



SISTEMAS MULTIAGENTES PARA A MODELAÇÃO E SIMULAÇÃO DE ALTERAÇÕES DE OCUPAÇÃO DO SOLO

Eduardo GOMES^{1,2}, Patrícia ABRANTES¹, Arnaud BANOS², Jorge ROCHA¹ e Inês FONTES¹

¹ Centro de Estudos Geográficos (CEG), Instituto de Geografia e Ordenamento do Território (IGOT),
Universidade de Lisboa (UL)

² Géographie-cités, UMR 8504, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

RESUMO: Actualmente as áreas agrícolas no contexto das regiões metropolitanas apresentam fortes pressões urbanas. O uso do solo é transformado de acordo com diferentes decisões individuais de diferentes agentes do território. Neste estudo é feita uma abordagem das intenções dos agricultores sobre a transformação do território de acordo com diferentes cenários socioeconómicos utilizando um modelo baseado em sistema multiagentes (SMA). Este modelo visa a modelação das interações entre estes actores e o território contribuindo para o apoio à decisão e propondo alternativas nas dinâmicas de ocupação do solo em contexto metropolitano (áreas urbanas e periurbanas). Esta investigação surge da relevância actual do uso do solo agrícola no contexto do ordenamento do território e das estratégias de desenvolvimento sustentável, nomeadamente da necessidade das políticas urbanas e regionais responderem eficazmente ao papel que cada vez mais as dinâmicas de ocupação do solo assumem em contexto urbano e periurbano. O modelo tem como caso de estudo o concelho de Torres Vedras com o seguinte conjunto de fases metodológicas: 1) Classificação do uso do solo em 8 classes, correspondendo ao tempo 0 do modelo (2010); 2) entrevistas realizadas a agricultores; 3) construção do modelo em multiagentes com definição dos Agentes, Território, Regras e Funções do modelo; 4) construção de cenários.

Palavras-chave: sistemas multiagentes, modelação, simulação, ocupação do solo, cenários



1. INTRODUÇÃO

As regiões metropolitanas são marcadas por níveis consideráveis de consumo de espaço, colocando pressões sobre os solos agrícolas. Em Portugal, essas pressões ocorrem sobretudo na faixa litoral, com destaque para as áreas metropolitanas de Lisboa e do Porto. A diminuição e fragmentação de área agrícola tem impacto na produção de alimentos, na multifuncionalidade da paisagem e na protecção do solo enquanto recurso escasso, colocando desafios em termos de política para o ordenamento do território.

Em Portugal, entre 2000 e 2006, segundo os dados de uso/ocupação do solo Corine Land Cover, registou-se um aumento de 25% dos territórios artificializados muito em detrimento dos territórios agrícolas. Actualmente, na Europa, cerca de 75% da população vive em áreas urbanas que crescem sobretudo de forma dispersa. Esta dispersão e fragmentação urbanas são actualmente dois dos principais desafios que se colocam a nível Europeu em termos de ordenamento do território e sustentabilidade. Portugal segue esta mesma tendência europeia, registando-se, sobretudo nas últimas duas décadas, um processo de urbanização intenso com formas de povoamento disperso (Gaspar, 2003). A melhoria da acessibilidade rodoviária associada à utilização do automóvel (Costa e Costa, 2003) reforçou a organização deste tipo de povoamento (Marques, 2006), com destaque para as áreas do litoral, sobretudo entre as duas áreas metropolitanas e o Algarve. Nestes territórios, ocorrem níveis de pressão e conseqüente transformação de solo natural e agrícola para uso urbano (nomeadamente para usos habitacionais ou para actividade turística). Em muitos locais de crescente acessibilidade coexistem actividades agrícolas, urbanas e residenciais e espaços expectantes, contribuindo para uma ocupação dispersa e fragmentada do território (MAOTDR, 2007). É nas regiões metropolitanas que estes fenómenos atingem o seu expoente máximo.

Estas dinâmicas de urbanização resultam num crescente consumo do espaço agrícola com enorme impacto em termos de segurança e a produção de alimentos, assim como da estrutura verde urbana. Contudo, a importância dos espaços agrícolas nas áreas urbanas, periurbanas e metropolitanas ganha uma nova dimensão e a sua preservação e gestão passam a ser assumidas como orientações da política “verde” Europeia. Mas, mesmo apesar destes espaços assumirem um papel importante nas questões de desenvolvimento sustentável, estas orientações de política estão ainda parcamente salvaguardadas à escala local. Há ainda uma dificuldade em entender o conceito de agricultura (peri)urbana enquanto área “tampão” à expansão do crescimento urbano e como parte integrante da estrutura verde do sistema urbano, assim como das interacções entre actores (aqui designados de agentes) e o seu território (aqui designado de ambiente) enquanto desencadeadoras de decisões capazes de influir alterações de uso/ocupação do solo em área agrícola. Os objectivos e proposta desta investigação passam pela construção de um modelo em sistema multiagentes (SMA) para modelação das interacções entre actores e território e das decisões que daí decorrem para prever cenários de alterações de uso e ocupação do solo agrícola, propondo alternativas para a agricultura em contexto metropolitano (áreas urbanas e periurbanas).

2. MODELAÇÃO E SISTEMAS MULTIAGENTES

Nos últimos anos têm sido utilizados sistemas de modelação em SIG, ligados à inteligência artificial, muito vocacionados para a modelação dinâmica e comportamental para interpretar as alterações de uso/ocupação do solo, sendo a maior parte relativa a dinâmicas de crescimento urbano (Silva e Wu, 2014; Crooks, 2014) e suas implicações ao nível do ordenamento do território (Batty et al, 1999), assim como na predição de alterações de uso do solo (Li e Yeh, 2002). Segundo Burrough (1998) a modelação dinâmica procurou ultrapassar as limitações existentes nas tecnologias de informação geográfica que apresentavam uma perspectiva estacionária e bidimensional sobre os fenómenos. Para a modelação dinâmica espaço-temporal existe um vasto conjunto de modelos matemáticos que poderão ser utilizados, como as cadeias de Markov, os modelos logísticos de difusão, os modelos de regressão e os sistemas de multiagentes. Os 3 primeiros são mais eficientes para modelar processos estáticos. Já os modelos de multiagentes são modelos exploratórios que permitem a adaptação a diferentes cenários.

Os SMA são capazes de representar fenómenos espaço-temporais centrados na paisagem e nas suas transições. São constituídos por agentes que possuem controlo sobre as suas acções, com o intuito de alcançar os objectivos previamente definidos. Os agentes interagem de acordo com um modelo de cognição estabelecendo a ligação entre os seus objectivos autónomos e o ambiente. Os SMA envolvem recursos ao nível da



modelação computacional, permitindo uma multiplicidade de aplicações resultando na criação de diferentes cenários. Interação com os restantes agentes estabelecendo ligações ao nível da coordenação, cooperação, competição e negociação. Existe um conjunto de exemplos de modelos baseados em SMA com aplicações ligadas à temática da agricultura. São exemplo: 1) o Swidden Farming (Barton, Michael, 2014) que simula as dinâmicas da agricultura itinerante com os agentes domésticos (agricultores); 2) o MayaSim (Heckbert, Scott, 2013) que analisa a relação entre o crescimento da população, a produção agrícola, a pressão existente sobre o ecossistema e a estabilidade das redes comerciais; 3) o Regional LUCC-NL (Valbuena, Diego, 2011) que permite a realização de uma análise das mudanças na estrutura da paisagem, como resultado das decisões dos agricultores; 4) o ALUAM-AB (Briner, Simon, 2012) que visa compreender as mudanças no uso do solo agrícola, desencadeadas a partir das mudanças políticas e de mercado (indo ao encontro das preferências individuais dos agricultores); 5) ou o AgriPolis (Kellermann, K, 2008) que tenta compreender de que modo as estruturas ecológicas mudam dentro de uma região, em resposta a diferentes políticas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

O concelho de Torres Vedras (Figura 1) está localizado num contexto de área peri-urbana com uma população total de 80 000 habitantes. Ocupa uma área de 407 km², em que cerca de 70% da sua área é coberta por área agrícola. O Concelho de Torres Vedras está integrado na Região Metropolitana de Lisboa (RML) (NUT III do Oeste, Lezíria do Tejo, Grande Lisboa e Península de Setúbal). Segundo o recenseamento de 2011 a RML tem uma população de cerca de 3,4 milhões de habitantes. Nesta área podemos encontrar uma actividade agrícola ainda muito intensiva. A região da Lezíria do Tejo e do Oeste são das mais importantes do país em termos de fertilidade dos solos e de produção agrícola (Abrantes et al., 2013). As NUT III da Grande Lisboa e Península de Setúbal têm uma actividade agrícola muito intensa. Contudo é uma região que tem perdido muito espaço agrícola em detrimento de solo urbano e esta expansão urbana faz-se de forma muito dispersa e fragmentada, o que coloca desafios em termos de política de ordenamento do território.



Figura 1 – Área de estudo

3.2. O SMA AGRIMET

O SMA AgriMet visa modelar as interações entre agentes e território para prever cenários de alterações de uso/ ocupação do solo. Estas interações baseiam-se em regras e funções extraídas através de entrevistas realizadas a um conjunto de 50 agricultores. O sistema multiagentes AgriMet foi desenvolvido para o concelho de Torres Vedras tendo por base um conjunto de fases que descrevemos sucintamente:



- 1) Uso do Solo (2010) à escala 1:25 000 correspondendo ao TERRITÓRIO com as seguintes classes de uso do solo: Superfícies artificiais [A], Áreas não-irrigadas [B], Áreas permanentemente irrigadas [C], culturas permanentes [D], Pastagens [E], Áreas agrícolas heterogêneas [F], Floresta [G] e Planos de água [H]. Cada pixel é alocado a uma determinada classe de uso do solo e a uma classe de uso do PDM (RAN, Área Agrícola, Área Urbana, Área Urbanizável). O tamanho do pixel utilizado foi de 25 metros.
- 2) Entrevistas realizadas a agricultores. Estas entrevistas têm por objectivo perceber, as lógicas dos diferentes AGENTES e as suas interações com o território, e como estas levam a determinadas tomadas de decisão para o horizonte temporal de 2025. Em que foi possível identificar se o agricultor pretendia: 1) vender área agrícola; 2) expandir área agrícola (definindo as classes de uso); 3) manter área agrícola (arrendar; abandonar).
- 3) A construção do modelo de multiagentes com definição dos Agentes, Território, Regras e Funções do modelo.
- 4) A construção do sistema multiagente em ambiente NETLOGO. O NETLOGO é uma das aplicações mais utilizadas na modelação de fenómenos naturais e sociais e de sistemas complexos. Este é um software de código aberto, escrito em linguagem de programação Scala e em Java.
- 5) A construção de cenários. O Modelo AgriMet apresenta 4 cenários com o horizonte temporal de 2025: A0 – Intenções dos agricultores de transformar a sua exploração agrícola de acordo com as condições actuais; A1 – Intenções dos agricultores de transformar a sua exploração agrícola num contexto de uma procura crescente por produtos agrícolas; A2 – Intenções dos agricultores de transformar a sua exploração agrícola num contexto decréscimo de procura por produtos agrícolas; e A3 – Intenções dos agricultores de transformar a sua exploração agrícola num contexto de procura por terrenos para construção urbana.

O modelo AgriMet (Figura 2) permite simular comportamentos do agricultor relativos às suas decisões de mudança no uso do solo. Os diferentes cenários representam quatro imagens futuras do território permitindo antecipar pontos fortes e fraquezas de cada um. O modelo AgriMet é composto por um comando que permite ao utilizador importar o uso do solo (tempo 0) em formato ASCII (dados matriciais). Os cenários “A0”, “A1”, “A2” e “A3” integram as probabilidades de transições obtidos através das entrevistas aos agricultores. As informações de saída do modelo AgriMet mostram a percentagem atribuída para cada classe de uso do solo e para cada cenário.

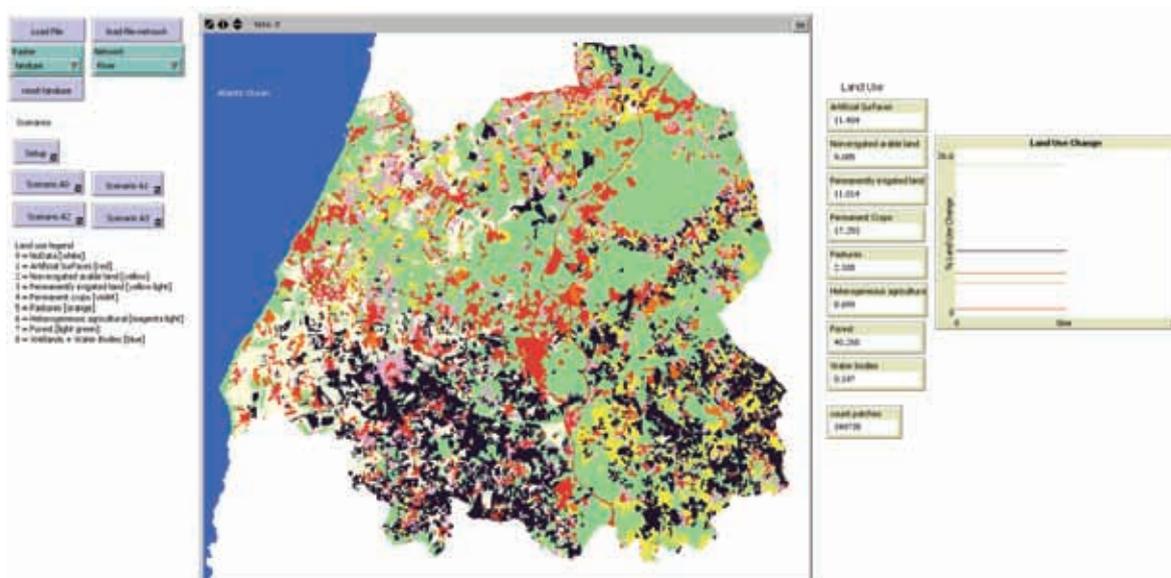


Figura 2 – Modelo AgriMet (desenvolvido no software NetLogo)



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Cenários

Os cenários têm sido utilizados para inúmeras percepções sobre futuros alternativos. Para a Agência Europeia do Ambiente os cenários são uma ferramenta de síntese capaz de traduzir um conjunto de informações complexas direccionados para os responsáveis políticos e para o público em geral. Um bom cenário deve ser sólido, com base em bons argumentos para identificar problemas potenciais. Tem de apresentar alternativas, identificando novas imagens do futuro. Um cenário não é uma previsão, não é uma imprevisibilidade do que será no futuro: O cenário coloca perguntas como: “o que pode acontecer”, “o que aconteceria se...?”

4.2. Cenários do Modelo AGRIMET

O cenário A0 indica uma estabilização na classe de superfícies artificiais. No entanto, existem ganhos na terra permanentemente irrigada (1,09%) e culturas permanentes (0,988%). Por outro lado, as perdas foram registadas nas áreas não-irrigadas (-0.323%), pastagens (-0.088%), áreas agrícolas heterogéneas (-0.423%) e floresta (-1.246%).

No cenário A1 há ganhos nas áreas permanentemente irrigadas (2.783%) e culturas permanentes (4.631%). As perdas verificam-se nas áreas não-irrigadas (-1.428%), pastagens (-0.263%), áreas agrícolas heterogéneas (-1.52%) e floresta (-4.209%). Este cenário demonstra o possível futuro impacto do aumento da produtividade agrícola.

O cenário A2 indica uma diminuição nas áreas não-irrigadas (-4,663%), da permanentemente irrigada (-3.774%), das culturas permanentes (-7.451%) e das áreas agrícolas heterogéneas (-4.376%). Por outro lado, registaram-se aumentos das pastagens (1.243%) e da floresta (19.048%). Este cenário demonstra uma diminuição global de terras aráveis, que resulta de um generalizado abandono de terras agrícolas.

O cenário A3 é o único cenário que preconiza um crescimento de superfícies artificiais (2.105%). As perdas foram registradas nas áreas não irrigadas (-0.19%), nas áreas permanentemente irrigada (-0.307%), nas culturas permanentes (-0.259%), nas pastagens (-0.051%), nas áreas agrícolas heterogéneas (-0.378%) e na floresta (-0.83%). Este cenário pressupõe um aumento nas taxas de crescimento urbano e alterações espaciais no tipo de crescimento. Este cenário também evidencia uma perda significativa de áreas/zonas protegidas.

Quadro 1- Cenário A0, A1, A2 e A3 e respectivas variações (Superfícies artificiais [A], Áreas não-irrigadas [B], Áreas permanentemente irrigadas [C], culturas permanentes [D], Pastagens [E], Áreas agrícolas heterogéneas [F], Floresta [G], Planos de água [H]).

Cenários	Usos do Solo (%)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Uso do solo 2010	11,404	9,085	11,014	17,253	2,188	8,699	40,268	0,147
A0 - 2025	11.404	8.762	12.104	18.241	2.1	8.276	39.022	0.147
A1 - 2025	11.404	7.657	13.797	21.884	1.925	7.179	36.059	0.147
A2 - 2025	11.404	4.422	7.24	9.802	3.431	4.323	59.316	0.147
A3 - 2025	13.419	8.895	10.707	16.994	2.137	8.321	39.438	0.147
Var. A0 - 2010-2025	0	-0.323	1.09	0.988	-0.088	-0.423	-1.246	0
Var. A1 - 2010-2025	0	-1.428	2.783	4.631	-0.263	-1.52	-4.209	0
Var. A2 - 2010-2025	0	-4.663	-3.774	-7.451	1.243	-4.376	19.048	0
Var. A3 - 2010-2025	2.015	-0.19	-0.307	-0.259	-0.051	-0.378	-0.83	0

Nos 4 cenários foi possível constatar os diferentes impactos ao nível das dinâmicas de transformação do uso do solo que cada cenário apresenta. Através da análise destas dinâmicas será possível identificar os factores determinantes do processo que levam à tomada de decisão do agente agricultor em cada um dos cenários.



Estes resultados permitem aos actores do planeamento, avaliar os potenciais impactos sociais e económicos que cada uma destas transformações do uso do solo pode trazer para o território, permitindo antecipar futuros potenciais ajudando no mesmo sentido a criar novas políticas de planeamento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta investigação surge da relevância actual do uso do solo agrícola no contexto do ordenamento do território e das estratégias de desenvolvimento urbano sustentável, nomeadamente da necessidade das políticas urbanas e regionais responderem eficazmente ao papel que cada vez mais a agricultura assume em contexto urbano e periurbano.

O modelo AgriMet enquanto ferramenta de apoio aos decisores políticos, evidenciando futuros desejáveis ou indesejáveis, permitirá introduzir um melhor conhecimento das políticas de planeamento ao nível local.



AGRADECIMENTOS

Este estudo foi desenvolvido no contexto de bolsa de doutoramento de Eduardo Gomes financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia com a referência SFRH/BD/103032/2014.

REFERÊNCIAS

- Abrantes, P., Marques da Costa, E., Queirós, M., Padeiro, M., Mousselin, G. (2013). Lezíria do Tejo: agriculture et étalement urbain aux marges métropolitaines de Lisbonne. *Cah Agric* 22, 526-34. doi : 10.1684/agr.2013.0669
- Batty M., Yichun X., Sun Z. (1999). The Dynamics of Urban Sprawl. *Centre for Advanced Spatial Analysis* 15, 36 p.
- Briner, Simon (2012). Alpine land-use allocation model - ALUAM-AB (Version 2).
- CoMSES Computational Model Library. [Online]. Disponível em: <http://www.openabm.org/model/2870/version/2> (Acedido em 14 de maio de 2014)
- Crooks A., Patel A., Wise S (2014) Multi-Agent Systems for Urban Planning, in N. N. Pinto, J. A. Tenedório, A. P. Antunes, and J. Roca (eds.), *Technologies for Urban and Spatial Planning: Virtual Cities and Territories*, Hershey, PA: IGI Global, pp. 29-56, 2014.
- Barton, C.M. (2014). Swidden Farming Version 2.0 (Version 3). CoMSES Computational Model Library. [Online]. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2286.0/oabm.3826> (Acedido em 28 de março de 2014)
- Burrough, P. (1998). *Dynamic Modelling and Geocomputation: A Primer*. P. Longley, M. Batty and R. McDonnel. London, John Wiley & Sons.
- Costa E., Costa N. (2003). Acessibilidades e configuração de bacias de emprego no território nacional. *Actas do X Encontro da APDR, Évora*.
- Gaspar J. (2003). Inserção da área metropolitana de Lisboa no País, na Península Ibérica e na Europa. In *Atlas da Área Metropolitana de Lisboa*. (pp. 31-43) Área Metropolitana de Lisboa.
- Heckbert, S. (2013). MayaSim: An agent-based model of the ancient Maya social-ecological system. (Version 4). CoMSES Computational Model Library. [Online]. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2286.0/oabm:3063> (Acedido em 12 de maio de 2014).
- Li X., Yeh A. (2002). Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *International Journal of Geographical Information Science* 16(4), 323-343.
- Kellermann, K, Happe, K, Sahrbacher, C., Balmann, A., Brady, M., Schnicke, H., Osuch, A. (2008). AgriPolis 2.1 - Model documentation. Technical Report Halle (Saale): IAMO: http://www.agripolis.de/documentation/agripolis_v2-1.pdf
- MAOTDR – MINISTÉRIO DO AMBIENTE, DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (2007). Programa nacional da política de ordenamento do território. Lisboa.
- Marques T. (2006). Portugal Urbano: Mosaicos, Polaridades, Relacionamentos e Governança. In *Cidade e Democracia: 30 Anos de Transformação Urbana em Portugal*. (pp. 80-91). Argumentum.
- Pinto N., Tenedório J., Antunes A., Cladera J. (2014) *Technologies for Urban and Spatial Planning: Virtual Cities and Territories*. Vol 1, 349p. IGI Global.
- Silva E., Wu N. (2014) DG-ABC: An Integrated Multi-Agent and Cellular Automata Urban Growth Model, in N. N. Pinto, J. A. Tenedório, A. P. Antunes, and J. Roca (eds.), *Technologies for Urban and Spatial Planning: Virtual Cities and Territories*, Hershey, PA: IGI Global, pp. 57-92, 2014.
- Valbuena, D. (2011). An empirical ABM for regional land use/cover change: a Dutch case study (Version 1). CoMSES Computational Model Library. [Online]. Disponível em: <http://www.openabm.org/model/2461/version/1> (Acedido em 14 de maio de 2014)

CONTACTOS

Eduardo GOMES: eduardojonas@campus.ul.pt
Patrícia ABRANTES: patricia.abrantes@campus.ul.pt
Arnaud BANOS arnaud.banos@parisgeo.cnrs.fr
Jorge ROCHA: jorge.rocha@campus.ul.pt
Inês FONTES: inescsfontes@campus.ul.pt