acima do qual os acréscimos devem ser pagos, como forma de recuperação das valorizações fundiárias geradas pela infraestrutura implantada com recursos públicos.

O TDC foi aplicado prematuramente em alguns municípios, e virou forte mercado imobiliário de estoques volumétricos, sem que existisse ainda sequer o cadastro 3D para correta gestão dos estoques e definição das áreas com capacidade de carga para receber os estoques volumétricos negociados. O resultado é uma paisagem excessivamente verticalizada em áreas de maior interesse econômico. Esses lugares perdem o *genius loci* ou a essência dos valores da sociedade local (NORBERG-SCHULZ, 1980).

Dentro da mesma lógica da negociação de estoques, hoje, muitos municípios estão na fase de implantação da OODC, como é o caso de Belo Horizonte que está em processo de proposição de coeficiente básico de 1 (100%) para toda a cidade, ficando as possíveis ampliações condicionadas à compra de estoques volumétricos mediante pagamento ao poder público (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, Projeto de Lei 1749/2015). Contudo, para a gestão dessas autorizações, é fundamental a construção de retratos da realidade existente – compostos

pelo levantamento tridimensional e cálculo de volumes praticados, assim como análise ampla das variáveis relacionadas às condições ambientais, paisagísticas e de infraestrutura – com vistas a autorizar as negociações onde ainda existe capacidade de carga para transformações segundo diferentes pontos de vista, ou onde há o interesse na implantação de catalizadores para o crescimento urbano.

O cadastro tridimensional também é base para a gestão da paisagem urbana, e alimenta e pode ser alimentado pelo processo de Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial (STOTER, 2004; CENTENO & BÄHR, 2008; CARNEIRO *et al.*, 2011; CARNEIRO *et al.*, 2012; PAIXÃO *et al.*, 2012; MOURA & SANTANA, 2014; ARAÚJO, 2015).

Carneiro *et al.* (2012) defendem que os cadastros hoje em elaboração no Brasil representam as unidades territoriais mediante informações em 2D, mas a ocupação cada vez mais complexa do território implica em direitos distintos sobre uma mesma projeção ortogonal.

O cadastro 3D é base para a modelagem porque fornece informações numéricas e geométricas básicas para a representação das primitivas gráficas que estruturam o modelo. É alimentado pela modelagem porque ela pode simular os envelopes máximos que são possíveis a partir da normativa de uso e ocupação do solo existente, permitindo a escolha de valores numéricos que irão parametrizar o uso antrópico dos lotes urbanos. Assim, são ferramentas profundamente interligadas e que se retroalimentam nas ações de planejamento e gestão da paisagem urbana.

A Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial é produto de uma nova era nos processos de elaboração de desenhos urbanos e gestão da paisagem construída, resultante da evolução dos Sistemas de Informações Geográficas em ferramentas de visualização e de simulação (MOURA, 2012). Já bastante explorado na produção da forma arquitetônica (FLORIO, 2011) mas ainda incipiente nos estudos da forma urbana, o processo pode ser favorecido pelo significativo desenvolvimento das geotecnologias, a ampla difusão de seus recursos e as facilidades para o uso dessas novas tecnologias, a partir da disponibilização de dados e de aplicativos. As legislações

também favorecem o acesso à informação, haja vista o decreto presidencial da INDE (Lei 6666 de novembro de 2008 que institui a infraestrutura nacional de dados espaciais). Nesse conjunto de mudanças, observa-se que são valores preconizados pelos novos usos nas geotecnologias a interoperabilidade entre sistemas, expressivo investimento em visualização, amplo envolvimento da comunidade no acesso e manuseio da informação e, acima de tudo, novos processos de desenho urbano baseado na Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial.

A referida modelagem representa um novo desafio e uma nova forma de atuação para o planejador urbano, que não trabalha mais apenas com projetos e desenhos autorais, mas se transforma no decodificador de valores e interesses coletivos. O novo processo exige estudos preditivos de simulação das intervenções em paisagens urbanas e a composição de extensa coleção de informações para dar suporte à tomada de decisões.

O resultado da aplicação de novos valores será o desenvolvimento de protótipos baseados em geoprocessamento para simulação dos resultados de parâmetros urbanísticos, com vistas a favorecer a compreensão dos cidadãos nos processos de decisão sobre a modelagem de seus territórios.

Em síntese, a Modelagem Paramétrica da Paisagem Urbana é o emprego de geotecnologias para simular os resultados dos parâmetros urbanísticos na cidade, tanto para promover a visualização dos valores numéricos e geométricos propostos na legislação, como para simular possíveis mudanças nesses valores e receber, em tempo real, a nova visualização dos resultados que podem ser obtidos (MOURA, 2015). A sua associação com o cadastro 3D é de ampla simbiose, pois um princípio tecnológico pode alimentar o outro e a necessidade de aplicação em gestão da paisagem pode justificar investimentos em cadastro. Como exemplo da associação dos resultados de cadastro 3D à modelagem paramétrica da paisagem, contribuindo para a simulação das intervenções no ambiente urbano observa-se o trabalho de Rafiee *et al.* (2016). Estes pesquisadores aplicaram técnica de cadastro 3D para modelar a edificações e árvores, visando calcular o impacto local do volume das

árvores em ilhas de calor na cidade de Amsterdã. Araújo *et al.* (2015), por sua vez, trabalharam com captura laser para análise de potencial de crescimento volumétrico em Joinville, utilizando também cálculos de alturas e simulações por City Engine.

Desta forma, o presente artigo tem como objetivo apresentar roteiro metodológico de produção de informações a partir de dados de captura laser (LiDAR) até a representação dos coeficientes volumétricos praticados hoje e em comparação com os estoques autorizados pelas normativas. A metodologia resulta em apresentação de simulações que possam apoiar processos de negociação de estoques volumétricos e favorece a visualização do impacto de mudanças de parâmetros por modelagem paramétrica.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O artigo adota estudo de caso para ilustrar os procedimentos metodológicos em uma porção da região da Pampulha, Belo Horizonte. A partir de coleção de dados fornecidos pela Prefeitura de Belo Horizonte, compostos pela nuvem de pontos do LiDAR, desenhos de lotes e desenho de projeção das edificações, assim como do estudo do zoneamento vigente na área-piloto, registrado no Plano Diretor Municipal, foram desenvolvidas as etapas de trabalho.

A captura dados é resultante da aplicação da tecnologia *Light Detection and Ranging* (LiDAR), técnica de sensoriamento remoto ativo que gera informações para a criação do Modelo Digital de Terreno (MDT) e dos Modelos Digitais de Superfície (MDS), que permitem a modelagem das rugosidades existentes sobre a superfície terrestre, tais como edificações, copas de árvores, entre outros.

A justificativa para o recorte é motivada pelo expressivo crescimento das ocupações na área, com novos projetos aprovados e ampliação do volume total construído.

As etapas de trabalho constituem o roteiro metodológico que sugerimos como espelho para aplicação em qualquer área urbana onde se possa ter as informações mencionadas. Assim, o roteiro metodológico é composto pelas seguintes etapas de trabalho:

- Trabalho com os dados laser o cálculo da altura das edificações

- Representação da volumetria existente e simulação da volumetria no caso de aplicação de coeficientes autorizados por normativas ou por outorgas de ampliação de coeficientes.

- Estudo das normativas vigentes no Plano Diretor, mais especificamente da tabela de parâmetros urbanísticos, para composição da simulação dos volumes autorizados por lei.

- Composição de regras de aplicação de parâmetros urbanísticos para Modelagem Paramétrica da Paisagem Urbana de modo dinâmico.

### 2.1 Calculando a altura das edificações a partir do LiDAR

O primeiro passo foi a conversão dos dados do arquivo de extensão LAS para *shapefile* de pontos, com atributos da cota Z. Foi utilizado o módulo 3D *Analyst do ArcGis* para conversão de LAS to *Multipoint*, seguido de emprego do Data Management Tools para a conversão de dos multipontos criados para pontos únicos (*Multipart to Singlepart*) e, por fim, no 3D *Analyst* foi feita a adição do atributo Z através do *Add Z Information*.

O segundo passo foi a extração dos pontos para a camada de projeção das edificações, para a obtenção de dados altimétricos nos lotes apenas no que se referia às construções. Uma vez selecionados os pontos, a cada um foi atribuído o código de identificação da edificação correspondente, para que os conjuntos de pontos de uma mesma edificação pudessem ser identificados.

Na sequência, no terceiro passo, os dados vetoriais de pontos foram transformados em superfícies matriciais, através da ferramenta *Topo to Raster* do 3D *Analyst*. A camada matricial gerada, que atua na forma de interpolador, passou por processo de recorte para considerar apenas as áreas de projeção das edificações. Optou-se por se trabalhar com os valores altimétricos em formato Integer, sem as casas decimais, justificados pela necessidade de emprego de estatísticas na etapa seguinte. Destaca-se que a opção por arredondamento das alturas em múltiplos de um metro se justifica pelo objetivo de identificação de número de pavimentos das edificações, e este arredondamento não teria reflexos negativos.

O quarto passo teve como objetivo a identificação, por edificação, do valor altimétrico

que mais se repetia. O valor que mais se repete, reconhecido como o valor modal dos valores, corresponde à maior superfície contínua da edificação ou ao valor que mais se repete na superfície inclinada do telhado. Assim, o valor modal representa a laje de cobertura da edificação ou o beiral do telhado da edificação, evitando os valores correspondentes a pequenos volumes, tais como caixas d'água ou outros elementos verticais, ou mesmo alturas variáveis do plano inclinado de telhados. O valor mais alto capturado pelo Majority corresponde, exatamente, ao volume máximo do coeficiente de aproveitamento, que é

definido pela última laje de cobertura (Figura 1).

O quinto e último passo foi a aplicação do Zonal Statistics para o armazenamento, por edificação, dos valores de Moda (Majority) e através da diferença entre os pontos mais baixos observados nas bordas da projeção da edificação e dos valores de moda calculados, foram obtidas as alturas das edificações. Uma vez calculados estes valores eles foram associados às shapes de projeção das edificações. Todo o processo foi realizado usando o módulo para modelagem e automação de procedimentos Model Builder do ArcGis. (Figura 2).

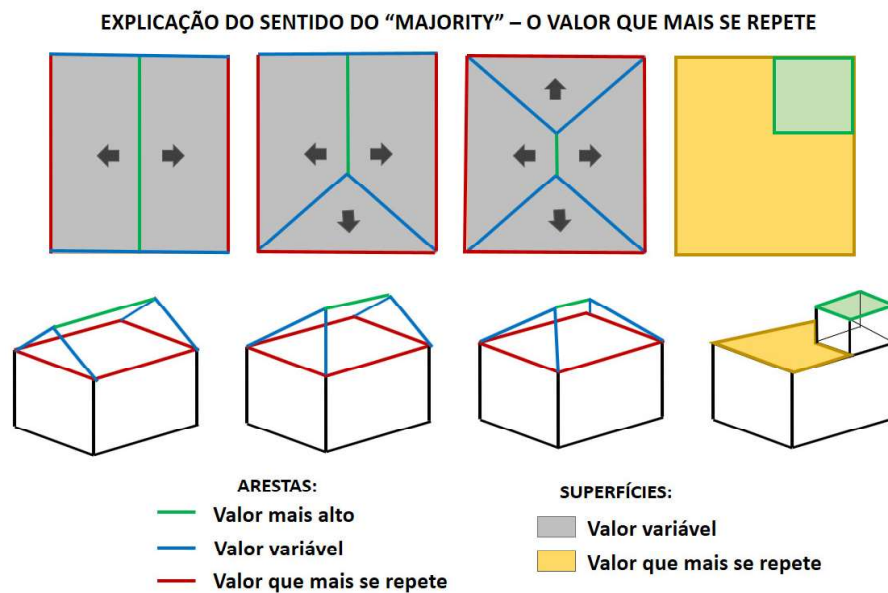


Fig. 1 – Demonstração do uso da estatística de Majority – tanto em laje plana como em telhado é capturado o valor que mais se repete, que corresponde à altura da edificação segundo o coeficiente de aproveitamento.

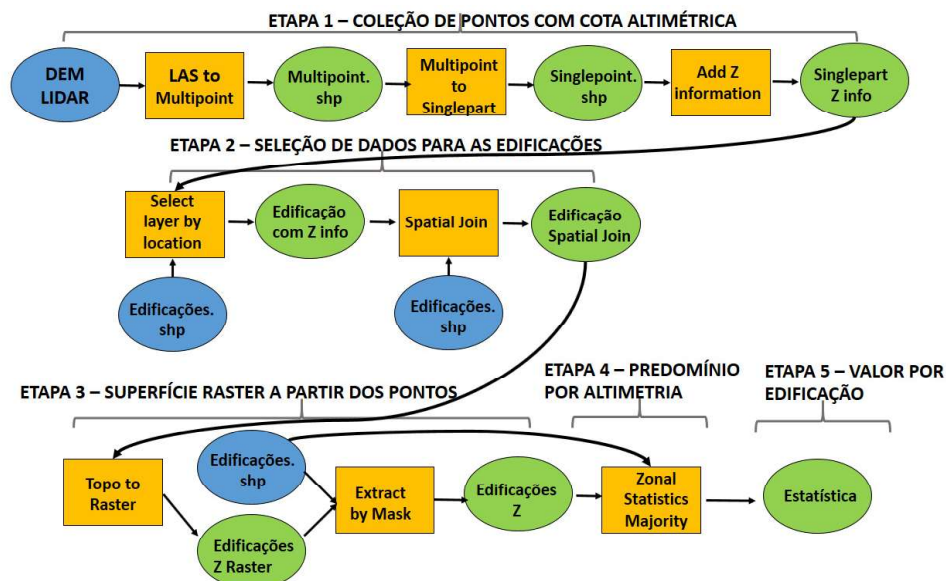


Fig. 2 – Modelagem da extração da altimetria das edificações usando dados topográficos do LiDAR

## 2.2 Representação do volume existente e simulação volumétrica

Os valores de altura das edificações obtidos na etapa anterior foram utilizados para representação tridimensional das edificações, através da representação das projeções das edificações, camada fornecida pela PBH, de modo a permitir a visualização dos volumes praticados.

O processo foi inicialmente realizado no ArcScene, apenas para promoção da visualização dos envelopes genéricos da volumetria praticada hoje. Tendo como atributo a altura associada ao desenho de cada edificação (Figura 3).



Fig. 3 – Volumes praticados, representados a partir do cálculo de alturas de dados do LiDAR.

Considerando que a Prefeitura de Belo Horizonte está em processo de revisão do Plano Diretor e de proposição de parâmetros urbanísticos do município tendo coeficiente padrão o CA 1 (o volume total máximo que se pode construir em um lote, somadas as áreas de todos os pavimentos, é de uma vez a área do lote), foi simulado o Coeficiente de Aproveitamento de valor 1 (um, ou 100%) a partir da projeção da edificação praticada. Isto visou a comparação entre os volumes praticados e os volumes autorizados para um coeficiente básico, para identificação de estoques. (Figura 4).

Para esse procedimento foram separados os lotes cuja Taxa de Ocupação das edificações era menor do 20%, entendendo que índices tão baixos significam que as edificações existentes têm o padrão de “edícula” ou ocupação com potencial de substituição da tipologia de ocupação (Figura 5). Tanto nos lotes vazios

como nos lotes contendo pequenas edificações, não fazia sentido comparar volumes praticados com volumes autorizados, mas sim separá-las por saber que ali se tem ampla condição de emprego de estoques, dentro dos limites da legislação.



Fig. 4 - Verde escuro lotes vazios, verde claro baixa ocupação, cinza lote ocupado. Azul coeficiente autorizado para CA=1. Laranja o coeficiente praticado.



Fig. 5 – À esquerda separação dos lotes vazios. À direita identificação dos lotes vazios (verdes escuros), lotes de baixa ocupação (verdes claros) e lotes ocupados (laranja).

A partir de um instrumento do Estatuto da Cidade e contemplado nos Planos Diretores denominado “Outorga Onerosa do Direito de Construir” é possível adquirir estoques volumétricos para ampliação desse coeficiente básico. Assim, com vistas a suscitar a reflexão sobre o que significarão essas mudanças volumétricas, e sempre em comparação com a volumetria praticada hoje, foram realizados cálculos do que significaria o emprego do Coeficiente de Aproveitamento de 1.3 e de 2 (CA 1.3 e CA 2.0). (Figura 6 e Figura 7).

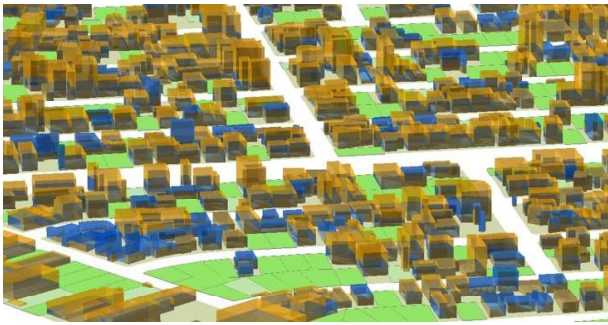


Fig. 6 - Comparação de volumes praticados com volumes simulados a partir da aplicação do Coeficiente de Aproveitamento 1,3. Verde escuro lotes vazios, verde claro baixa ocupação, cinza lote ocupado. Azul Coeficiente autorizado por lei para CA=1,3. Laranja o coeficiente praticado.

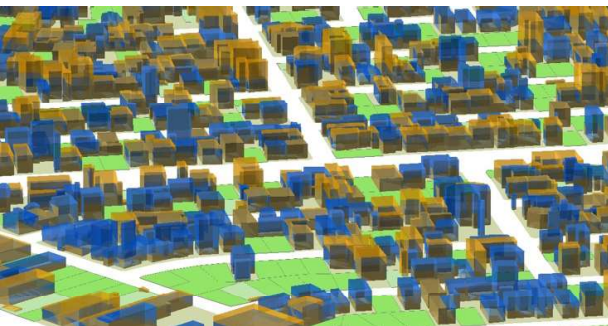


Fig. 7 - Comparação de volumes praticados com volumes simulados a partir da aplicação do Coeficiente de Aproveitamento 2,0. Verde escuro lotes vazios, verde claro baixa ocupação, cinza lote ocupado. Azul Coeficiente autorizado por lei para CA=2. Laranja o coeficiente praticado.

### 3. ESTUDO DO PLANO DIRETOR PARA SIMULAÇÃO DOS VOLUMES AUTORIZADOS POR LEI

Além da representação tridimensional dos volumes praticados e dos volumes autorizados a partir dos Coeficientes de Aproveitamento básicos e os dos coeficientes possíveis por processos de Outorga Onerosa, foram realizadas análises de distribuição espacial dos valores numéricos, a fim de analisar as condições de capacidade de carga do ponto de vista de territorial. Elas representam a diferença entre o coeficiente praticado e o coeficiente que pode ser autorizado, o que é a relação entre déficit e estoque volumétrico (Figura 8).

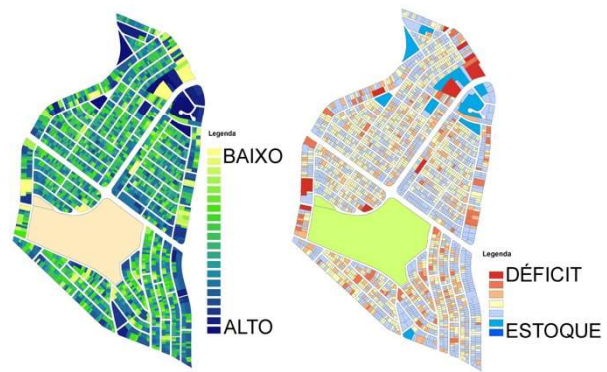


Fig. 8 – Comparação do Coeficiente de Aproveitamento praticado com o Coeficiente de Aproveitamento autorizado básico – CA 1 (100%). Distribuição por escala normalizada (à esquerda) e distribuição quanto à escala de alto déficit (vermelho) a alto estoque (azul) (à direita).

#### 3.1 Modelagem Paramétrica da Paisagem Urbana para visualização de modo dinâmico do impacto das mudanças de valores em parâmetros

A Modelagem Paramétrica da Paisagem ou da Ocupação Territorial é baseada na definição de algoritmos que compõem representação tridimensional da paisagem com lógicas geométricas e valores numéricos, mas com o adicional de permitir modificações de valores e parâmetros e, simultaneamente, simular a visualização do resultado dessas modificações.

Para apresentar um exemplo, imagina-se a representação da ocupação volumétrica em um lote delimitada pelos Afastamentos em relação às divisas, Taxa de Ocupação e Coeficiente de Aproveitamento, e com isto definindo um envelope máximo no volume a ser edificado. Alterando afastamentos, por exemplo, os resultados dos outros parâmetros também são alterados e, conseqüentemente, o volume resultante será diferente. Alterando valores de qualquer um dos parâmetros, por consequência toda a relação geométrica do envelope se altera e é interessante que os resultados sejam visíveis de modo sincrônico com as alterações.

A visualização dos envelopes máximos e as simulações de alterações de valores de parâmetros favorecem a compreensão do que significa o plano aprovado para um zoneamento.

A partir da compreensão de como funciona o parâmetro, o cidadão poderá construir um conhecimento que o capacitará a fazer escolhas nas votações de normativas urbanísticas.

Para o estudo de caso foi inicialmente identificado o zoneamento local, no caso o ZAR1 (zona de adensamento restrito) e foram anotados os valores de Afastamentos frontal, lateral e fundos (distâncias em relação às divisas do lote), Taxa de Ocupação (percentual utilizado do lote) e Coeficiente de Aproveitamento (área total construída, somando todos os andares), além da taxa de permeabilidade do lote.

O aplicativo utilizado para a construção das regras de parametrização foi o CityEngine/ESRI, destinado a representações tridimensionais dinâmicas através da programação de regras (rules).

As regras são construídas a partir de definição de atributos, que podem tanto ser valores previamente estabelecidos (a exemplo a Taxa de Ocupação), como valores que devem ser armazenados no processo do algoritmo (como exemplo o número de pavimentos da edificação, resultante da álgebra que considera Afastamentos, Taxa de Ocupação e Coeficiente de Aproveitamento). Além dos atributos, as regras apresentam também pacotes de procedimentos que executam processos necessários para as etapas de construção do volume a ser visualizado. As regras podem gerar relatórios em cada etapa, de modo a favorecer que o usuário obtenha feedbacks numéricos dos processos realizados.

No exemplo desenvolvido, o primeiro passo foi a aplicação de afastamentos frontal, lateral e fundos. Na sequência foi aplicada a regra que, descontados os valores das áreas destinadas ao afastamento, é identificada e mensurada a área útil no lote, que significa o espaço deixado pelos afastamentos para que a edificação seja implantada, respeitadas as dimensões controladas pela Taxa de Ocupação. Esta fase, identificada por “regra básica” (MOURA *et al.*, 2014). O passo seguinte é a geração do envelope, que é resultante do Coeficiente de Aproveitamento e que define a altura da edificação.

Como exemplo para se entender o processo: tendo um lote de 380 metros quadrados,

Taxa de Ocupação de 0,5 e Coeficiente de Aproveitamento 1,3, isto significa que no lote é possível ter a projeção máxima de uma edificação de 190 metros quadrados e somadas as áreas de todos os andares, a área total construída poderia chegar a 494 metros quadrados.

Acontece que se for aplicado o valor de metragem por andar de 190 metros quadrados, o cálculo como se encontrava resultaria em  $494/190=2,6$ . A partir daí a regra simplesmente multiplicava o número obtido por 3 metros, para se ter a altura da edificação. Contudo, não existem 2.6 andares e por isto a altura final da edificação não pode ser 7.8 metros. Outra questão é que não cabe, apenas, o arredondamento do valor para números inteiros, pois no mesmo exemplo o número de andares seria arredondado de 2.6 para 3. Acontece que se for aplicado este número de andares tendo a projeção da edificação o valor 190 m<sup>2</sup>, a área total final da edificação será 570 m<sup>2</sup>, o que significa Coeficiente de Aproveitamento de 1.5, acima do máximo previsto.

Assim, a regra proposta avalia o resultado obtido e cria duas condições: se o valor fracionado do número de pavimentos é menor do que 0.5, considera-se o valor arredondado e é mantida a projeção da edificação. Se o valor fracionado de número de pavimentos é acima ou igual a 0.5, o número de pavimentos é arredondo para cima, mas é aplicado novo processo que reduz a projeção da edificação, e conseqüentemente a área prevista por andar. Esta redução é toda proporcional, considerando o número de pavimentos e a área máxima total autorizada pelo Coeficiente de Aproveitamento.

Finalmente, é desenhado o volume final, com o processo de verticalização. Destaca-se que o processo gera muitos valores de atributos, que são armazenados e reportados para conferência de resultados e para dar subsídios para que o usuário tenha domínio da lógica de parametrização e possa atuar como projetista da paisagem. (Figura 9). Uma vez montada a regra, é possível simular mudanças de valores e obter a visualização dos resultados. (Figura 10 e Figura 11).

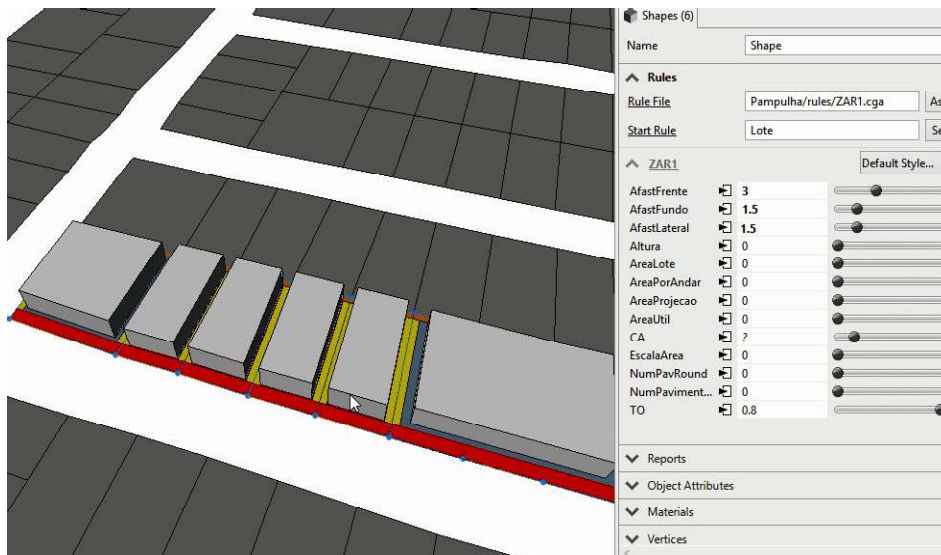


Fig. 9 – Resultado da aplicação da Regra.

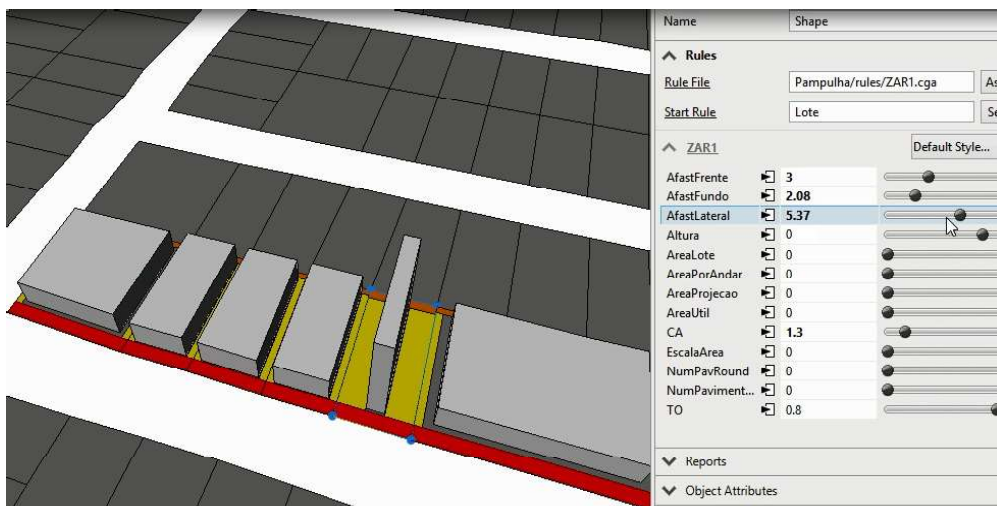


Fig. 10 – Simulação da alteração de afastamento lateral.

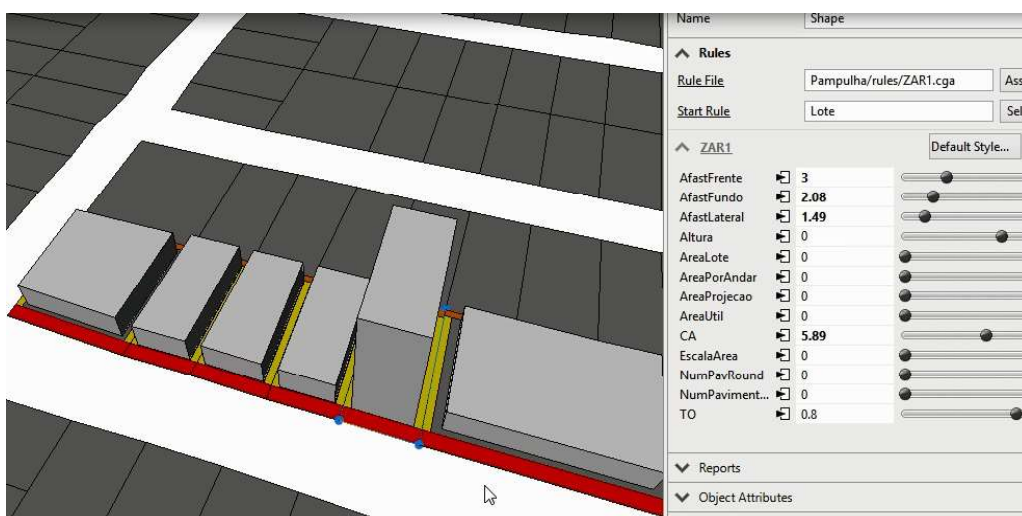


Fig. 11 – Simulação da alteração de Coeficiente de Aproveitamento.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O Cadastro 3D será um desafio para a escala nacional, sobretudo porque é necessário ter uma base mínima de dados já levantada. Em um país caracterizado por expressivas diferenças de acesso e produção da informação, será uma grande tarefa. Contudo, não é tarefa tão diferente da construção de uma capacidade de real participação dos cidadãos na votação de normativas que modelam a paisagem coletiva.

A primeira contribuição do presente artigo é a apresentação de um roteiro metodológico para o trabalho com dados do LiDAR, com vistas ao cálculo da altura das edificações. Os cálculos favorecem a construção de um modelo digital tridimensional dos volumes praticados na paisagem urbana. A representação não visa detalhes, mas sim os volumes praticados e o que eles significam em termos de coeficiente de aproveitamento.

A Modelagem Paramétrica permite simular a visualização de mudanças de parâmetros, como o incremento de coeficiente de aproveitamento. A simulação permite a comparação entre o praticado e o autorizado, tanto por coeficientes básicos como pelo incremento de coeficientes, que podem ser adquiridos por Outorga Onerosa do Direito de Construir. Nesse sentido, a metodologia de emprego de dados do LiDAR favorece o apoio a decisões na implantação de novos instrumentos urbanísticos propostos no Estatuto da Cidade.

O artigo favorece reflexões sobre grandes desafios a serem, necessariamente enfrentados no gerenciamento do território urbano, sendo um deles a elaboração de uma base mínima de informações cadastrais que contemplem a realidade em sua expressão volumétrica, posto que o modo de aprovação de projetos em lotes urbanos segue a tradição da morfologia, representada pelos parâmetros urbanísticos de geometrias bi e tridimensionais (afastamentos em relação às divisas, taxa de ocupação, taxa de permeabilidade, altura máxima, coeficiente de aproveitamento e, eventualmente, cota de lote por unidade habitacional).

Outro aspecto muito atual nos estudos urbanos é o domínio da realidade volumétrica do território urbano, uma vez que este é a nova forma de gerenciamento e transações

imobiliárias, através dos instrumentos de TDC (Transferência do Direito de Construir) e OODC (Outorga Onerosa do Direito de Construir). Cabe, portanto, o emprego de metodologias que avaliem os estoques volumétricos, em vista de estudos de capacidade de carga de intervenções e de resiliência da transformação da paisagem urbana.

Estudos como os aqui realizados são necessários em processos para a definição dos limites do aceitável e do adequado para o incremento volumétrico em um território, que são índices que podem ser bastante técnicos do ponto de vista da infraestrutura e dos valores ambientais, mas são de natureza cultural e qualitativos quando considerado o ponto de vista da comunidade.

Finalmente, cabe instruir os cidadãos sobre como as normas aprovadas em audiência pública incidem sobre a produção da paisagem coletiva. Cabe lembrar que as normas são autorizadas por processos de aprovação do Plano Diretor e respectivo Zoneamento contendo a tabela de parâmetros urbanísticos, assim como por leis complementares que fazem ajustes relativos a parâmetros. A pergunta que se faz é: os cidadãos, os técnicos e os gestores conseguem prever o resultado de uma paisagem a partir da escolha dos parâmetros, ou são surpreendidos pelos resultados? Eles conseguem entender os processos relacionados à construção da paisagem e aceitam as transformações que resultam em um ambiente cujo resultado não foi sequer previamente analisado?

Todas estas questões são motivos de inquietude abordados no presente artigo, constituindo eixos de investigação que terão continuidade em novos trabalhos. Assim, apresentou-se aqui um processo metodológico que está sendo aprimorado para cumprir aos desafios apresentados.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Prefeitura de Belo Horizonte pelo amplo acesso às informações, cedidas mediante acordo do GGIU – Grupo de Gestão da Informação Urbana.

Os autores da publicação agradecem ao CNPq o apoio através do projeto “Geodesign e Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial: novos recursos das geotecnologias

para gestão da paisagem da Regional Pampulha, Belo Horizonte”, Processo 471089/2014-1, CHAMADA MCTI/CNPQ/MEC/CAPES Nº 22/2014 e à Fapemig pelo Processo PPM IX, TEC - PPM-00059-15.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. L. **Cadastro 3D no Brasil a partir de varredura a laser (Laser Scanning)**. 2015, 155p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.

ARAÚJO, A. L., OLIVEIRA, F. H., BERTONCINI, A. L. S., SENA, P. S. Certificado de potencial adicional de construção a partir de dados LIDAR e parametrização no City Engine. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n.8 Edição Especial 26º CBC, 2015, p. 1587-1605.

BRASIL. **Decreto Presidencial nº 6666, de 27 de novembro de 2008**. Institui, no âmbito do Poder Executivo Federal, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais- INDE, e dá outras providências.

BRASIL. **Lei Federal nº 10.257. 10 de jul. 2001**. Regulamenta os Arts. 182 e 183 da CF e estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.

BRUNS, D., SCHMIDT, A. City edges in Germany: Quality growth and urban design. **Landscape and Urban Planning**, v. 36, n. 4, 1997, p. 347-356.

CARNEIRO, A. F. T.; ERBA, D. A.; AUGUSTO, E. A. Preliminary Analysis of the Possibilities for the Implementation of 3D Cadastre in Brazil. **2nd International Workshop on 3D Cadastres**. 16-18 November 2011, Delft, the Netherlands.

CARNEIRO, A. F. T.; ERBA, D. A.; AUGUSTO, E. A. Cadastro multifinalitário 3D: conceitos e perspectivas de implantação no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, n. 2, 2012. p. 257-271.

CENTENO, J. A. S.; BÄHR, H. P. Opções para coleta e visualização de dados para o Cadastro Técnico Multifinalitário. **COBRAC 2008: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. Florianópolis, UFSC. 2008. p. 1-11.

FLORIO, W. Modelagem paramétrica,

criatividade e projeto: duas experiências com estudantes de arquitetura. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 6, n. 2, 2011. p. 43-66.

GEHL, J. **Cities for people**. Washington, D.C., Island Press, 2010. 269 p.

KETTLES, C. M. A Comprehensive Review of Solar Access Law in the United States. **Solar America Board for Codes and Standards**. 2008. 33 p.

MAAS, W.; VAN RIJS, J.; KOEK, R. **FARMAX. Excursions on Density**. Rotterdam, 010 Publishers, 2006. 736 p.

MOURA, A. C. M.; RIBEIRO, S. R.; CORREA, I.; BRAGA, B. Parametric Modeling of Urban Landscape: Decoding the Brasilia of Lucio Costa from Modernism to Present Days. **Tema - Journal of Land Use, Mobility and Environment**. University of Naples, 2014. v. 1, p. 695-708.

MOURA, A. C. M. Geodesign in Parametric Modeling of urban landscape. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 42, n. 4, 2015. p. 323-332.

MOURA, A. C. M. Learning topics in urban planning at UFMG: Geoprocessing to support analysis, planning and proposal of the urban landscape at neighborhood scale. **Paranoá Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, n. 7, 2012. p. 51-59.

MOURA, A. C. M.; SANTANA, S. As parcelas como nova forma de modelar a cidade no Cadastro Territorial Multifinalitário. **Revista Brasileira de Cartografia (Online)**, v. 66, n. 5, 2014. p. 1029-1038.

NORBERG-SCHULZ, C. **Genius loci: Towards a phenomenology of architecture**. Londres, Academy Editions, 1980. 216 p.

PAIXÃO, S. K. S.; NICHOLS, S.; CARNEIRO, A. F. T. Cadastro Territorial Multifinalitário: dados e problemas de implementação do convencional ao 3D e 4D. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.18, n.1, 2012, p. 3-231.

POMPEI, S. **Il piano regolatore perequativo: aspetti strutturali, strategici e operative**. Milão, Hoepli, 1998, 411 p.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE.

**Projeto de Lei 1749/2015.** Aprova o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte e dá outras providências.

PREFEITURA DO DISTRITO FEDERAL DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Cidade do Rio de Janeiro: remodelação, extensão e embelezamento. Plano de Alfred Agache.** Paris, Foyer Bresilien, 1927, 454 p. (disponível em: <http://planourbano.rio.rj.gov.br/DocReadernet/>

[docreader.aspx?bib=PlanoUrbano&pesq=\)](#)

RAFIEE, A.; DIAS, Eduardo; K., Eric. Local impact of tree volume on nocturnal urban heat island: A case study in Amsterdam. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 16, 2016. p. 50-61.

STOTER, J. **3D Cadastre.** Technische Universiteit Delft, 2004. 344 p.