



AVANÇOS E DESAFIOS NA APLICAÇÃO DA MODELAGEM PARA O MAPEAMENTO DA DINÂMICA DE MUDANÇA DE USO DO SOLO EM ÁREAS URBANAS

F. C. Ferreira¹, E. F. Silva^{1,2}, S. R. Ribeiro¹, S. M. Carvalho-Ribeiro¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

²Bolsista CAPES/Brasil

Comissão V - Gestão Territorial e Cadastro Técnico Multifinalitário

RESUMO

A modelagem das mudanças no uso do solo em contexto urbano vem sendo, cada vez mais, abordada com enfoque interdisciplinar e com crescente sofisticação onde dados espacialmente explícitos do passado e do presente permitem gerar cenários futuros de uso e ocupação do solo. A simulação do espaço urbano no futuro possibilita antever problemas provenientes do avanço da mancha urbana sobre áreas de relevância ambiental ou de infraestrutura deficitária. O presente artigo visa apresentar um estudo crítico com base numa breve revisão bibliográfica na área da modelagem urbana, de maneira a compreender os benefícios proporcionados por ela, assim como os desafios ainda enfrentados no emprego das ferramentas. Foram selecionados quatro artigos como estudo de caso, sendo dois deles na Região Metropolitana de Belo Horizonte, um no Distrito Federal e o outro no município de Sete Lagoas. Foi analisado a metodologia utilizada em cada um dos estudos, apresentando uma revisão crítica e comparativa entre elas, bem como suas inovações tecnológicas e as vantagens do seu emprego nas áreas de políticas públicas.

Palavras-chave: Modelos Urbanos, Simulação de Cenário, Desafios, Expansão Urbana.

ABSTRACT

The modeling of land use change for urban contexts has been increasingly addressed by an interdisciplinary and sophisticated approach which uses spatially explicit data both from past and present times that allow the simulation of future scenarios of land and occupation. The simulation of future urban space allows the prediction of problems concerning the advance of the urban occupation upon areas of relevant environmental preservation, or the ones with poor infrastructure. This paper aims to present a critical analysis about urban modeling based on a brief bibliographic review, and aiming to help to understand the benefits of the urban modeling as much as the challenges which are still faced in the use of this tool. Therefore, four papers were selected as case studies. Two of them were in the Metropolitan area of Belo Horizonte, the third one was in Distrito Federal, and the last was in Sete Lagoas. For each one of the case studies, the methodology was analysed in a way to critically review and compare them, considering their technology innovation, and the advantages of their use in the public politics.

Keywords: Urban Models, Simulation of Scenarios, Challenges, Urban Sprawl.

1- INTRODUÇÃO

A dinâmica acelerada do espaço urbano torna-se a principal responsável pela expansão desordenada das cidades, desencadeando impactos urbanos de grandes proporções e na maioria das vezes irreversíveis.

Após a segunda metade do século XVIII, a Revolução Industrial disseminou a industrialização e a modernização da agricultura e, com isso, provocou o crescimento de grandes centros urbanos. Nos séculos seguintes, influenciou de maneira decisiva na migração

de populações vindas do meio rural para o urbano. Na década de 70, inúmeras pessoas, em busca de melhores condições econômicas e de vida, elevaram a densidade demográfica em centros urbanos do Brasil, transformando essas regiões e adjacências em grandes metrópoles (Costa et al., 2016; Almeida, 2004). De modo geral, esse crescimento populacional acelerado não foi abarcado de forma adequada pela infraestrutura dessas regiões, que continuaram a crescer desordenadamente, colocando em risco o meio natural e antrópico (Peres e Polidori, 2009; Costa et. al., 2016). A desarticulação entre planejamento urbano e

ambiental, aumentam a possibilidade de riscos e impactos não só para as populações urbanas como também para o meio ambiente onde estas se inserem (Peres e Polidori, 2009).

Pesquisadores de diversas áreas do conhecimento, têm buscado através de tecnologias computacionais preverem as mudanças no processo de ocupação urbana. O recurso utilizado por eles é o desenvolvimento de modelos urbanos cada vez mais sofisticados, em que dados espaciais do passado e do presente permitem gerar cenários futuros de uso e ocupação do solo (White e Engelen, 1997).

Dessa forma, a simulação do espaço urbano futuro possibilita antever problemas provenientes do avanço da mancha urbana sobre áreas de relevância ambiental ou de infraestrutura deficitária.

A representação espacial de modelos urbanos passa a ser amplamente disseminada no final da década de 80, com a criação dos modelos baseados em autônomos celulares - ACs. Essa modelagem é determinada pela relação de vizinhança entre as células, pois a influência que uma célula exerce sobre a célula vizinha é o que irá condicionar o processo de transição entre elas. Em função dessa característica, o AC é um modelo de comportamento previsível.

Apesar dos avanços significativos possibilitados pelos ACs na área dos estudos urbanos, a sua aplicação na gestão pública em apoio à tomada de decisões ainda é bastante limitada em virtude do pouco conhecimento na área e da dificuldade de acesso à plataformas computacionais sofisticadas.

Nesse contexto, o presente artigo visa apresentar um estudo crítico de revisões bibliográficas na área da modelagem urbana, de maneira a compreender os benefícios proporcionados por ela, assim como os desafios ainda enfrentados no emprego da ferramenta. Foram selecionados quatro artigos como estudo de caso, sendo dois deles na Região Metropolitana de Belo Horizonte, um no Distrito Federal e o outro no município de Sete Lagoas.

O objetivo principal desse trabalho é, analisar a metodologia utilizada em cada um dos estudos, apresentando uma revisão crítica e comparativa entre elas, bem como suas inovações tecnológicas e as vantagens do seu emprego nas áreas de políticas públicas.

2- APLICAÇÃO DA MODELAGEM URBANA

Os modelos são uma simplificação da realidade. Sendo assim, os modelos urbanos podem ser definidos como a reprodução de uma cidade ou de uma paisagem artificial, com suas complexidades urbanas-ecológicas (Alberti, 1999).

A compreensão da dinâmica do espaço urbano a ser modelado é fundamental para garantir a

autenticidade na representação do modelo, incorporando na análise aspectos não apenas urbanos, mas também ambientais (Santos, 2004).

A modelagem baseada em autônomos celulares é a mais indicada para a construção de modelos urbanos, já que o espaço urbano pode ser associado à estrutura dos ACs em virtude da semelhança existente entre as unidades espaciais de uma rede urbana e a composição celular do modelo, além da relação de atratividade que os ambientes urbanos exercem uns sobre os outros (Portugali, 2000). A previsibilidade da dinâmica urbana é o que permite antever a forma de ocupação da cidade e os possíveis impactos decorrentes da expansão desordenada.

Atualmente, têm sido desenvolvido estudos na Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH que apontando uma tendência mais significativa de mudança da cobertura do solo urbano em municípios periféricos a capital mineira.

Sampaio et al. (2014), desenvolveram um trabalho sobre a dinâmica da expansão urbana na RMBH com destaque ao Vetor Norte, incorporando na análise novas infraestruturas a serem implantadas até o ano de 2031. Segundo os autores, o crescimento expressivo do Vetor Norte é consequência das obras significativas de infraestrutura e empreendimentos públicos e privados previstos ou já implantados na região.

A alta valorização de terras em Belo Horizonte também foi apontada como um dos critérios decisivos na expansão da mancha urbana para fora dos limites da capital.

O estudo em questão também considerou outras variáveis como estimuladoras à expansão urbana na RMBH, sendo elas, infraestrutura existente e prevista; macrozoneamento favorável à ocupação; as áreas situadas em zonas de aquecimento econômico e as áreas sem impedimentos físicos ambientais para ocupação urbana (Sampaio et al., 2014).

Já as variáveis restritivas consideradas no artigo foram unidades de conservação e áreas com restrições ambientais à ocupação, como por exemplo, faixas *non aedificandi* de córregos ou espelhos d'água, nascentes, entre outras.

A metodologia desenvolvida nesse trabalho se deu através de 5 etapas, sendo a primeira composta pela seleção das variáveis explicativas. Foram comparados dois mapas de cobertura do solo da RMBH com datas distintas, elaborados a partir de Imagens LANDSAT, e detectado quais foram de fato os critérios que interferiram na mudança de uso do solo.

A partir dessa seleção, foi possível construir um submodelo de potencial de transição com base em redes neurais, consistindo na segunda etapa do modelo. Já a terceira etapa, compreendeu a alocação das

probabilidades de mudança de uso do solo através do método de construção das Cadeias de Markov.

Para validar o modelo, o resultado projetado da expansão urbana para RMBH no ano de 2011 obtido a partir dos dois mapas de entrada, foi comparado à expansão urbana observada de fato neste mesmo ano, sendo possível detectar nesta etapa, o potencial de ajuste do modelo. E por fim, após a validação, foram gerados cenários de 10 em 10 anos até 2031, elaborados a partir de integração das taxas de transição e dos mapas potenciais de transição gerados (Sampaio et al., 2014).

O trabalho desenvolvido por Umbelino et al. (2014), também consistiu na utilização de modelo baseado em ACs para a simulação da expansão urbana na RMBH. As variáveis consideradas na modelagem e a metodologia empregada foram basicamente as mesmas do estudo anterior, com a diferença que neste, a dinâmica de mudança da cobertura do solo da RMBH foi analisada de maneira mais abrangente, não sendo dado enfoque ao Vetor Norte.

Na etapa de construção do Submodelo de Potencial de Transição, ambos estudos utilizaram de um recurso interessante da modelagem urbana que foi a inserção de obras ou empreendimentos previstos na RMBH mas ainda não implementados, considerando as respectivas datas em que passarão a exercer influência no processo de expansão urbana. Para Sampaio et al. (2014), “tal função permite enriquecer o modelo, ao considerar uma intervenção ainda inexistente, que porém foi proposta ou aprovada em caráter oficial, com previsão de ser iniciada e concluída dentro do intervalo de tempo para o qual o modelo de predição foi proposto.”

Nesse contexto, Anjos (1993) desenvolveu um trabalho de mapeamento da expansão urbana no Distrito Federal através de ferramentas da modelagem. Assim como nos estudos mencionados anteriormente, o autor aponta a valorização imobiliária em Brasília, como um dos principais fatores responsáveis pela dinâmica espalhada da mancha urbana no Distrito Federal, desencadeando o crescimento das cidades satélites.

Porém, diferente dos estudos elaborados para RMBH, em que foi possível prever a dinâmica de ocupação do solo a partir da simulação de cenários futuros, Anjos (1993) apresenta um Modelo *ex-post*, em que a análise do processo de ocupação é realizada após a mudança de uso da cobertura do solo no Distrito Federal.

O monitoramento da expansão urbana foi realizado a partir da coleta de dados por sensoriamento remoto, através de documentos cartográficos e imagens de satélite dos períodos de 1966, 1977 e 1990.

A primeira etapa do estudo, consistiu na identificação das áreas em que ocorreram alterações no processo de crescimento urbano através da

superposição das camadas de informações espaciais usando mapas temáticos convencionais (Anjos, 1993).

Em segundo momento, foi detectado o sentido da expansão urbana e mensurado os vetores responsáveis por sua determinação. Além disso, foi possível identificar em uma próxima etapa, quais foram os agentes capazes de interferir no processo de crescimento do Distrito Federal.

O estudo reconheceu 5 Agentes Estruturais Intervenientes - AEI para região, sendo eles, órgãos centralizadores do planejamento territorial (SOSP e SDU); órgão responsável pela venda e repasses de terrenos no Distrito Federal (TERRACAP); órgão competente pela administração do espaço rural produtivo (FZDF); órgão responsável pela política ambiental (SEMATEC) e o quinto agente foi considerado como sendo as empresas imobiliárias e empreendedores privados do Distrito Federal (Anjos, 1993).

Após a identificação desses agentes, foi observada a dinâmica que eles exerciam sobre a mudança no uso da cobertura do solo e por fim, compreendeu-se a trama da dinâmica espacial urbana do Distrito Federal para a década de 90 (Anjos, 1993).

Anjos (1993) chama atenção para um aspecto fundamental na modelagem urbana que é considerar a possibilidade de alteração no jogo de influências sobre a dinâmica da cidade, após mudanças no setor executivo, mesmo que sejam mantidos os Agentes Estruturais Intervenientes. Tais aspectos políticos não foram incorporados nos estudos mencionados para RMBH, nem mesmo a atuação dos órgãos públicos foi considerada na produção dos modelos.

Outro estudo de caso analisado neste artigo foi desenvolvido por Landau et al. (2011) para o município de Sete Lagoas, localizado a 70 km de Belo Horizonte. Foi realizado o mapeamento da expansão urbana do município entre os anos de 1949 a 2010 e detectou-se que o crescimento da sua mancha urbana foi de 2,44% ao ano, superior até mesmo ao da capital mineira que foi de 2,09% ao ano.

A metodologia empregada por Landau et al. (2011) foi uma análise espaço-temporal da expansão da cidade através da comparação entre as áreas urbanas ocupadas nos anos de 1949, 1965, 1972, 1989, 2000 e 2010. O contorno da cidade e das lagoas situadas dentro da área urbanizada foram vetorizados para cada época a partir da interpretação visual de imagens georreferenciadas.

A avaliação da expansão urbana do município foi feita através da variação da área das manchas urbanas vetorizadas. O resultado dessa variação foi comparado com o crescimento populacional urbano definido pelo censo do IBGE e representado através de um gráfico.

Os autores concluíram que tanto o crescimento populacional quanto a área urbana do município tiveram aumento expressivo a partir da década de 60. Além disso, percebeu-se que processo de expansão urbana de Sete Lagoas esteve diretamente vinculado ao contexto histórico de ocupação do município, considerando a localização e o ano de implantação de obras infraestrutura significativas para cidade, bem como a instalação dos grandes empreendimentos.

A barreira provocada pela Serra de Santa Helena à oeste do município e usos determinados a terrenos na extensão leste de Sete Lagoas, para áreas destinadas a pesquisas agrícolas, foram consideradas variáveis restritivas a expansão urbana, sendo também responsáveis pela conformação da dinâmica de mudança da cobertura do solo.

Através das observações levantadas no estudo, os autores puderam supor o comportamento do crescimento da mancha urbana de Sete Lagoas nos próximos anos.

3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho fez uma revisão crítica de um número reduzido de trabalhos e por tanto a sua generalização é limitada.

Nos estudos de caso que este trabalho revisou, a metodologia e as variáveis empregadas nos artigos referentes a expansão urbana na RMBH foram muito semelhantes. O que diferenciou o resultado alcançado foi a escala de mapeamento estabelecida.

Sampaio et al. (2014) contemplaram especificamente a modelagem da expansão urbana no Vetor Norte da RMBH, enquanto Umbelino et al. (2014), estenderam a análise a todo o território da RMBH.

Assim, nos dois trabalhos percebeu-se que até o ano de 2030, os municípios que são periféricos a capital irão sofrer maiores mudanças de uso do solo. Já os municípios de pequeno porte que são distantes de Belo Horizonte continuarão com baixíssimo percentual de sua ocupação urbana em relação à área total (Umbelino et al., 2014).

A divergência no resultado dos trabalhos foi na identificação de quais seriam os municípios com maior potencial de mudança na cobertura do solo, sabendo-se que essa diferença se deve em virtude da escala de mapeamento dos trabalhos.

Sampaio et al. (2014), apresentaram a simulação através de três diferentes cenários de expansão urbana no Vetor Norte. O cenário 1 incorporou a tendência de urbanização preditiva para 2031, considerando, a influência das variáveis explicativas selecionadas. Já o cenário 2 considerou a influência das variáveis explicativas selecionadas e as

obras viárias propostas no Vetor Norte. No cenário 3, foram inseridas no modelo as variáveis explicativas, as variáveis restritivas.

A comparação entre os três cenários resultantes, possibilitou comprovar o nível de influência que as variáveis estimuladoras e restritivas exercem sobre o modelo de expansão urbana. A inserção desse recurso no estudo elevou a qualidade da modelagem (Sampaio et al., 2014).

A metodologia trabalhada nos dois artigos foi bastante eficiente na criação de modelos urbanos, e pode ser considerada uma ferramenta robusta ao planejamento urbano e ambiental de um município. Para se alcançar um resultado mais seguro na simulação dos cenários, os autores poderiam ter considerado quais os aspectos políticos que interferem na RMBH.

Já Anjos (1993) contemplou no seu trabalho a identificação desses agentes políticos e públicos que exercem influência sobre a expansão urbana. Contudo, a metodologia explorada por ele para o mapeamento da mancha urbana do Distrito Federal não foi tão avançada quanto aos trabalhos desenvolvidos para RMBH em função até mesmo da data de publicação do trabalho.

Landau et al. (2011) fizeram uma comparação interessante entre histórico de ocupação de Sete Lagoas e sua expansão urbana. A discussão apresentada foi importante para comprovar a influência que as obras de infraestrutura e grandes empreendimentos exercem como variáveis estimuladoras ao crescimento urbano. Apesar dessa abordagem ter sido defendida nos outros três estudos, os aspectos históricos de ocupação dos municípios relacionados, não foram apresentados.

Diferente dos outros trabalhos revisados, o objetivo principal de Landau et al. (2011) foi o de representar a expansão urbana em Sete Lagoas entre os anos de 1949 a 2010. Com base na observação do comportamento da mancha urbana ao longo dos anos, os autores puderam supor a dinâmica de ocupação do território. Um recurso interessante para comprovar se essa ocupação de fato irá seguir a previsão dos autores, seria através do emprego da modelagem para criação de cenários futuros no município.

4- CONCLUSÕES

O crescimento acelerado das cidades sem planejamento prévio é responsável pela ocupação desordenada do território, além de gerar impactos urbanos e ambientais significativos.

Pesquisadores de diversas áreas têm exercido um papel importante na criação de tecnologias avançadas para o estudo da modelagem urbana. Através de ferramentas do geoprocessamento e da elaboração de modelos de simulação da dinâmica

urbana, tem sido possível produzir eficientes estudos que possam auxiliar na tomada de decisões.

Conclui-se que o contexto atual apresentado, trata-se de uma oportunidade de envolvimento contínuo da pesquisa científica no ramo da modelagem, produzindo uma ferramenta eficaz para subsidiar a implementação de políticas públicas.

A inserção e manutenção desse instrumento como item imprescindível no apoio à tomada de decisões junto aos órgãos oficiais de planejamento poderá contribuir tanto para a adequação de usos desordenados do solo ocorridos no passado e mantidos nos dias atuais e principalmente, quanto para o entendimento, minimização e solução de problemas relacionados ao uso e ocupação do solo que são preditos na modelagem, através da produção de cenários futuros (Umbelino et al., 2014).

A modelagem da expansão urbana cumpre papel norteador em todas as esferas da sociedade. Ela poderá auxiliar para que investimentos direcionados a área de infraestrutura e equipamentos sociais sejam melhor distribuídos e aplicados pelo poder público. Já no setor privado, esses mesmos resultados poderão fornecer informações para que determinados serviços sejam prestados conforme tipo de demanda de cada localidade como por exemplo, telefonia, provedores de internet, etc. A sociedade civil organizada também poderá utilizar de tais dados para fundamentar suas contestações e/ou torná-las mais consistentes, considerando que os prognósticos de expansão urbana contem informações autênticas sobre determinada localidade (Almeida, 2004).

Dessa forma, a modelagem de sistemas ambientais com enfoque na dinâmica urbana é um recurso bastante eficiente para análise das alterações, potencialidades e fragilidades de uso e ocupação do solo. Infere-se que é uma significativa ferramenta que deve ser incorporada em processos de planejamento, principalmente relacionados a avaliação futura de uso dessas localidades. Áreas urbanas são espaços com grande potencial de ocupação e, portanto, sensíveis a determinados usos, que podem interferir em toda a paisagem e, portanto, devem ser cuidadosamente observados.

A disseminação da ferramenta na gestão pública ainda é um grande desafio, sendo importante tornar as tecnologias da modelagem urbana mais acessíveis e didáticas. A parceria entre universidades e órgãos públicos poderia ser uma estratégia eficiente para difundir modelos urbanos mais sofisticados às políticas públicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alberti, M., 1999. Modeling the urban ecosystem: a conceptual framework. In: Environment and Planning

B – Planning and Design v. 26. London: Pion. p. 605-630.

Almeida, C. M., 2003. Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudança de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP). (INPE-10567-TDI/942/A). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 351 páginas.

Anjos, R.S.A, 1993. Modelagem da dinâmica espacial urbana no Distrito Federal do Brasil utilizando produtos de sensoriamento remoto e recursos do geoprocessamento, em Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Vol. I, Curitiba - PR, Brasil, pp. 7-15.

Costa, E. L.; Souza, I. N. P.; Oliveira, K. K. R.; Herculano, R. N.; Soares Filho, B, 2016. Modelagem espacial da expansão da mancha urbana de Mateus Leme/MG. Geografias. Edição Especial 2º/2016 - II Simpósio Modelagem de Sistemas Ambientais e Gestão da Paisagem: Desafios e aplicações, pp. 99-106.

Landau, E. C., Oliveira, R. P. C., Santos, M. A. e Guimarães, D. P., 2011. Expansão urbana da cidade de Sete Lagoas/MG entre 1949 e 2010. em Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Vol. XV, Curitiba - PR, Brasil, pp. 4011-4016.

Peres, O. M.; Polidori, M. C., 2009. Modelos Urbanos baseados em Autômatos Celulares: integrando ambiente natural e o crescimento urbano. Laboratório de Urbanismo - Universidade Federal de Pelotas (UFPel), pp. 1309-1318.

Portugali, J., 2000. Self-organization and the city. Berlin: Springer. 352 p.

Sampaio, D. M.; Elmiro, M. T.; Nobrega, R. A. A, 2014. Modelagem da dinâmica da expansão urbana no Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte e análises sobre as novas infraestruturas viárias previstas até 2031. Geografias, Vol. 10, Nº 2, pp. 78-99.

Santos, R. F., 2004. Planejamento Ambiental: teoria e prática. Oficina de Textos, São Paulo, 184 páginas.

Umbelino, G., Barbieri, A., Davis. C., 2014. Autômatos celulares aplicados à simulação da expansão urbana na RMBH entre 2010 e 2030. XIX Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, São Pedro/SP – Brasil, 19 p.

White, R., Engelen, G., 1997. Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modeling. Environment and Planning B: Planning and Design, v.24, n.2, pp. 235-246.