

## **Sistemas multi-agentes para a modelação do uso/ocupação do solo em áreas urbano-agrícolas: abordagem conceptual**

Eduardo Jonas Gomes<sup>(a)</sup>, Patrícia Abrantes<sup>(b)</sup>, Inês Sampaio Fontes<sup>(c)</sup>, Jorge Rocha<sup>(d)</sup>, Inês Boavida-Portugal<sup>(e)</sup>

<sup>(a, b, c, d, e)</sup> Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, eduardojonas@gmail.com

### **Resumo**

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. Do ponto de vista do apoio à decisão em ordenamento do território torna-se imprescindível compreender os processos inerentes à transformação das áreas agrícolas. Ora, esses processos são desenvolvidos essencialmente por agentes que actuam no território (agricultores, proprietários de terrenos, promotores imobiliários, decisores políticos). Neste estudo propomos a construção de um modelo conceptual em sistema multiagentes (SMA) para modelação das interações entre actores e território e das decisões que daí decorrem para prever cenários de alterações de uso e ocupação do solo agrícola.

**Palavras chave:** agricultura, modelação, região metropolitana de Lisboa, alteração de uso do solo, ordenamento do território

### **1. Introdução**

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 de litoral, sobretudo entre as duas áreas metropolitanas e no 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 interações 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 conceptual em sistema multiagentes (SMA) para modelação das interações entre actores e território e das decisões que daí decorrem para prever cenários de alterações de uso e ocupação do solo agrícola. Através do sistema multiagentes AgriMet (SMA AgriMet) visa-se contribuir para o apoio à decisão, nomeadamente através da análise e modelação das interações agentes-ambiente em áreas agrícolas, construindo cenários e propondo alternativas para a agricultura em contexto metropolitano (áreas urbanas e periurbanas). Este modelo é assim baseado em sistemas de multiagentes e estará ao serviço dos municípios, a partir de uma plataforma SIGWeb.

## **2. Modelação e sistemas multi-agentes**

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 (eg. DUEM CA Model, UrbanSIM, SIMPOP) 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 multi-agentes. Os 3 primeiros são mais eficientes para modelar processos estáticos. Já os modelos de multi-agentes 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. Os SMA interagem de acordo com um modelo de cognição, estabelecendo a ligação entre os seus objectivos autónomos e

o ambiente (contexto espacial). Interagem 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); 6) 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. Cada célula é representada por diferentes características biofísicas. As células são unidades de tomada de decisão para o uso do solo.

### **3. Área de estudo**

A Região Metropolitana de Lisboa (RML) abarca as NUT's III do Oeste, Lezíria do Tejo, Grande Lisboa e Península de Setúbal e segundo o recenseamento de 2011 tem cerca de 3,4 milhões de habitantes. É a região mais populosa de Portugal, com cerca de 1/3 da população. 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). A própria área metropolitana de Lisboa (composta pelas NUT III da Grande Lisboa e Península de Setúbal) tem 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.

### **4. Metodologia**

O sistema multiagentes AgriMet é desenvolvido para a Região Metropolitana de Lisboa tendo por base um conjunto de fases que passamos a descrever sucintamente, sendo que o foco deste artigo é a definição conceptual do sistema multiagentes AgriMet (SMA AgriMet).

1) A criação da base de dados de agricultura e urbanização em ambiente SIG, à escala da freguesia e concelho para os anos da década de 1990, 2000 e 2010 com integração de indicadores económicos, sociais, ambientais-paisagísticos, demográficos que permitem caracterizar o TERRITÓRIO, nomeadamente os diferentes tipos de agricultura na região metropolitana e o seu contexto urbano. Cada concelho e freguesia da RML são classificados dentro de uma tipologia (e/ou combinação de tipologias): agricultura intra-urbana (de lazer, intensiva), agricultura periurbana (intensiva, extensiva), agricultura em espaço rural (intensiva, extensiva).

2) As entrevistas realizadas a agricultores e a actores políticos e do planeamento dentro de cada uma das tipologias, com enfoque em Almada, Torres Vedras, Bombarral, Alenquer, Santarém. Estas entrevistas são essenciais para perceber, as lógicas dos diferentes AGENTES e as suas interacções com o território, e como estas levam a determinadas tomadas de decisão, assim como os cenários que daí advêm.

3) A construção do modelo conceptual de multiagentes com definição dos Agentes, Território, Regras ou Funções do modelo, cenários possíveis e escala de trabalho.

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 com dinâmicas temporais. Este é um software de código aberto, escrito em linguagem de programação *Scala* e em *Java*.

5) A construção de cenários.

6) Teste e validação do modelo junto dos municípios dos casos de estudo.

## **5. O SMA AgriMet**

O SMA AgriMet visa modelar as interacções entre agentes e território para prever cenários de alterações de uso/ocupação do solo. Estas interacções baseiam-se em regras ou funções simples, contudo extraídas da realidade, através das tipologias e das entrevistas realizadas em fases anteriores:

Os seus pressupostos conceptuais são os seguintes:

→ Escala de análise e unidade de trabalho. O tamanho do pixel a definir será em função das especificações e capacidades do programa NETLOGO, mas nunca será inferior a 1 ha.

→ Agentes: Agricultor profissional (n.º de agricultores com mais de 65 anos; n.º de agricultores com menos de 40 anos; n.º de produtores proprietários; n.º de agricultores arrendatários; agricultor de lazer (n.º de pessoas com mais de 65 anos; n.º de desempregados); Decisor político (expansionista; conservador).

→ Território: corresponde às áreas agrícolas extraídas da COS 2007 em que em cada pixel é alocado a uma determinada característica: inserção em determinadas classes de uso do PDM (RAN, Área Agrícola, Área Urbana, Área Urbanizável), com determinadas características observadas a partir da tipologia agrícola definida na etapa 1 (por ex. evolução do uso/ocupação urbano e agrícola entre 1990-2007; proximidade à área urbana, à rede viária; irrigação). As decisões dos agentes variam em função das interacções com estas características do território em que se inserem.

→ Decisões do AGENTE (que sobressaem das entrevistas realizadas): 1) Vender área agrícola; 2) Expandir área agrícola; 3) Manter área agrícola (arrendar; abandonar)

→ Regras

- 1) Aumento do Desemprego (aumento da procura de espaço agrícola; diminuição da urbanização);
- 2) Idade (quanto mais elevada for a idade do agricultor, maior a probabilidade de decréscimo de área agrícola ou quanto mais jovem mais vontade de expandir a área agrícola);
- 3) Estatuto da propriedade do agricultor – situações de arrendamento são mais precárias e o agricultor pode deixar de fazer agricultura;
- 4) Município expansionista (vontade de aumentar a área urbana); Município conservador (vontade de preservar área agrícola, com incentivos à agricultura).

O sistema multiagentes AgriMet estará disponível numa plataforma SIGWeb. O modelo é probabilístico e o utilizador (o sistema é sobretudo dirigido às entidades camarárias) pode escolher parâmetros na simulação que mais se adequam ao seu município (x idosos, y desempregados, etc.). O que o modelo mostrará é um mapa dinâmico em que as áreas agrícolas expandem-se, diminuem, ou mantêm-se em função dos parâmetros que forem definidos. Obviamente que as decisões dos agentes irão variar em função do tipo de território em que se encontram, por exemplo: (1) em espaço urbano (onde há pouco território para expandir), (2) em espaço periurbano (onde coexistem áreas urbanizáveis, áreas agrícolas, área de RAN, áreas com menor ou maior acessibilidade). Este conjunto de funções e regras resultarão num número indefinido de cenários.

## 6. 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 sistema multiagentes AgriMet serve à tomada de decisão em ordenamento do território à escala municipal e regional, permitindo melhor analisar e simular as decisões dos agentes nas suas interações com o território, e ao mesmo tempo permitindo visualizar o que acontece em termos de alteração de uso/ocupação do solo.

Este estudo é desenvolvido no contexto do projecto FCT AGRIMET-MOD (PTDC/ATP-EUR/4910/2012).

## 7. Bibliografia

- 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]
- Barton, C Michael (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. 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, Scott (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](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.
- Valbuena, Diego (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]