

MODELAÇÃO ESPACIAL APLICADA AO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO INTELIGENTE

FARIA de DEUS¹, Raquel e TENEDÓRIO², José António

¹ Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais (CICS.NOVA), Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, (NOVA FCSH), Av. de Berna, 26 C, 1069-061 Lisboa, Portugal; r_deus@fcsh.unl.pt

² Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais (CICS.NOVA), Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, (NOVA FCSH), Av. de Berna, 26 C, 1069-061 Lisboa, Portugal; ja.tenedorio@fcsh.unl.pt

Resumo: Os avanços científicos ocorridos no campo da simulação baseada em Autómatos Celulares (AC), desde o final da década de 1990, confirmaram estes modelos como uma das abordagens de modelação geográfica mais promissoras para a interpretação e representação da complexidade espaço-temporal da transformação de uso e ocupação do solo. No entanto, em Portugal poucos avanços têm sido concretizados relativamente à prática de simulação da transformação de uso e ocupação do solo baseada em AC, nomeadamente à escala local. Além disso, a investigação que utiliza séries multitemporais muito longas relativas ao uso e ocupação do solo para avaliar e quantificar as transformações territoriais e urbanas ocorridas a uma escala fina é inexistente. Neste contexto, este trabalho apresenta uma metodologia híbrida que combina AC, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), modelos de regressão logística e análise das cadeias de Markov para a análise, modelação e simulação, com recurso a informação geográfica com resolução muito alta, da transformação de uso e ocupação do solo à escala local (município de Portimão, Portugal). As regras de transição foram definidas a partir de um modelo espacial de regressão logística, tendo sido posteriormente incorporadas num modelo convencional de AC. A dimensão e as tendências gerais da transformação de uso e ocupação do solo foram analisadas e estimadas através da aplicação das cadeias de Markov. Os principais resultados da investigação indicam que as áreas artificializadas no município de Portimão têm vindo a crescer massivamente, em particular junto dos principais aglomerados urbanos e ao longo da costa, revelando uma dispersão urbana precoce e intensiva ao longo do tempo.

Palavras-chave: Autómatos Celulares; Cadeias de Markov; Lógica Fuzzy; Regressão Logística; Transformação de uso e ocupação do solo

1. Introdução

As alterações do uso e ocupação do solo (LULC, usando aqui a sigla internacionalmente conhecida derivada de *Land Use Land Cover*) requer informação geográfica de qualidade e com resolução espacial elevada para apoiar a tomada de decisão sobre o LULC para um ordenamento do território inteligente (Magarotto, Faria-De-Deus, Ferreira Costa e Masanet, 2017; Rocha, 2019). Isto aplica-se, em particular, ao contexto geográfico das áreas costeiras as quais têm sofrido, sobretudo a partir da segunda metade do Século XX, uma dinâmica de urbanização sem precedentes. Por exemplo, a região do Algarve continua a ser uma das áreas da Península Ibérica com maiores pressões de urbanização. Em apenas cinco décadas do passado Século, entre 1950 e 2000, assistiu-se a uma “apropriação urbana” das áreas costeiras com uma rapidez e intensidade significativas (EEA, 2002), traduzidas numa ocupação irreversível do solo mesmo em áreas com fortes restrições físicas.

As metodologias baseadas na modelação de dados geográficos contribuem (sem anular a relevância de outras metodologias) para os trabalhos de medição, análise, monitorização e simulação do processo de transformação de LULC das áreas costeiras, considerando procedimentos que reduzem a realidade a dimensões estatisticamente controláveis para compreender os processos fundamentais da mudança física dos territórios. Os avanços científicos ocorridos no campo da simulação baseada em AC (Batty, 2005; Bone et al., 2011, Verburg et al., 2015; White et al., 2015), desde o final da década de 1990, confirmaram estes modelos como uma das abordagens de modelação geográfica mais robustas e promissoras para a interpretação e representação da complexidade espaço-temporal da transformação de LULC.

A investigação sobre a modelação da transformação de LULC baseada em AC tem evoluído no sentido de desenvolver novas abordagens que integram o conhecimento adquirido sobre os factores e impactos de transformação de LULC, com o objectivo de desenvolver práticas de planeamento de LULC eficientes. Este texto explora a questão da transformação de LULC em áreas costeiras, elaborando um modelo baseado em AC (que designamos de CAMLucc), testado sobre o território do município de Portimão. Para a elaboração do modelo foi desenvolvida uma metodologia híbrida que combina AC, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), lógica *fuzzy*, modelos de regressão logística e análise de Cadeias de Markov para a análise, modelação e simulação da transformação de LULC à escala local, entre 1947 e 2025, com recurso a conjuntos de dados geográficos com resolução espacial muito fina.

A novidade de CAMLucc reside na combinação de dois aspectos principais. Por um lado, são utilizadas séries multi-temporais longas (cerca de 70 anos) e uma resolução espacial fina (10m) na análise e modelação/simulação da transformação de LULC. Por outro lado, é utilizada uma categorização de LULC altamente detalhada (equivalente ao nível 5 da COS), incrementando o nosso conhecimento sobre os padrões espaciais que observamos hoje e as modificações estruturais na transformação física do território que lhe deram origem.

2. Abordagem metodológica

O modelo CAMLucc estrutura-se em quatro componentes: i) o processamento de dados em SIG, ii) a calibração, iii) a simulação e a iv) validação. Os dados espaciais foram previamente harmonizados em SIG de forma a serem incorporados na fase de calibração do modelo. O processo de calibração foi realizado a partir de regressão logística para reproduzir as determinantes espaciais que podem justificar a transformação de LULC. A simulação decorreu em duas fases: numa primeira com aplicação do modelo de Markov para estimar a quantidade de transformação entre as diferentes

categorias de LULC, para cada período temporal, e numa segunda para aplicação de AC, da qual decorreu o modelo espacial de transformação de LULC. O modelo foi validado estatisticamente.

2.1. Dados espaciais e processamento

Na fase de processamento foram considerados cinco variáveis espaciais quer na análise, quer na retro-simulação e simulação da transformação de LULC: variável de estado (uso/ocupação do solo), variável de densidade (rede viária), variável de distância (distância à linha de costa), variável topográfica (declive) e variável apurada a partir dos documentos formais de planeamento (plantas de ordenamento e condicionantes do PDM, Planos de Urbanização, projectos de loteamento e urbanização).

Foi produzida cartografia de LULC para oito momentos temporais (1947, 1958, 1968, 1972, 1987, 1995, 2000 e 2010), recorrendo à análise visual de imagem e processamento digital de fotografias aéreas pancromáticas e ortofotomapas. As fotografias aéreas “históricas” foram georreferenciadas de modo a permitir a sua posterior comparação com os ortofotomapas e dessa forma possibilitar a análise retrospectiva das dinâmicas de urbanização. Os mapas de LULC foram produzidos com uma unidade mínima de representação (UMR) de 1000m² e uma nomenclatura de LULC com 45 classes no nível mais detalhado.

2.2. Elaboração do modelo CAMLucc

Para estudar a influência das determinantes espaciais na transformação de LULC em Portimão, entre 1947 e 2025, foram considerados quatro tipos de regras de transição: regras baseadas na vizinhança, regras baseadas na distância, regras baseadas na restrição e regras que reflectem características locais. Todas as variáveis espaciais (excluindo a resultante dos documentos formais de planeamento) foram normalizadas numa escala contínua comum, entre 0 e 1, usando lógica *fuzzy*, a fim de permitir a sua comparação e combinação com recurso a regressão logística.

As regras de transição resultaram de um modelo espacial de regressão logística. Os modelos de previsão dos padrões espaciais de LULC resultantes (também conhecidos por modelos de aptidão; *regression covers* segundo Kok e Veldkamp (2001)) representam a probabilidade de uma única categoria de LULC ocorrer em cada local e foram, posteriormente, incorporados num modelo convencional de AC. A dimensão e as tendências gerais de transformação de LULC foram analisadas e estimadas através da aplicação das cadeias de Markov.

Após o cálculo dos mapas de aptidão e das matrizes de probabilidades de transição decorrentes das cadeias de Markov, o modelo CAMLucc simulou a transformação de LULC ao longo do período em estudo. Foram consideradas seis categorias de LULC (tecido urbano vertical, tecido urbano

horizontal, tecido urbano descontínuo, tecido urbano descontínuo esparso, outras áreas artificializadas, não urbano) para definir a variável de estado do modelo e uma resolução espacial de 10 metros. Foram realizadas diversas simulações durante o processo de calibração, para que apenas os melhores resultados produzidos pelo modelo fossem aplicados no processo de validação. Os resultados do processo de validação indicam que as simulações do modelo CAMLucc mostram grande consistência com os padrões espaciais dos mapas de referência de LULC. O modelo CAMLucc foi, então, utilizado para prever as transformações de LULC para 2020 e 2025 a partir de 2010.

3. Resultados e Discussão

Os resultados deste trabalho mostram que as áreas artificializadas no município de Portimão têm vindo a crescer massivamente, em particular junto dos principais aglomerados urbanos e ao longo da costa, traduzindo uma dispersão urbana precoce e intensiva ao longo do período temporal modelado (Figura 1).

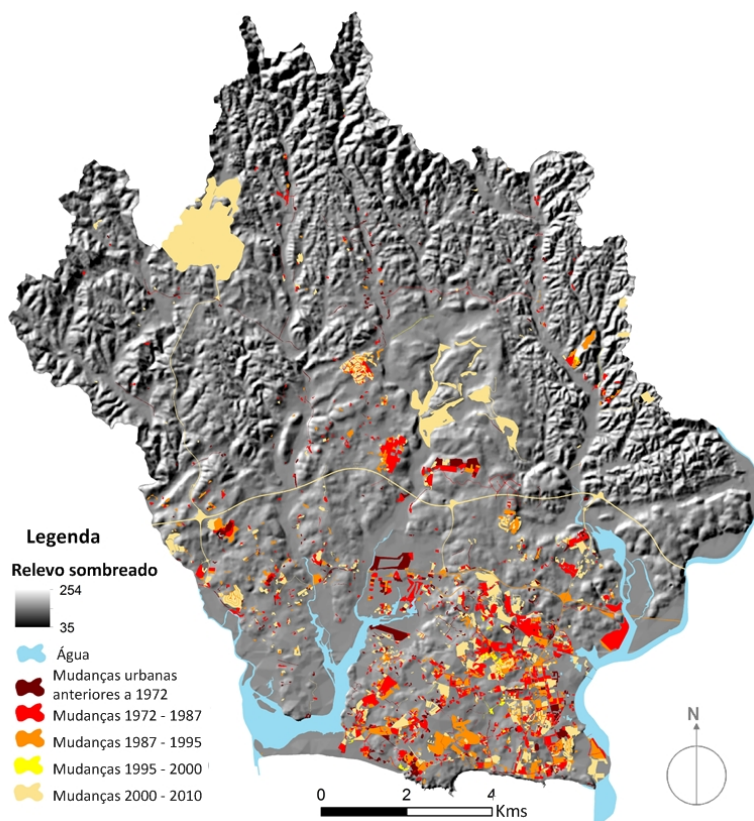


Figura 1: Mudanças de uso do solo em Portimão, entre 1947 e 2010.
Fonte: Elaboração própria.

As simulações geradas pelo CAMLucc para os anos de 2020 e 2025 revelam padrões espaciais de crescimento urbano semelhantes aos encontrados nos mapas de referência de LULC. Por um lado,

o crescimento urbano observado no município será determinado por um processo de coalescência (as fronteiras entre categorias de LULC urbano vizinhas tendem a dissolver-se). Por outro lado, os resultados apontam para um processo de dispersão urbana tendencialmente crescente, evidenciando-se o aumento gradual das categorias tecido urbano descontínuo e tecido urbano descontínuo esparso em toda a área de estudo, mas sobretudo nas áreas dependentes de rede viária estruturante.

Os resultados mostram, também, que os instrumentos de gestão territorial produziram pouco efeito sobre a transformação de LULC em Portimão. Na realidade, durante o período compreendido entre 1947 a 2010, a maioria da transformação de LULC ocorreu fora dos limites espaciais das áreas urbanas propostas parecendo dissonantes com o definido nos planos vinculativos.

4. Considerações Finais

Este trabalho resume a elaboração de um modelo baseado em AC, com uma resolução espacial fina, para analisar e modelar a transformação de LULC do município de Portimão, entre 1947 e 2010, e prever as suas tendências futuras para 2020 e 2025. Os mapas de LULC gerados pelo modelo, para os anos 2020 e 2025, podem ser utilizados como modelos de previsão das tendências de transformação de LULC a médio prazo, embora se tenha que referir que não se trata de um modelo de agentes, mas sim de um modelo de transformação física do território. A análise dos mesmos irá permitir adquirir conhecimento sobre o comportamento da transformação de LULC, bem como identificar os locais de crescimento urbano “expectável e preferencial”.

5. Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito da celebração do contrato-programa previsto nos números 4, 5 e 6 do art. 23.º do D.L. n.º 57/2016, de 29 de agosto, alterado pela Lei n.º 57/2017, de 19 de julho e através de uma bolsa individual de doutoramento (SFRH/BD/61544/2009).

6. Bibliografia

- Batty, M. (2005). *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Bone, C., Dragicevic, S. and White, R. (2011). Modeling-in-the-middle: bridging the gap between agent-based modeling and multi-objective decision-making for land use change, *International Journal of Geographical Information Science*, 25(5), 717-737.
- EEA (2002). *Towards an urbanatlas*. Copenhagen, Denmark: European Environment Agency, Report No 30, 131p.
- Kok, K., & Veldkamp, A. (2001). Evaluating Impact of Spatial Scales on Land Use Pattern Analysis in Central America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85.

Magarotto, M., Faria-De-Deus, R., Ferreira Costa, M., & Masanet, É. (2017). Green areas in coastal cities – conflict of interests or stakeholders’ perspectives? *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 12(08), 1260–1271.

Rocha, J. (2019). *Simulation and Sustainability BT - Encyclopedia of Sustainability in Higher Education* (W. Leal Filho, Ed.).

Verburg, P., Crossman, N., Ellis, E., Heinimann, A., Hostert, P., Mertz, O., Nagendra, H., Sikor, T., Erb, K., Golubiewski, N., RGräu, R., Grove, M., Konaté, S., Meyfroidt, P., Parker, D., Chowdhury, R., Shibata, H., Thomson, A. and Zhen, L. (2015). Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective. *Anthropocene*, 12, 29 – 41.

White, R., Engelen, G. and Uljee, I. (2015). *Modeling Cities and Regions as Complex Systems: From Theory to Planning Applications*. MIT Press, 344 p. ISBN: 9780262331364.