

## SISTEMAS GENERATIVOS APLICADOS À LEGISLAÇÃO URBANA: SIMULAÇÃO DAS POSSÍVEIS TRANSFORMAÇÕES NA OCUPAÇÃO DA CIDADE ALTA EM JUIZ DE FORA - MG

Leonardo Sanches<sup>1</sup>  
Isabela Tallman Saar<sup>2</sup>  
Anna Cláudia Leonel da Silva<sup>3</sup>  
Mariana Zanovello Rosa<sup>4</sup>  
Tales Ribeiro Siqueira<sup>5</sup>

### RESUMO

A evolução das ferramentas digitais de projeto traz novas possibilidades tanto para a produção quanto para a análise da arquitetura e do espaço urbano. Neste contexto, se propõe a análise de uma região da cidade de Juiz de Fora/MG apoiada no uso de algoritmos de projeto capazes de produzir objetos arquitetônicos com base em condicionantes legais. Desta forma se busca, tanto verificar o impacto das transformações urbanas na região, quanto avaliar o próprio uso da ferramentas. Para o desenvolvimento da pesquisa, foi selecionado o software Rhinoceros como modelador 3d, em conjunto com o plug-in Grasshopper, utilizado para editar graficamente os algoritmos de programação. Em relação ao espaço urbano analisado, destaca-se um grande potencial de aumento na densidade demográfica local mesmo com a manutenção dos parâmetros urbanos atuais. Considerando-se esta possibilidade justificam-se estudos futuros que investiguem, de forma direta, os impactos na infraestrutura urbana da região.

**Palavras-chave:** BIM. Legislação Urbana. Sistemas generativos de projeto. Simulação urbana. Juiz de Fora.

---

<sup>1</sup> Docente do Curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora – CES/JF - leonardosanches@cesjf.br.

<sup>2</sup> Discente do Curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora – CES/JF - isabelatsaar@gmail.com.

<sup>3</sup> Discente do Curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora – CES/JF - annac\_leonel@hotmail.com.

<sup>4</sup> Discente do Curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora – CES/JF - marizanovello.r@gmail.com.

<sup>5</sup> Discente do Curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora – CES/JF - talesriqueira@hotmail.com.

## 1 INTRODUÇÃO

O panorama da Arquitetura e do Urbanismo tem se modificado em função da integração cada vez maior com as ferramentas digitais, quer sejam estas de desenvolvimento, ou de representação de projetos. Para Howell & Batcheler (2005), as aproximações iniciais entre projeto e *Computer Aided Design* (CAD) estavam relacionadas à substituição das ferramentas de desenho, ainda que mantendo as lógicas de representação existentes. Em um segundo momento, com o desenvolvimento das ferramentas 3D, o CAD passou a se focar na visualização do objeto arquitetônico. A partir de então, com a evolução dos modelos 3D, surge o conceito de *Building Information Modeling* (BIM) que, para Eastman et al. (2011, p.16), se trata de “uma tecnologia de modelagem e seus devidos processos associados com o objetivo de produzir, comunicar e analisar modelos e edificações”. Em síntese, com base na interoperabilidade entre ferramentas e agentes, este processo busca transformar o modelo tridimensional na peça central do desenvolvimento do projeto concentrando todas as informações agregadas ao longo do processo e sendo fonte da documentação necessária para sua execução.

Para Issa et al. (2009), um campo promissor da tecnologia BIM é a simulação, visto que ela permite maior exploração e refinamento do projeto da construção e, mesmo, da operação das edificações. No caso do ambiente urbano, além da exploração espacial das opções de projeto, este tipo de sistema, principalmente com o apoio da parametrização e dos sistemas generativos de projeto, pode fornecer dados complementares para o planejador urbano, população, fluxo de veículos, infraestrutura necessária, entre outros podem ser utilizados como subsidio para melhores soluções de projeto. Sendo assim, através do uso de tais ferramentas, se pode explorar as possíveis transformações no espaço urbano de acordo com as restrições legais a serem aplicadas nos objetos arquitetônicos construídos.

Neste contexto, se propõe a exploração das possibilidades geradas pelas novas ferramentas digitais, para se analisar o cenário de ocupação máxima permitida pela legislação para determinada região. O recorte espacial da pesquisa se dá na região da Cidade Alta, em Juiz de Fora/MG. Esta escolha se justifica, visto que esta região, localizada na zona Oeste do município, vinha sendo ocupada gradativamente, desde seu surgimento como uma colônia agrícola, porém, principalmente nos últimos quinze anos, esta região passou a ser um dos principais vetores de crescimento da cidade.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 BIM, PARAMETRIZAÇÃO E SISTEMAS GENERATIVOS DE PROJETO

Para Eastman et al. (2011, p.16), *Building Information Modeling* (BIM) é “uma tecnologia de modelagem e seus devidos processos associados com o objetivo de produzir, comunicar e analisar modelos e edificações”. Estes modelos são o conjunto dos componentes do edifício e seus comportamentos específicos, bem como uma série de dados consistentes, coordenados e não redundantes. Em síntese, com base na interoperabilidade entre ferramentas e agentes, este processo busca transformar o modelo tridimensional na peça central do desenvolvimento do projeto concentrando todas as informações agregadas ao longo do processo e sendo fonte da documentação necessária para sua execução.

Um dos componentes do sistema BIM é o desenho paramétrico. Este, para Henriques & Bueno (2010), “corresponde à codificação de um conjunto de regras ou relações lógicas, geométricas e paramétricas, numa determinada sequência, para resolver um determinado problema”. Sistemas generativos de projeto, por sua vez, são um conjunto de definições abstratas de variações capazes de exibir ou produzir projetos, sem necessariamente se restringir à aplicação de ferramentas digitais (FISCHER e HERR, 2001), um exemplo de

sistema analógico que pode ser classificado como generativos é a gramática da forma (FISCHER e HERR, 2001; SHEA et al., 2005). No entanto, em termos gerais, tais sistemas “visam a criação de um novo processo de projeto capaz de produzir novas possibilidades espaciais, eficientes e edificáveis, através da exploração dos recursos de computação e fabricação atuais” (SHEA et al. 2005).

### 2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A LEGISLAÇÃO URBANA

O uso e a ocupação do solo, em geral, são controlados através de regulamentação municipal. Ao se analisar os códigos de edificações ou urbanização das cidades, mais especificamente de Juiz de Fora (leis municipais de número 6.909/1986 e 6910/86), Rio de Janeiro (Lei Complementar nº 31/2013) e Belo Horizonte (Lei nº 7.166/96, com alterações introduzidas pela Lei nº 9.959/10), percebe-se que a busca pela qualidade do espaço urbano esta pautada na adoção de modelos de ocupação. Tais modelos são baseados no controle dos parâmetros de potencial construtivo, ocupação do terreno, gabarito máximo e afastamentos, entre outros, e são aplicados de forma generalista em função do zoneamento da cidade.

Por meio destes instrumentos legais, o processo de adequação à legislação se caracteriza como um problema sem uma solução única, mas que percorre um caminho bem definido, algo que se assemelha ao conceito de algoritmo apresentado por Terzidis (2006, p.15). Segundo o autor, um algoritmo é a “codificação de um problema através de uma série de passos finita, consistente e racional”.

No caso de Juiz de Fora, os modelos de ocupação estipulados pelo código de obras apresentam duas tipologias básicas de edifícios, uma delas composta por um volume único do térreo até o nível mais alto, com possibilidades de escalonamento, a qual será aqui, chamada de Torre – modelos M1, M2, M3, M4 e M5. A segunda tipologia admitida é a

Embasamento/Torre (M1A, M2A, M3A, M4A, M5A, M6A, M7A, M8A), que permite a criação de um volume inferior com maior taxa de ocupação e sem as limitações de afastamentos, aqui chamado de Embasamento – em geral utilizado para áreas comuns e uso comercial/serviços.<sup>6</sup>

### 3 METODOLOGIA

Sanches (2017) explora esta possibilidade através do desenvolvimento um algoritmo de projeto capaz de automatizar os cálculos exigidos pela legislação urbana da cidade de Juiz de Fora, utilizando o software *Rhinoceros* como modelador 3d, em conjunto com o *plug-in Grasshopper* para editar graficamente os algoritmos de programação. O estudo aqui apresentado se pauta na aplicação desta ferramenta para simulação do espaço urbano em transformação.

O recorte espacial na região da Cidade Alta, em Juiz de Fora/MG, se configura como visto na FIGURA 01, abaixo, e visa abordar a centralidade em desenvolvimento na região de estudo.

---

<sup>6</sup> Lei 6.909 de 31 de maio de 1986: dispõe sobre as edificações no município de Juiz de Fora; (PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA, 1986A). Lei 6.910 de 31 de maio de 1986: dispõe sobre o ordenamento do uso e ocupação do solo no município de Juiz de Fora; (PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA, 1986B). Lei complementar 005/2013: altera a lei municipal nº 6.909 de 31 de maio de 1986. (PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA, 2013A). Lei complementar 006/2013: altera a lei municipal nº 6.910 de 31 de maio de 1986. (PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA, 2013B)

FIGURA 01 – Limites do recorte espacial proposto



Fonte: Autor.

## 4 SIMULAÇÃO URBANA

### 4.1 ÁREA SELECIONADA

A área selecionada para estudo vem cada vez mais se transformando em uma nova centralidade na cidade, passando a concentrar tanto população quanto equipamentos e serviços, como suporte aos diversos bairros residenciais com menor densidade que a circundam (Figura 02). A região foi escolhida devido às transformações que se acentuam cada vez mais, e se concentra no entorno da Av. Presidente Costa e Silva, tendo os limites definidos em função de elementos que marcam a divisão entre bairros.

FIGURA 02 – área selecionada para simulação



Fonte: Autor

Em relação às predefinições do lugar, a topografia apresenta pouca declividade e os elementos naturais que marcam seus limites são o Córrego de São Pedro e o Morro do Tupã. Com relação ao tecido urbano, o sistema viário apresenta um tronco principal, Av. Presidente Costa e Silva, uma via de trânsito intenso complementar (BR440), e vias secundárias que distribuem os fluxos ao longo do sítio. Os quarteirões, em sua maioria longos, são caracterizados pelo parcelamento típico residencial com terrenos de aproximadamente 350m<sup>2</sup> a 400m<sup>2</sup>.

FIGURA 03 – área selecionada para simulação

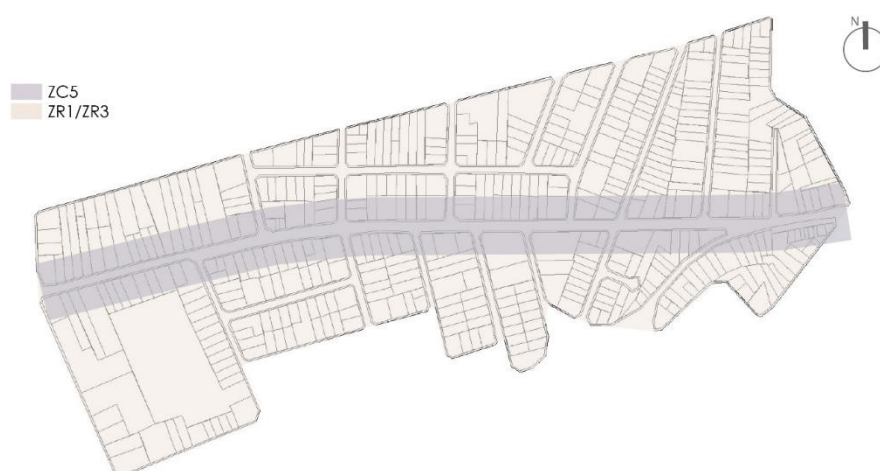


Fonte: Autor

Caracterizada como corredor de bairro, a Av. Presidente Costa e Silva apresenta características distintas das demais vias da região. Seu caráter predominantemente misto concentra os principais pontos comerciais e de serviços da região. Nas demais áreas, o uso é predominantemente residencial (Figura 03). Destaca-se a região da BR440, uma via relativamente nova em comparação às demais que apresenta características de uso ainda em desenvolvimento, originalmente confrontada por fundos de terrenos, hoje passa a contar com grandes equipamentos como supermercados e centros comerciais, além de grandes conjuntos habitacionais verticais.

A região apresenta quase a totalidade dos terrenos ocupados, mas ainda não é explorada até seu potencial máximo. Em termos legais, a região se caracteriza como Zonas de Uso e Ocupação ZR1/ZR3 e conta com apenas um Corredor de Bairro, um mecanismo adotado no código de obras da cidade para criar um caso especial em que se utiliza um modelo de ocupação mais permissivo em relação à zona em que se encontra, no caso, ZC5. (Figura 04). Neste cenário legal, são permitidos até 6 Modelos de Ocupação diferentes. O Quadro 01 abaixo apresenta os principais parâmetros para cada um deles.

FIGURA 04 – área selecionada para simulação – modelos de ocupação



Fonte: Autor



QUADRO 01 – Modelos de ocupação

Lote		Modelo	Coeficiente de aproveitamento máximo	Taxa de ocupação máxima	Afastamento frontal mínimo (m)	Afastamento lateral e fundos mínimos (m)	Modelo	Coeficiente de aproveitamento máximo	Taxa de ocupação máxima	Afastamento frontal mínimo (m)	Afastamento lateral e fundos mínimos (m)
Área mínima (m <sup>2</sup> )	Testada Mínima (m)										
300	10	M1	1.0	65%	3,0	Lote > 300 m <sup>2</sup> Uma divisa=0 Demais=1,5	M1A	1.0	1º ao 3º pav.=100% (até 9,20m de altura) Demais pav.=65%	2,0	1º ao 3º pav.=0 Demais pav.: uma divisa=0 demais=1,5
		M2	1.3				M2A	1.65			
		M3	1.7*				M3A	2.1*			
300	10	M3	1.8	50%	3,0	testada ≤ 12m Uma divisa=0 Demais=1,5 Testada > 12m 1,5	M4A	3.0	1º ao 3º pav.=100% (até 9,20m de altura) Demais pav.=50%	2,0	1º ao 3º pav.=0 Demais pav. Testada ≤ 12m: uma divisa=0 demais=1,5 testada > 12: 1,5
360			2.4*								
360	10	M4	2.5	50%	3,0	testada ≤ 12m Uma divisa=0 Demais=1,5 Testada > 12m 1,5	M4A	3.0	1º ao 3º pav.=100% (até 9,20m de altura) Demais pav.=50%	2,0	1º ao 3º pav.=0 Demais pav. Testada ≤ 12m: uma divisa=0 demais=1,5 testada > 12: 1,5
450	12		M5								
450	12	M5	3.0	50%	3,0	testada ≤ 12m Uma divisa=0 Demais=1,5 Testada > 12m 1,5	M4A	3.0	1º ao 3º pav.=100% (até 9,20m de altura) Demais pav.=50%	2,0	1º ao 3º pav.=0 Demais pav. Testada ≤ 12m: uma divisa=0 demais=1,5 testada > 12: 1,5
550	12	M6A	4.5								
700	15	M7A	5.5	50%	3,0	testada ≤ 12m Uma divisa=0 Demais=1,5 Testada > 12m 1,5	M7A	5.5	1º ao 4º pav.=100% (até 12m de altura) Demais pav.=50%	2,0	1º ao 4º pav.=0 Demais:2,0
1200	18										

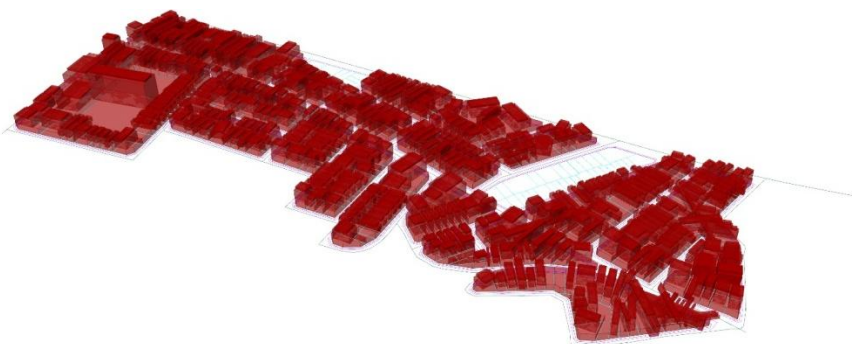
\*Para utilização dos coeficientes assinalados com (\*), deverão ser observadas as seguintes relações mínimas de vagas/apartamento:  
 $AP \leq 55m^2 = 1 \text{ vaga}/2 \text{ apartamentos}$ ,  $55m^2 < AP < 100m^2 = 1 \text{ vaga}$ ,  $100m^2 \leq AP < 160m^2 = 2 \text{ vagas}$ ,  
 $AP \geq 160m^2 = 3 \text{ vagas}$ ; onde AP= área total do apartamento

Fonte: [http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c\\_norma.php?chave=0000037014](http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c_norma.php?chave=0000037014), adaptado pelo autor.

A Figura 05 apresenta a situação local com uma possibilidade de configuração para o aproveitamento máximo do potencial construtivo da região. Os parâmetros da legislação permitem potenciais construtivos que variam de 1.0 até 2.8 com a diferenciação entre a via principal, considerada corredor de

bairro, e as demais. Com uma área total disponível de aproximadamente 232.806m<sup>2</sup>, o potencial total da área poderia ultrapassar 530.000m<sup>2</sup>.

FIGURA 05 – área selecionada situação atual com ocupação máxima

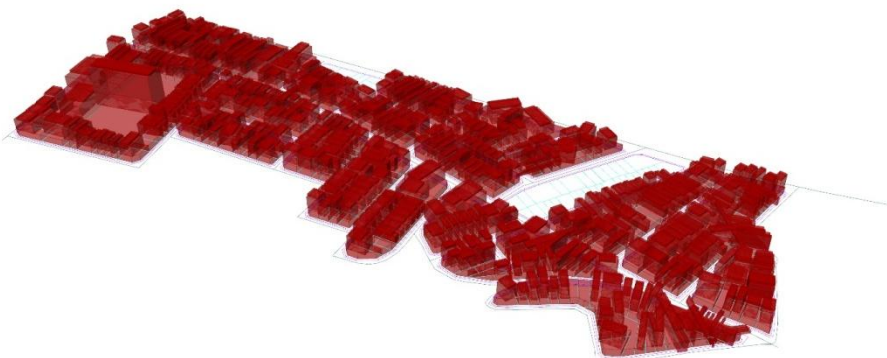


Fonte: Autor

## 4.2 SIMULAÇÕES

Para uma primeira simulação se adotou o modelo M3A para toda a área. Esta mudança implicaria na manutenção do potencial na via principal, e em um aumento considerável para os demais lotes da área de estudo. Neste caso (ver Figura 06), considerando os mesmos 232.806m<sup>2</sup>, com um coeficiente de aproveitamento de 2.8, o potencial total da área seria aumentado para aproximadamente 650.000m<sup>2</sup>.

FIGURA 06 – simulação 01 – modelo de ocupação M3A



Fonte: Autor

Para a segunda simulação, se adotou uma estratégia de zoneamento semelhante ao que se verifica na centralidade principal da cidade de Juiz de Fora, com um núcleo comercial em ZC1 (modelo de ocupação M6A), a via principal em ZC2 (modelo de ocupação M8A), e o restante da área em ZR1/ZR3 (modelo de ocupação M2A). Desta forma, os modelos de ocupação poderiam alcançar até o modelo M8A, o modelo máximo permitido pela legislação atual. Com os coeficientes de aproveitamento máximo variando de 2.5 a 6.5, o potencial total da área alcançaria aproximadamente 980.000m<sup>2</sup> (Figura 07).

FIGURA 07 – simulação 02 – modelo de ocupação entre M2A e M8A



Fonte: Autor

Visando o cálculo da população máxima possível para cada situação, considerou-se que todo o potencial construtivo seria utilizado para o uso residencial, e adotou-se a unidade média de 80m<sup>2</sup>. A partir destas definições, com o apoio da Instrução Técnica 08 do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais, se calculou a população estimada para cada caso (ver Quadro 02). A partir desta análise, verifica-se que as mudanças simuladas causariam um aumento na população de aproximadamente 22% para o primeiro caso, com a adoção do modelo de ocupação M3A para toda a área e de aproximadamente 83%

# IV SEMINÁRIO DE EXTENSÃO E PESQUISA

05 A 07 DE NOVEMBRO DE 2018



quando simulada uma ocupação semelhante à centralidade principal da cidade, com modelos mais permissivos, chegando até o M8A.

QUADRO 02 – Resumo dos dados das simulações

	Zona	Modelo ocupação	Área total	Potencial construtivo	Estimativa de unidades (80m <sup>2</sup> )	População estimada
Situação atual oc.	ZC5	Até M3A	65572,62	183603,30	2295	9180
máxima	ZR1/ZR3	Até M2A	167233,80	351191,00	4390	17559
	TOTAL	-	232806,40	534794,40	6685	26739
Simulação 01	ZC5	Até M3A	232806,40	651858,00	8148	32592
Simulação 02	ZC1	Até M6A	83642,56	376391,50	4705	18819
	ZC2	Até M8A	65572,62	426222,00	5328	21311
	ZR1/ZR3	Até M2A	83255,46	174836,50	2185	8741
	TOTAL	-	232806,40	977450,00	12218	48872

Fonte: dados da pesquisa

## 5 ANÁLISE E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Previamente à análise, vale ressaltar que as imagens apresentadas são apenas uma das possibilidades de ocupação máxima utilizando o potencial construtivo da área de estudo. Para cada situação simulada existem inúmeros cenários de ocupação, visto que, além das restrições legais, existem diversos outros fatores que levam ao produto final a ser implantado em determinado terreno. Ainda assim, a situação apresentada pode fornecer os dados necessários para os estudos relacionados a população, fluxo de veículos e infraestrutura necessária, entre outros.

Em uma análise da ferramenta de estudo, verifica-se, a partir da imagens, que dois quarteirões não tiveram os volumes gerados. Vale ressaltar que esta inconsistência foi apenas visual e que os dados gerados pelo algoritmo consideraram tais terrenos com parte do estudo.

Em relação ao espaço urbano analisado, destaca-se um grande potencial de aumento na densidade demográfica local, mesmo com a manutenção dos parâmetros urbanos atuais. Considerando-se esta possibilidade, justificam-se estudos futuros que investiguem, de forma direta, os impactos na infraestrutura urbana da região.

Como se vê, o problema de pesquisa se insere na temática contemporânea à medida em que explora ferramentas digitais para análise e produção do espaço. Em um processo tão rico em informações, projetos algorítmicos, algoritmos evolutivos e sistemas generativos de projeto podem trazer grandes vantagens no que diz respeito à produção e gerenciamento de informações, contribuindo para a integração da construção ao seu local de inserção.

### ABSTRACT

The evolution of digital design tools brings new possibilities for both production and analysis of architecture and urban space. Based on a design algorithm capable of producing architectural objects based on legal constraints, this study

presents an analysis of a specific city region of Juiz de Fora/MG. Aiming both, the analysis of the impact of urban transformations in that region, and also, the evaluation of using digital tools as a urban simulation method. The research relies on the use of Rhinoceros software as 3D modeler together with Grasshopper plug-in, used to edit algorithms graphically. Specifically about the urban space analysis, there is potential for increasing local population density even maintaining the current urban parameters. Based on this scenario, it is suggested the study of the impacts of the increasing population on urban infrastructure for that region.

**Keywords:** BIM. Urban Code. Generative Systems. Urban Simulation. Juiz de Fora.

## REFERÊNCIAS

Eastman, C. M. et al. (2014). **Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. Porto Alegre: Bookman.

Fischer, T.; Herr, C. M. (2001). Teaching generative design. **Proceedings of the 4th International Generative Art Conference**. Milan: Politecnico di Milano University.

Henriques, G. C.; Bueno, E. **Geometrias Complexas e Desenho Paramétrico**. Drops 030.08, 2010. Acesso em 28 jan 2016:  
<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/10.030/2109>.

Howell, I.; Batcheler, B. (2005). **Building information modeling two years later: Huge potential, some success, and several limitations**. The Laiserin Letter 24. Acesso em 29 jan 2016:  
[http://www.laiserin.com/features/bim/newforma\\_bim.pdf](http://www.laiserin.com/features/bim/newforma_bim.pdf)

ISSA, R. R. A.; SUERMANN, P. C.; OLBINA, S. (2009). Use of building information models in simulations. **Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference**. Austin: WSC.

Sanches, L. (2017). **Parametrização e sistemas generativos como apoio à tomada de decisões em projetos de arquitetura aplicados à legislação urbana da cidade de Juiz de Fora**. Juiz de Fora: UFJF. Master's Thesis.

Shea, K. et al. (2005). Towards integrated performance-driven generative design tools. **Automation in Construction**, v. 14, n. 2. p. 253–264.