

AUTÔMATO CELULAR APLICADO NA ANÁLISE DA DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO NO ENTORNO DO CENTRO EDUCACIONAL UNIFICADO CAMPO LIMPO, SÃO PAULO - BRASIL

Pedro Bueno Rocha Campos¹, Alfredo Pereira de Queiroz², Cláudia Maria de Almeida³

¹Universidade de São Paulo, Av. Prof. Lineu Prestes, 338 - 05508-000, São Paulo, Brasil, pbrcampos@usp.br; ²Universidade de São Paulo, Av. Prof. Lineu Prestes, 338 - 05508-000, São Paulo, Brasil, aqueiroz@usp.br; ³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758 - 12227-010, São José dos Campos, Brasil, claudia.almeida@inpe.br

1. INTRODUÇÃO

RESUMO

Este artigo analisa a influência de uma infraestrutura educacional no processo de urbanização e destaca a evolução dos assentamentos urbanos precários (AUPs). O centro educacional unificado (CEU) Campo Limpo, construído em 2004, localiza-se na zona noroeste do município de São Paulo (Brasil). Variáveis explicativas foram integradas em um modelo baseado em autômato celular para simular as transições do uso e ocupação do solo. A simulação foi dividida em dois períodos (antes e após a construção da unidade) e comparada com os mapas de uso, elaborados com base na interpretação visual de imagens. Constatou-se que, após a construção do CEU-Campo Limpo, houve uma concentração de mais de 80% das transições para assentamentos urbanos precários nas bordas (faixas entre 1.500 e 2.000 m). Observou-se também o crescimento das remoções do mesmo tipo de uso nas faixas de distância entre 500 e 1.500 m (100% das manchas) e a expansão do uso urbano formal nas mesmas faixas de distância onde ocorreram as remoções.

Palavras-chave — infraestrutura educacional, autômato celular, transição do uso e ocupação do solo.

ABSTRACT

This paper deals with the role of educational infrastructure as drivers of urbanization, and more specifically, of illegal urban settlements. It is based on the analysis of the CEU-Campo Limpo (a unified educational center) located in Sao Paulo city (Brazil). Explaining variables are integrated into a land use change model based on the cellular automata paradigm. Simulation is divided into two periods (before and after the CEU construction) and compared to observed land use changes. The analysis of land use maps, transition maps and growth rates demonstrates the influence of the CEU-Campo Limpo on both formal and informal settlements, that tend to concentrate in the vicinities of this educational infrastructure.

Key words — educational infrastructure, cellular automata, land use change.

A representação dos processos urbanos dinâmicos é fundamental quando se considera a tendência de concentração da população mundial em áreas urbanas do globo. Até 2050, mais de 66% da população deverá residir em alguma cidade no mundo [1].

No Brasil, de acordo com [2], mesmo após as consecutivas políticas públicas habitacionais implantadas na redemocratização do país, a partir da década de 1990, parte da população brasileira ocupa os assentamentos urbanos precários. São ocupações com grande aglomeração de pessoas que dividem o mesmo teto, sem garantia de salubridade ou posse da terra, acesso a equipamentos ou serviços públicos [3].

Como a dinâmica urbana não é um processo contínuo e regular, a sua representação e análise não são tarefas triviais. Além disso, os fatores que determinam essa constante variação são tão complexos quanto o fenômeno que produzem [4]. No entanto, as relações que dão origem às cidades podem ser materializadas no espaço e se modificam com o tempo.

Os modelos de representação da dinâmica urbana oferecem a possibilidade de observação de padrões espaciais em uma dimensão temporal explícita [5]. Os autômatos celulares são modelos de interação, no tempo e no espaço, entre os eventos ou estruturas locais que expressam, indiretamente, o comportamento global [6]. Os modelos baseados em autômatos celulares são capazes de retratar com simplicidade e robustez a dinâmica urbana [5-7-8].

Nos resultados contínuos, procedentes dos modelos dinâmicos, as variações sistêmicas podem ser observadas e analisadas com maior facilidade. Conforme [9], existem rupturas nas tendências dos modelos que podem ser associadas às intervenções pontuais no espaço ou tempo.

Os centros educacionais unificados, implantados na periferia de São Paulo, como equipamentos públicos de serviços de educação, cultura e esporte, com o objetivo de proporcionar o desenvolvimento das comunidades do entorno, foram considerados interferências pontuais na organização do espaço urbano [10].

Este artigo utiliza os autômatos celulares para analisar a dinâmica das transições dos usos e ocupação do solo, decorrentes da construção do centro educacional unificado de Campo Limpo, em 2004, ressalta as possibilidades de

efeitos contraditórios na diferenciação do espaço urbano, entre os anos de 2000 e 2010, do distrito de Campo Limpo, região noroeste no município, caracterizado pela intensa ocupação de assentamentos urbanos precários (AUPs).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A simulação foi dividida em dois períodos, antes e depois da construção do CEU (1º período de 2000 a 2004; 2º período de 2004 a 2010). Para cada período, foram simulados intervalos contínuos de tempo. As principais etapas do processo foram: [11]: 1) preparação dos dados [12-13], 2) parametrização [14-15-16-17], 3) calibração [18-19], 4) simulação [5-20-9] e 5) validação [21].

Inicialmente, foi realizada uma classificação por fotointerpretação do uso e ocupação do solo para os limites espaço-temporais estabelecidos. Foi utilizado um raio de 2.000 m para classificação [22]. A metodologia de classificação foi baseada na análise multiescalar de ambientes da grande complexidade de gênese e heterogeneidade de usos [9]. As variáveis explicativas foram selecionadas de acordo com a disponibilidade, escala, ou a partir da relação estabelecida na definição das transições no uso e ocupação do solo, como sugerido por [5-15-23].

A técnica de parametrização escolhida é probabilística e estacionária. Foi utilizada a técnica denominada de pesos de evidência, derivada da função logarítmica aplicada ao Teorema de Bayes, para determinação dos locais com maior probabilidade de transição no uso do solo, com base nas variáveis explicativas [14]. As taxas de quantidade de mudança para cada intervalo contínuo foram determinadas pelas matrizes de transição, que têm origem na teoria das cadeias de Markov [24-15-16-17-25].

A simulação, através da plataforma Dinamica EGO [12], estabeleceu os processos de formação das manchas correspondentes a cada uso, com origem nas transições possíveis entre os períodos de análise [5-15-20]. A validação utilizou uma adaptação do índice de similaridade proposto por [21]. Os valores dos índices indicam que existe uma similaridade na janela analisada que varia entre 0 e 1 (quanto mais próximo de 1, maior a similaridade). Também foi utilizada a análise da morfologia obtida na simulação do uso e ocupação do solo.

3. RESULTADOS

A matriz de transição do primeiro período (2000–2004) apresentou 4 possibilidades de transição. A matriz do segundo período (2004–2010) contabilizou 5 possibilidades de transição, além da área ocupada pela construção de outra unidade CEU, em 2008, no raio abrangência do CEU-Campo Limpo. A Tabela 1 resume as principais transições e as taxas anuais em hectares para os dois períodos.

De	A.U.P	Para			
		Residencial Formal		A.U.P	
		2004	2010	2004	2010
	Áreas Urbanas Vagas	1,63	1,41	0,25	2,53

*A.U.P - Assentamentos Urbanos Precários (AUPs).

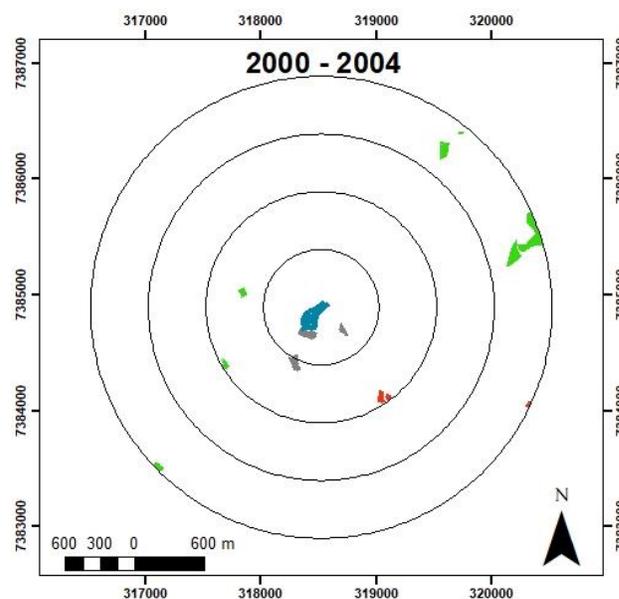
Tabela 1. Principais taxas anuais de transição em hectares.

A simulação foi validada pelo índice de similaridade, considerando uma janela de 5x5 pixels. Foram utilizados os mapas finais de cada período e comparados com os elaborados por fotointerpretação. A Tabela 2 apresenta os resultados de similaridade máxima e mínima dos dois períodos.

Ano	Mínimo	Máximo
2004	0,839	0,857
2010	0,759	0,769

Tabela 2. Validação por índices de similaridade.

As Figuras 1 e 2 apresentam os mapas de transições que ocorreram no primeiro e segundo períodos. As isolinhas dos mapas representam faixas de distância de 500 m em relação à unidade CEU-Campo Limpo.



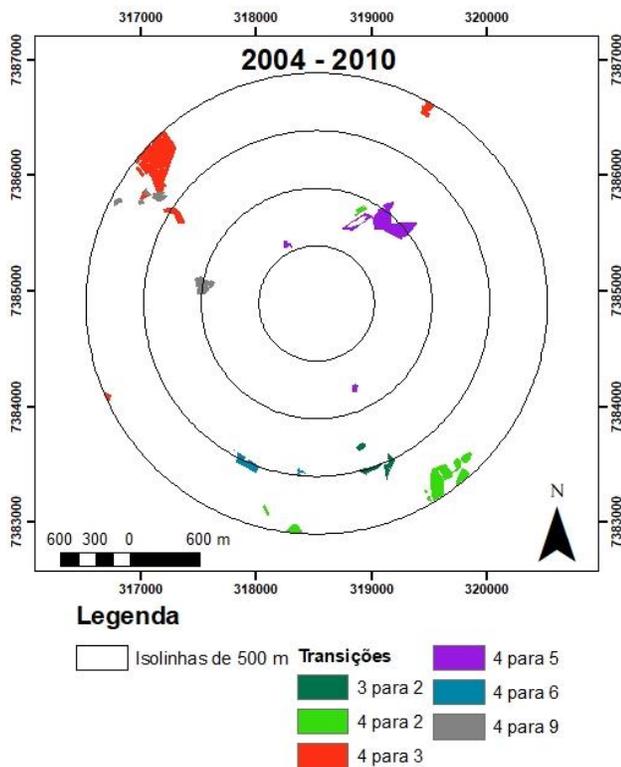
Legenda

Isolinhas de 500 m	Transições	4 para 5
3 para 2	4 para 6	4 para 9
4 para 2	4 para 3	

2 – Residencial Formal; 3 – Assentamento Urbano Precário; 4 – Áreas Urbanas Vagas; 5 – Institucional; 6 – CEU-Campo Limpo; 9 – Comércio e Serviços.

Figura 1. Mapa das transições do primeiro período.

Quando se compara as Figuras 1 e 2, nota-se que o segundo período mostra maior dinâmica de transições de uso, bem como uma setorização das novas ocupações dos usos assentamentos urbanos precários e residencial formal. As transições do primeiro período são mais dispersas, mas após a construção do CEU-Campo Limpo, as transições seguem um novo padrão espacial.



2 – Residencial Formal; 3 – Assentamento Urbano Precário; 4 – Áreas Urbanas Vagas; 5 – Institucional; 6 – CEU-Campo Limpo; 9 – Comércio e Serviços.

Figura 2. Mapa das transições do segundo período.

As manchas de transição do uso solo foram contabilizadas e indexadas por tamanho, período e faixa de distância. Assim, foi possível analisar a variação do padrão espacial de expansão para cada transição.

Após a construção da unidade Campo Limpo, foi constatada uma concentração de mais de 80% das transições para assentamentos urbanos precários nas bordas (faixas entre 1.500 e 2.000 m), crescimento das remoções do mesmo tipo de uso nas faixas de distância entre 500 e 1.500 m (100% das manchas) e expansão do uso urbano formal nas mesmas faixas de distância onde ocorreram as remoções.

Antes da implantação do CEU, as transições analisadas seguiam outro padrão de ocupação. Todas as transições para assentamentos urbanos precários ocorreram na faixa de distância entre 500 e 1.000 m. Não foi registrada nenhuma remoção no primeiro período, e a expansão do uso urbano formal se concentrava na faixa de distância entre 1.500 e 2.000 m.

4. DISCUSSÃO

Os resultados ajudam a compreender a diferenciação da organização espacial do entorno dos centros educacionais estudados quanto à expansão horizontal formal e informal. As manchas de áreas residenciais formais têm maior permeabilidade entre todas as faixas de distância, ou seja, não se concentram como os assentamentos urbanos precários. Este fenômeno é corroborado pela afirmação de que a prioridade de escolha para mudar o local de residência está diretamente associada à renda [26-27]. Assim, é plausível notar esta diferença nos padrões espaciais das classes de uso residencial formal e dos assentamentos urbanos precários.

Outra constatação é a semelhança dos padrões espaciais de novas manchas de residências formais e as faixas de distância de remoção ou urbanização de assentamentos urbanos precários. Esse fato pode ser relacionado às teorias de valorização do preço da terra, que induzem a novas possibilidades de ocupação. A oferta de serviços e infraestruturas aumentaria não só o preço da terra, mas também o custo de vida [28]. Portanto, novas fronteiras urbanas são abertas por assentamentos urbanos precários, iniciando um novo ciclo de expansão urbana [29].

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados neste trabalho, é possível afirmar que as comparações dos períodos de análise, antes e após a construção do centro educacional unificado Campo Limpo, apresentaram variações sistemáticas na tendência de variação nos parâmetros globais (matriz de transição) e nos parâmetros locais (pesos de evidência). A aplicação dos parâmetros na simulação resultou em manchas que variaram sistematicamente no tempo e no espaço. Suas principais modificações se deram em função da distância ao centro educacional unificado e dos períodos de análise.

A síntese de todas as manchas de transição do uso e ocupação solo entre os períodos de análise ressalta os diferentes padrões espaciais estabelecidos após a construção do centro educacional unificado. Do ponto de vista das relações espaciais, observa-se que as remoções e urbanizações de AUPs se concentraram no 2º período nas faixas de distância opostas às que apresentaram expansão de domicílios favelados e nas mesmas faixas de distância de expansão de áreas residenciais formais.

6. REFERÊNCIAS

- [1] United Nations, “World urbanization prospects”. Department of Economic and Social Affairs. New York, NY. 2014.
- [2] Marques, E.; Saraiva, C. “Urban integration or reconfigured inequalities? Analyzing housing precarity in São Paulo”, Brazil. *Habitat International*, v. 69, pp. 18-26, 2017.
- [3] Un-Habitat, “The challenge of slums: Global report on human settlements 2003”. London: Earthscan. pp. 310. 2003.
- [4] Couclelis, H. “Cellular worlds: a framework for modeling micro-macro dynamics”. *Environment and planning A*, v. 17, n. 5, pp. 585-596, 1985.
- [5] Almeida, C. M. et al. “Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation”. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 27, n. 5, pp. 481-509, 2003.
- [6] Batty, M. “A generic framework for computational spatial modelling”. In: Agent-based models of geographical systems. Springer, Dordrecht, pp. 19-50. 2012.
- [7] Santé, I.; et al. “Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis”. *Landscape and Urban Planning*, v. 96, n. 2, pp. 108-122, 2010.
- [8] Iltanen, S. “Cellular automata in urban spatial modelling”. In: Heppenstall, A. J. et al. (eds.). Agent-based models of geographical systems. Springer Netherlands, pp. 69-84. 2012.
- [9] Li, X.; et al. “Discovering and evaluating urban signatures for simulating compact development using cellular automata”. *Landscape and Urban Planning*, v. 86, n. 2, pp. 177-186, 2008.
- [10] Delijaicov, A.; Takiya, A.; Ariza, W. “Engenharia Construtiva e Arquitetura Social Estão Unidas nos CEUs — A Arquitetura da Construção”. *Revista Engenharia*, São Paulo: Órgão Oficial do Instituto de Engenharia, v.561, pp.36 – 59. 2004.
- [11] Campos, P. B. R.; Almeida, C. M.; Queiroz, A. P. “Educational Infrastructure and its impact on urban land use change in a peri-urban area: a cellular-automata based approach”. *Land Use Policy*. v. 79, pp. 774-788. 2018.
- [12] Kohli, D. et al. “An ontology of slums for image-based classification. Computers”, *Environment and Urban Systems*, v. 36, n. 2, pp. 154-163, 2012.
- [13] Soares-Filho, B. et al. “DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier”. *Ecological modelling*, v. 154, n. 3, pp. 217-235, 2002.
- [14] Bonham-Carter, G. F. “Geographic information systems for geoscientists-modeling with GIS”. *Computer methods in the geoscientists*, v. 13, pp. 398, 1994.
- [15] Godoy, M.; Soares-Filho, B. S. “Modelling intra-urban dynamics in the Savassi neighbourhood, Belo Horizonte city, Brazil”. In: Modelling environmental dynamics. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 319-338. 2008.
- [16] Thapa, R. B.; Murayama, Y. “Urban growth modeling of Kathmandu metropolitan region, Nepal”. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 35, n. 1, pp. 25-34, 2011.
- [17] Zheng, X.; Lv, L. “A WOE method for urban growth boundary delineation and its applications to land use planning”. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 30, n. 4, pp. 691-707, 2016.
- [18] Kawashima, R. S. et al. “Modelagem Dinâmica Espacial como Ferramenta para Simulação de Cenários da Paisagem na Região Portuária da Baixada Santista”. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 22, n. 4, 2016.
- [19] Gago-Silva, A.; Ray, N.; Lehmann, A. “Spatial Dynamic Modelling of Future Scenarios of Land Use Change in Vaud and Valais, Western Switzerland”. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 6, n. 4, pp. 115, 2017.
- [20] Soares-Filho, B. et al. “Modelling conservation in the Amazon basin”. *Nature*, v. 440, n. 7083, pp. 520, 2006.
- [21] Hagen, A. “Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps”. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 17, n. 3, pp. 235-249, 2003.
- [22] Neves, F. H. “The planning of urban community education facilities: some reflections”. *Cadernos Metrópole*, v. 17, n. 34, pp. 503-516, 2015.
- [23] Roy, D.; et al. “The Emergence of Slums: A Contemporary View on Simulation Models”. *Environmental Modelling & Software*, Amsterdam, Elsevier, v. 59, pp. 76–90. 2014.
- [24] Bell, E. J.; Hinojosa, R. C. “Markov analysis of land use change: continuous time and stationary processes”. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 11, n. 1, pp. 13-17, 1977.
- [25] Campos, P. B. R.; Queiroz, A. P. “Matriz de Transição na Detecção das Mudanças do Uso e Ocupação do Solo: Estudo de Caso do Centro Educacional Unificado da Paz–Zona Norte de São Paulo”. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 42, pp. 225-238, 2017.
- [26] Caldeira, T. P. “Enclaves fortificados: a nova segregação urbana. Novos Estudos”. CEBRAP, v. 47, pp. 155-76, 1997.
- [27] Frúgoli Jr, F. J. “Centralidade em São Paulo: Trajetórias, Conflitos e Negociações na Metrópole”. Edusp, 2006.
- [28] Ding, L.; Hwang, J.; Divringi, E. “Gentrification and residential mobility in Philadelphia”. *Reg. Sci. Urban Econ.* v.61, pp. 38-51, 2016.
- [29] Kowarick, L. “Expoliación urbana, luchas sociales y ciudadanía: retazos de nuestra historia reciente”. *Estudios sociológicos*, pp. 729-743, 1996.