

Modelos Baseados em Agentes em Mudanças de Uso e Cobertura da Terra: o Caso da Moratória da Soja em Santarém

**Talita Oliveira Assis, Ana Paula Dutra de Aguiar,
Gilberto Câmara, Pedro Ribeiro de Andrade**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Av. dos Astronautas, 1758 - 12227-001 - São José dos Campos, SP, Brasil
talitaoliveiraassis@gmail.com, anapaula@dpi.inpe.br,
{gilberto.camara, pedro.andrade}@inpe.br

***Abstract.** Agent-based models allow treats individuals, organizations and institutions representing the interaction of actors among themselves, and among the actors with the environment. This paper conceptualizes such relations and explores the example of moratorium soybean pact that has marked out the soybean in the Amazon region applying the discussed concepts.*

***Resumo.** Os modelos baseados em agentes possibilitam tratar indivíduos, organizações e instituições representando a interação dos atores entre si, e entre os atores com o ambiente. Este trabalho conceitua tais relações e explora o exemplo da moratória da soja, pacto que tem balizado o mercado da soja na região amazônica, aplicando os conceitos discutidos.*

Palavras-chave: Modelagem dinâmica espacial, Relações, Células, Agentes.

Introdução

Mudanças de uso e cobertura da terra são transformações na superfície terrestre resultantes um sistema complexo de interações humanas e ambientais [Turner et al. 1995] que podem causar impactos em escalas locais e globais. Estas mudanças referem-se tanto a conversões entre classes (por exemplo, floresta para agricultura) quanto as alterações dentro de uma mesma classe, como a intensificação da agricultura e a degradação de uma floresta [Lambin et al. 2006]. Em contextos socioeconômicos, biofísicos e políticos específicos, múltiplos atores influenciam as diferentes trajetórias de mudança do uso da terra. Para capturar e melhor compreender estas mudanças é necessário estudar as interações sociais subjacentes nas diferentes escalas.

Na área de modelagem e cenários de mudanças de uso da terra, a construção de modelos que sejam capazes de representar a interação entre os diversos atores envolvidos e suas relações com trajetórias de mudanças de uso da terra são de grande interesse. Os modelos computacionais auxiliam na capacidade mental de modelagem, de forma a permitir tomadas de decisão mais informadas [Costanza e Ruth 1998]. *Modelos baseados em agentes* são uma alternativa interessante para representar a heterogeneidade dos atores [Gilbert 2007], possibilitando tratar tanto indivíduos quanto organizações. Estes modelos devem representar a interação dos atores entre si, e entre os atores com o ambiente. Exemplos de modelos que utilizam este tipo de abordagem são o modelo de dinâmicas

urbanas nas cidades da América Latina de Barros (2004) e o modelo de segregação de Schelling (1971).

Baseado em Andrade et al. (2008), o presente trabalho conceitua as quatro relações envolvendo agentes e células em um ambiente de modelagem de uso e cobertura da terra. Estes conceitos são utilizados na construção de um modelo hipotético para explorar as relações na dinâmica de uso da terra na Amazônia brasileira.

Modelagem baseada em agentes

Um modelo baseado em agentes busca compreender um determinado processo social através da descrição das entidades mínimas que compõem este sistema, chamadas *agentes*. Segundo Wooldridge e Jennings (1995), agentes possuem quatro características que os definem: a) autonomia: não há um controle global do que o agente faz; b) habilidade social: é possível interagir com outros agentes; c) reatividade: é possível reagir apropriadamente a estímulos vindos do seu ambiente e d) proatividade: existem objetivos que norteiam as decisões, mas os agentes tomam suas próprias iniciativas. A partir da percepção do ambiente os agentes escolhem e executam uma ação podendo, desta forma, modificar o ambiente e influenciar outros agentes [Vidal et al. 2001].

Uma das grandes vantagens dessa abordagem é a possibilidade de se modelar atores com características e habilidades heterogêneas, tornando possível trabalhar diretamente com as conseqüências das suas interações [Gilbert, 2007]. Adicionalmente, modelos baseados em agentes estão centrados no conceito de “emergência”, onde as ações e interações entre cada agente resultam em um padrão macro que não foi descrito nas regras de comportamento dos agentes, propiciando o entendimento dos processos e suas conseqüências [Matthews et al. 2007, Gilbert 2007].

No contexto de mudanças de uso da terra os modelos baseados em agentes consistem de entidades autônomas (atores), um ambiente onde os agentes interagem (normalmente um espaço celular) e regras que definem estas interações. A principal função do ambiente é prover um contexto espacial para os agentes [Huigen and Fischer, 2003] que podem representar atores como produtores e instituições (políticas ou particulares). Desta forma, existem dois tipos de entidades espaciais básicas neste tipo de modelo: *células*, que representam o espaço geográfico, e *agentes*, que representam entidades autônomas capazes de tomar decisões.

Conceituação das relações entre as entidades espaciais

Uma relação é um mapeamento que descreve as conexões entre duas entidades. Segundo Andrade et al. (2008), dado que existem dois tipos de entidades espaciais nos modelos baseados em agentes, quatro tipos de relações são formadas através da combinação de duas classes de entidades. Elas são:

- Célula→célula: relações de vizinhança entre células, representando a proximidade espacial entre elas. Podem ser baseadas na distância euclidiana ou em métricas que geram distâncias relativas, como por exemplo as redes de conectividade.
- Agente→célula: trata da relação entre um agente e o espaço celular, descrevendo sobre quais células um determinado agente tem domínio.

- Célula→agente: a relação entre o espaço celular e o agente define os agentes que pertencem ou que têm influência sobre a célula. Vários agentes podem pertencer a uma mesma célula, assim como um conjunto de células pode ser influenciado pelo mesmo agente, dependendo de fatores como a resolução celular.
- Agente→agente: é a relação entre agentes do mesmo tipo ou de tipos diferentes. Pode ser baseada em fatores externos, como relações de mercado, ou em relações de adjacência das células pertencentes aos respectivos agentes, como no caso de produtores que possuem propriedades vizinhas.

Neste trabalho, estas relações são usadas como base para a construção de um modelo computacional para estudar a dinâmica de uso da terra em Santarém, na Amazônia brasileira. Este estudo de caso é apresentado a seguir.

Estudo de caso

O município de Santarém, no oeste do Pará, teve sua dinâmica de uso da terra nos últimos anos baseada principalmente na substituição de áreas de agropecuária familiar e pastagem em áreas de cultivo de grãos. Isto estimulou o desmatamento e contribuiu para um ordenamento territorial com a substituição de um grande número de pequenas propriedades por um pequeno número de grandes propriedades.

O avanço da agricultura mecanizada na região, bem como seus impactos ambientais e sociais, ocasionaram a reação de diversos setores da sociedade civil, que resultou no pacto conhecido como “Moratória da Soja”. Este firma o compromisso de não comercializar soja plantada após outubro de 2006, proveniente de áreas do Bioma Amazônico que foram desflorestadas a partir da data da assinatura do compromisso (GTS, 2008). Este arranjo tem balizado o mercado da soja na região surgindo, então, a necessidade de representação desta relação o que ajudará a entender de que forma ela influencia no comportamento dos atores, diferenciando os produtores e compradores de grãos que aderem a este acordo daqueles que não fazem esta adesão, e suas implicações nas dinâmicas do uso da terra na Amazônia.

Neste trabalho criamos um modelo que considera as classes floresta e desflorestamento onde, além do produtor de grãos, foi considerado o agente do tipo cerealista associado ao acordo da moratória da soja. No contexto deste modelo, as relações discutidas são aplicadas para representar as interações entre os agentes conforme enumerado abaixo:

- Célula→célula: vizinhança entre as propriedades, baseada na adjacência das células que as compõe. Este fato pode ser verificado considerando a vizinhança de Moore de cada uma das células. Na figura 1(a), por exemplo, $c(3,3)$ é vizinho de $c(2,3)$ que pertence a propriedade P1 e de $c(4,3)$ que pertence à propriedade P3. Logo, as propriedades P1, P2 e P3 são vizinhas.

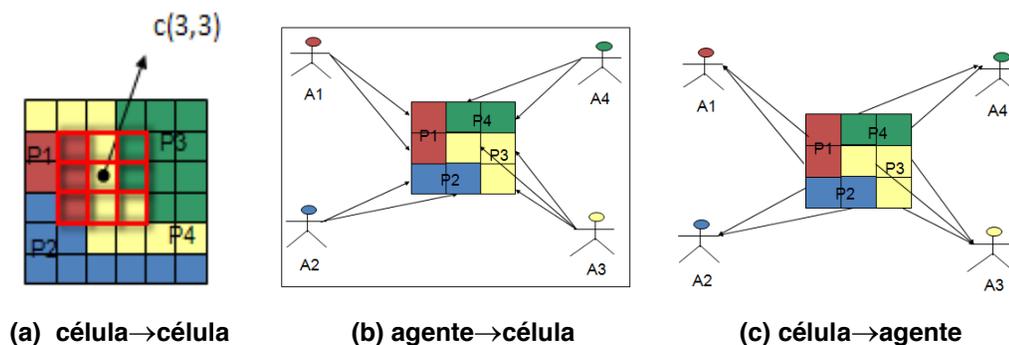


Figura 1. Relação envolvendo células

- Agente→célula: relação que conecta o produtor às células que compõem a sua propriedade, como mostra a figura 1(b).
- Célula→agente: permite que cada célula saiba quem é seu proprietário, podendo assim efetuar transições de acordo com as decisões de um agente específico, como exemplificado na figura 1(c).
- Agente→agente: há dois tipos de relação entre agentes neste caso. No primeiro, a relação de vizinhança entre os produtores com base na vizinhança das células que compõem as propriedades que lhes pertencem. No segundo, uma relação de mercado baseada na venda de produtos do produtor para o cerealista associado a moratória da soja (figura 2).

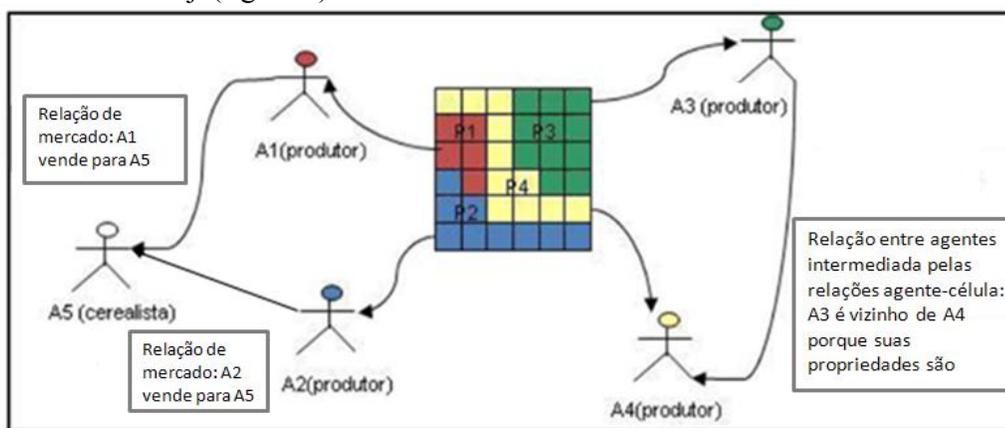


Figura 2. Relações agente→agente

O modelo descrito considera que produtores que se relacionam com o cerealista ficam impedidos de desmatar, por constar esta cláusula no pacto. Os demais produtores desmatam segundo variáveis de capital e custo de desmatamento por célula e limite permitido de desmatamento na área da propriedade.

Experimentos

O modelo construído simula a dinâmica da terra entre os anos de 2007 e 2020 e utiliza uma área dividida em onze propriedades, sendo cada uma delas pertencente a um produtor de grãos diferente, conforme mostrado na figura 3.



Figura 3. Divisão das propriedades

Os produtores das propriedades de 7 a 11 se relacionam com o cerealista. A existência desta relação não permite o desmatamento dentro de suas propriedades.

Os resultados obtidos são apresentados a seguir. O 4(a) mostra mapa de uso para 2007, 4(b) mostra a simulação para 2020. As células em verde correspondem as áreas de floresta e as células em vermelho correspondem as áreas desflorestadas.

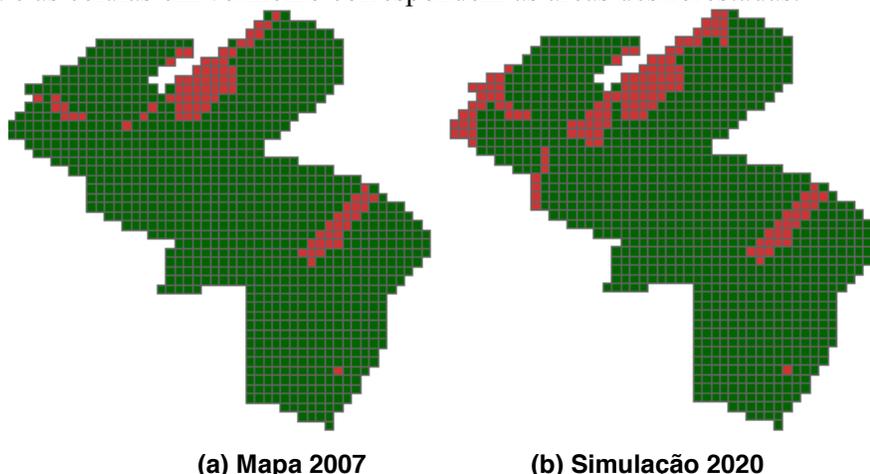


Figura 4. Mapas de uso para os anos de 2007 e 2020

É visualmente perceptível que a área onde os agentes tem relação com a moratória permanecem inalteradas a partir de 2007.

Considerações Finais

As relações exploradas neste trabalho são o ponto de partida para que este modelo possa evoluir para modelos mais complexos considerando outras entidades envolvidas na dinâmica de uso da terra da região. Desta forma, novas classes de uso e tipos de agente poderão ser incorporados ao modelo.

O comportamento dos agentes também pode ser refinado, com novos parâmetros para decisão, novas relações de mercado e com instituições regulamentadoras que acarretam em novas restrições as quais podem ou não ser integralmente respeitadas. Além disso, a influência dos vizinhos nas suas tomadas de decisão também pode ser considerada. Este conjunto de melhorias será utilizado futuramente buscando a aproximação do modelo com a realidade observada.

Referências

- Andrade, P. R., Monteiro, A. M. V., Camara, G. (2008) “Entities and Relations for Agent-Based Modelling of Complex Spatial Systems”. In. *I Brazilian Workshop on Social Simulation (BWSS/SBIA)*.
- Barros, J. X. (2004) “Urban growth in Latin American cities. Exploring urban dynamics through agent-based simulations”. Tese (Doutorado), University of London, Inglaterra.
- Coelho, A. (2009) “Modelagem de dinâmica de uso da Terra e cobertura vegetal em área de expansão de grãos na região do oeste paraense”. Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Pará.
- Costanza, R., Ruth, M. (1998) “Using Dynamic Modeling to Scope Environmental Problems and Build Consensus”, In. *Environmental Management*, p. 183-195.
- Gilbert, N. (2007) Agent-based models, Sage Publications Inc., London, Inglaterra.
- GTS - Grupo de Trabalho da Soja (2008) “Moratória da Soja: Avanços e Próximos Passos”.
- Huigen, M., Fischer, G. (2003) Agent Based Modelling in Land Use and Land Cover Change Studies. In: *Interim Repor*.
- Lambin, E. F., Geist, H., Rindfuss, R. R. (2006) “Introduction: Local processes with Global impacts”, In. Lambin, E., Geist, H. (Ed.). *Landuse and land-cover change: local processes and global impacts*. The Berlin: Springer, p. 1-8.
- Matthews, R. B., Gilbert, N. G., Roach, A., Polhill, J. G., & Gotts, N. M. 2007, "Agent-based land-use models: a review of applications", In. *Landscape Ecology*, vol. 22, pp. 1447-1459.
- Schelling, T. (1971) “Dynamic models of segregation”, In. *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 1, p. 143-186.
- Turner, B. Skole D., Sanderson S., Fischer G., Fresco L., Leemans R. (1995) Land-Use and Land-Cover Change (LUCC): Science/Research Plan, HDP Report No. 7. IGBP Secretariat. Stockholm.
- Vidal, J. M., Buhler, P. A., Huhns, M. N. (2001) “Inside an agent”, In. *IEEE Internet Computing*, vol. 5, p. 82–86.
- Wooldridge, M., Jennings, N. (1995) Intelligent Agents: Theory and Practice. v. 10. 1995. p. 115-152.