



20 e 21 de outubro
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
São José dos Campos - SP

Relações entre Agentes e Células nos Modelos de Uso e Cobertura da Terra

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

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.** Land use and cover changes are the result of complex social and biophysical interactions that may cause impacts on local and global scales leading increasing interest in the scientific community. Agent-based models are an interesting alternative to represent the heterogeneity of actors and the interactions among them. However, some concepts need to be established in this approach regarding the relationships between the actors and the environment, represented by agents and cells, respectively. This paper conceptualizes these relationships.*

***Resumo.** Mudanças de uso e cobertura da terra resultam de complexas interações sociais e biofísicas que podem causar impactos em escalas locais e globais despertando, assim, crescente interesse da comunidade científica. Os modelos baseados em agentes têm se mostrado uma alternativa interessante para representar a heterogeneidade dos atores e as interações entre eles. No entanto, alguns conceitos precisam ser estabelecidos para a utilização desta abordagem, em especial as relações entre os atores e o ambiente, representadas computacionalmente por agentes e células, respectivamente. Este trabalho conceitua essas relações.*

Palavras-chave: Modelos, Relações, Células, Agentes

1. Introdução

Mudanças de uso e cobertura da terra (LUCC) são transformações na superfície terrestre resultantes de uma cadeia de interações entre fatores socioeconômicos, biofísicos e políticos. Estas mudanças referem-se tanto às conversões entre classes, como floresta para agricultura, por exemplo, quanto as alterações, como intensificação da agricultura e degradação da floresta [Lambin et al. 2006]. Tais mudanças resultam de um sistema

complexo de interações humanas e ambientais [Turner et al. 1995] que podem causar impactos em escalas locais e globais.

Em contextos socioeconômicos, biofísicos e políticos específicos, múltiplos atores influenciam as diferentes trajetórias de mudança do uso da terra. Como resultado, as taxas e padrões de mudança no uso da terra variam no espaço e no tempo [Alves 2002; Becker 2004; Costa et al. 2007; Brondizio 2006; Batistella et al. 2008]. Para capturar a direção, a variabilidade e a extensão da mudança do uso da terra é necessário entender 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].

Porém os modelos LUCC existentes não são adequados para representar as interações entre atores em diferentes níveis, principalmente se consideramos grandes áreas, como a Amazônia, embora diversos modelos de mudança da terra tenham sido desenvolvidos para estudar e analisar seu desflorestamento [Walker e Homma 1996; Nepstad et al. 1999; Pfaff 1999; Laurance et al. 2001; Deadman et al. 2004; Soares-Filho et al. 2006; Aguiar et al. 2007].

Os modelos baseados em agentes são uma alternativa interessante para capturar a heterogeneidade dos atores [Gilbert 2007], possibilitando tratar indivíduos, organizações e instituições, embora a incorporação de agentes de níveis diferentes em processos regionais de mudança de uso da terra ainda seja um desafio.

Estes modelos devem representar a interação dos atores entre si, e entre os atores e com o ambiente. Este trabalho conceitua tais relações entre eles, com base em Andrade (2009). 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. As relações discutidas neste trabalho são: agente->agente (por exemplo, relações de mercado entre atores de tipos distintos), agente->célula (por exemplo, as propriedades rurais de cada indivíduo), célula->agente (exemplo, quem são os atores que estão em determinada propriedade) e célula->célula (relações de vizinhança espacial).

2. Modelagem baseada em agentes

Há uma grande diversidade de abordagens de modelagem a qual pode ser explicada por uma variedade de questões científicas, que implicam tanto na forma como os modelos são utilizados (ferramentas), como nas diferentes escalas de aplicação (local e global) [Vergurg et al., 2006].

Os modelos baseados em agentes são baseados no conceito de “emergência” onde as interações entre cada entidade (agente), presente em um nível mais baixo, resultam em um padrão macro de análise propiciando o entendimento dos processos e suas consequências [Matthews et al. 2005, Gilbert 2007]. Segundo [Wootdridge e Jennings

1995] os 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]. 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).

A Figura 1 mostra a estrutura básica deste tipo de abordagem.

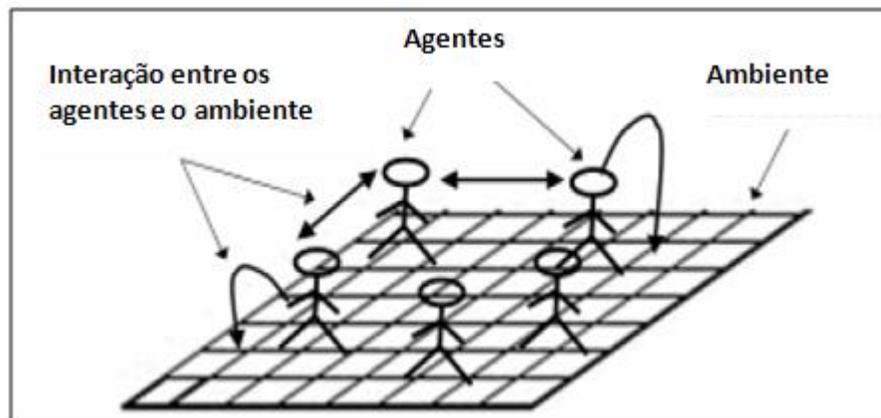


Figura 1. Modelagem Baseada em agentes [Parker et al. 2002]

Uma das grandes vantagens dessa abordagem é a possibilidade de incluir agentes heterogêneos em suas características e habilidades, tornando possível trabalhar diretamente com as conseqüências das suas interações [Gilbert, 2007].

3. Modelagem baseada em agentes para modelar mudanças de uso e cobertura da terra

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).

Vários atores discutem o uso dos modelos baseados em agentes no estudo das mudanças do uso da terra [Parker et al. 2003; Deadman et al. 2004; Valbuena et al. 2009] que, segundo Matthews (2005), podem ser usados para análises políticas e planejamentos, modelos participativos, explicação de padrões espaciais de mudança de uso da terra, testes de conceitos das ciências sociais ou exploração das funções de uso da terra. Na literatura são encontrados vários exemplos destas implementações como em Valbuena et al.(2009) e Castela (2007). Valbuena et al.(2009) descreve o uso desta abordagem propondo um conceito de framework para modelos baseados em agentes para analisar e explorar processos de mudança de uso e cobertura da terra regionais utilizando como estudo de caso

os Países Baixos. Castela (2007), por sua vez, compara os resultados obtidos através dos modelos SAMBA, que utiliza a abordagem baseado em agentes, e CLUE-S, com abordagem *top-down*, para as áreas de montanhas no norte do Vietnã.

4. Conceituação das relações entre agentes

Segundo Andrade (2009) uma relação é um mapeamento que descreve as conexões entre duas entidades. Desta forma, existem quatro tipos de relações, formadas pelas combinações de duas classes de entidades, ou seja: célula->célula, agente->célula, célula->agente e agente->agente.

- Célula->célula: As relações célula->célula tratam a vizinhança entre células, representando a proximidade espacial entre elas. Estas vizinhanças podem ser definidas baseadas na distância euclidiana entre as células ou utilizando outras métricas, como acessibilidade, que produzem uma relação de vizinhança baseada em distâncias relativas, conforme ilustrado na figura 2.

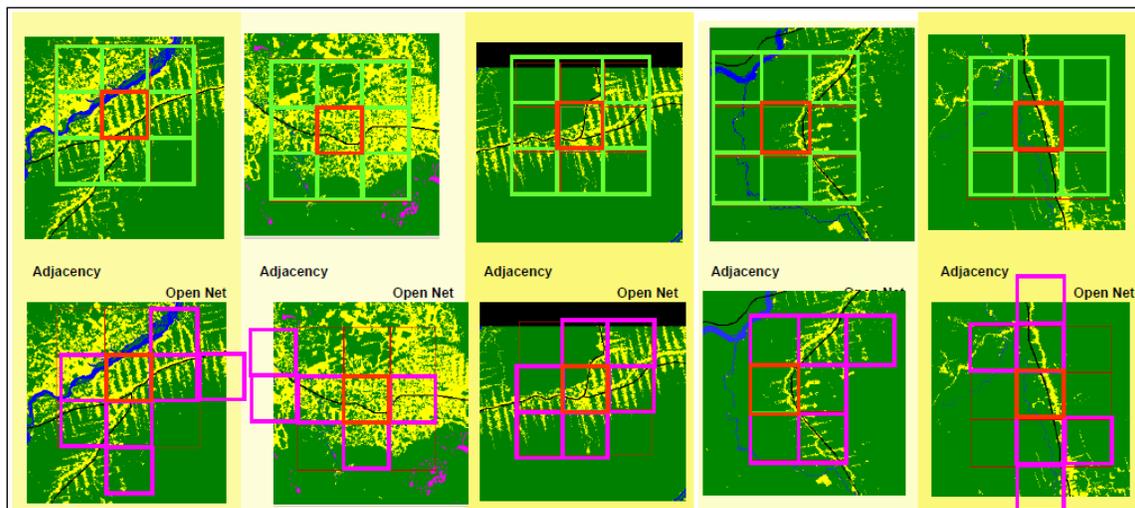


Figura 2. Vizinhança entre células [Aguiar et.al 2003]

- Agente->célula: trata da relação entre um agente e o espaço celular, conforme mostrado na figura 3, descrevendo sobre quais células estes agentes tem domínio. Exemplo: o produtor possui uma propriedade que é representada por um conjunto de células. Este tipo de relação permite conectar o agente as células que compõem a sua propriedade. O mesmo tipo de relação é utilizado ao relacionar uma instituição com as células que compõem sua área de atuação.

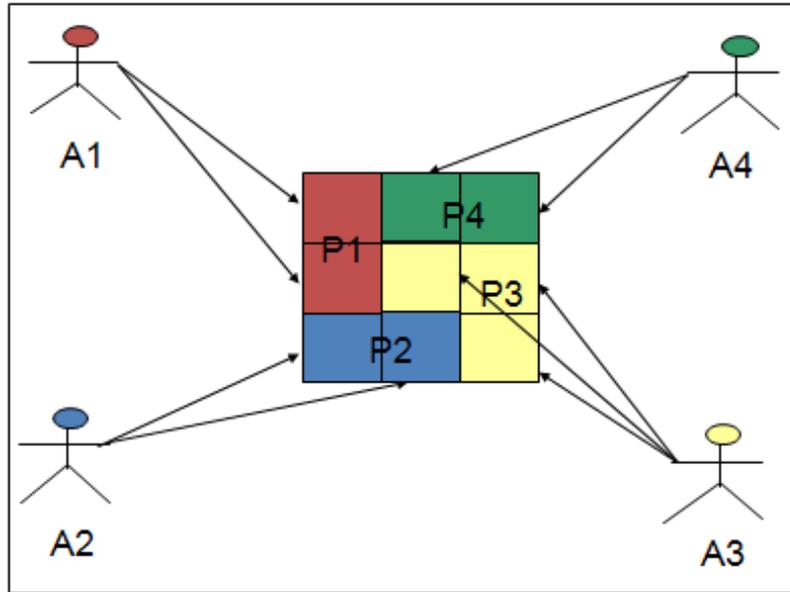


Figura 3. Relações entre os produtores e suas propriedades

- **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, como mostra a figura 4-a, assim como um conjunto de células pode ser influenciado pelo mesmo agente (figura 4-b) dependendo de fatores como o nível do agente e, principalmente, da resolução. Para facilitar o entendimento podemos usar alguns exemplos simples. Em um espaço celular com grande resolução, suponhamos que uma célula abranja parte significativa de um município. Então, esta célula pode conter vários agentes do tipo “produtor rural”, mas pode conter apenas um agente de nível institucional “IBAMA” que fiscaliza o desmatamento. Por outro lado, em um espaço celular com resolução pequena, pode-se ter várias células compondo uma propriedade que pertença a um “produtor rural”, desta forma precisamos desta relação para saber quem é o agente responsável por aquela célula para saber quais as transições possíveis tais células.

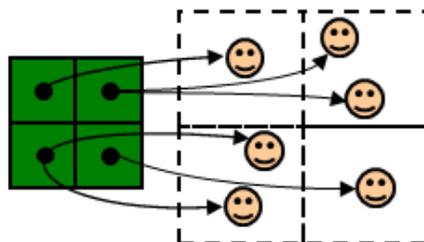


Figura 4 a. Relação célula agente: vários agentes pertencentes a mesma célula

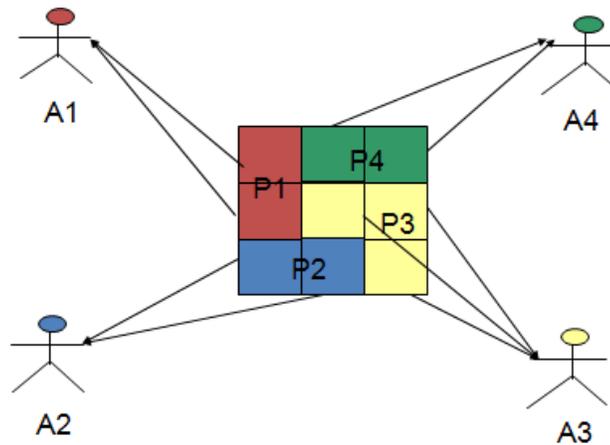


Figura 4 b. Relação célula agente: as células que compoem uma propriedade precisam saber quem são seus proprietários

- As relações entre entidades de tipos diferentes (agente->célula e célula->agente) são simétricas, porque se um agente controla uma célula esta célula contém este agente, e binárias, porque para um dado tempo duas entidades ou estão ou não estão conectadas. Agente->agente: é a relação entre os agentes do mesmo tipo ou de tipos diferentes. Exemplo: relação de mercado, relação de cooperação/associação; relação de vizinhança. Nos dois primeiros exemplos, a construção inicial da relação de vizinhança deve ser obtida por dados externos sobre as relações (por exemplo, lista de proprietários que vendem seus produtos para a Cargill; lista de proprietários que fazem parte de determinada cooperativa). Por outro lado, uma relação de vizinhança é uma relação entre agentes do mesmo tipo, porém intermediada, na sua construção, pelas relações de localização agente->célula, como na relação de vizinhança entre produtores rurais. Estas relações são ilustradas na figura 5.

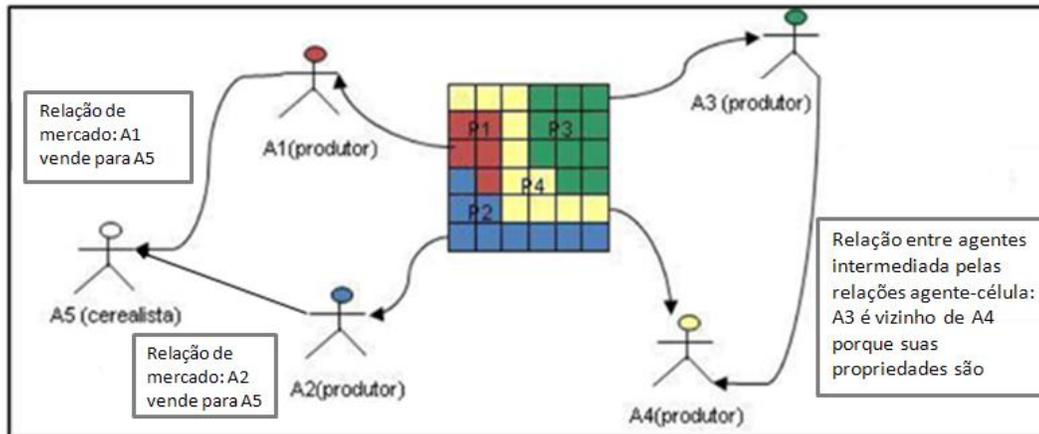


Figura 5. Relações agente→agente

5. TerraME e a implementação destas relações

TerraME [Carneiro, 2006] é um ambiente para modelagem espacial dinâmica explícita, implementado com base na biblioteca SIG de código aberto *TerraLib* [Câmara et al. 2000]. Este possui acesso direto a um banco de dados geográfico e oferece uma linguagem de modelagem de alto nível que propicia tipos de dados e serviços para modelagem e comportamentos e escalas de dimensões temporais e espaciais.

TerraME é uma extensão da linguagem de programação LUA e possui um interpretador cujo funcionamento é ilustrado na Figura 6.

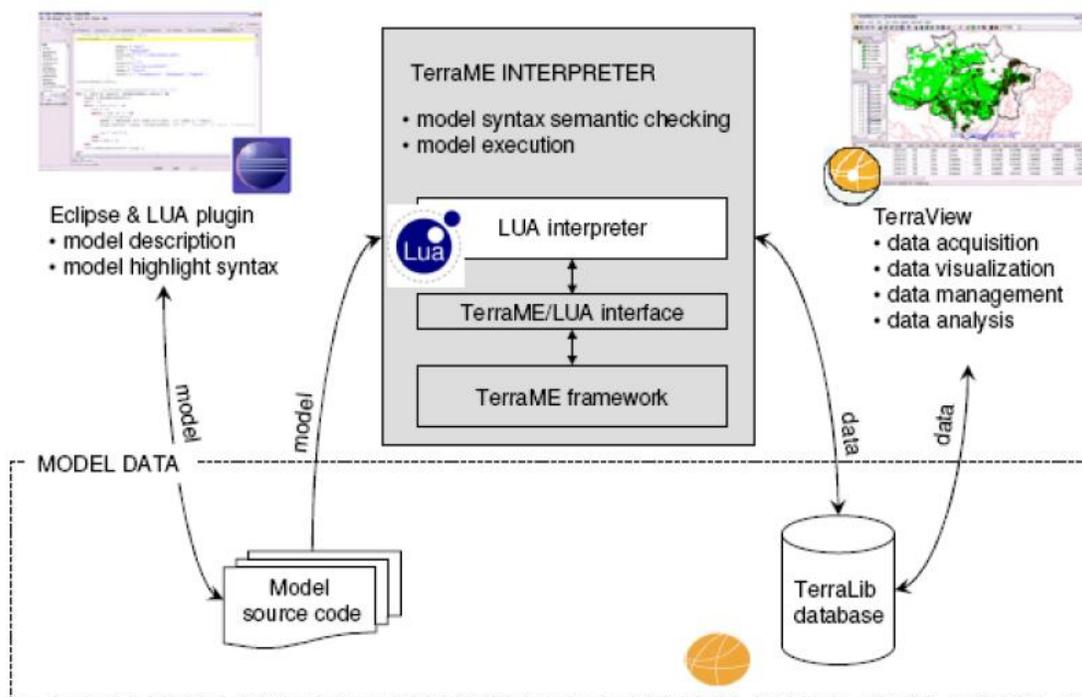


Figura 6 - TerraME, módulos e serviços [Carneiro 2006]

Atualmente, no terraME as relações entre célula->célula, chamadas vizinhança entre células, já são bem estabelecidas, no entanto os outros três tipos de relação ainda precisam ser construídos.

6. Considerações finais

Os modelos baseados em agentes tem se mostrado uma abordagem interessante em modelagem de mudanças de uso e cobertura da terra por possibilitar a inclusão de agentes heterogêneos em suas características e habilidades, tornando possível trabalhar diretamente com as conseqüências das suas interações.

No entanto, alguns conceitos precisam ser estabelecidos para que esta ferramenta seja melhor explorada. Entre eles as relações entre agentes e células, que é uma forma de representar as interações entre os atores entre si e com o ambiente, as quais foram definidas

neste trabalho. Estas relações são o ponto de partida para que possam ser construídos estes modelos de forma mais consistente e implementá-los utilizando o ambiente terraMe.

Referências

- Aguiar, A. P. D. ; Camara, G ; Escada, M . Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity. *Ecological Modelling*, v. 209, p. 169-188, 2007.
- Aguiar, A. P., Câmara, G., Monteiro, A. M., Souza, R. C. (2003) Modeling Spatial Relations by Generalized Proximity Matrices. *Proceedings of Brazilian Symposium in Geoinformatics*.
- Alves, D. S., 2002. Space-time Dynamics of Deforestation in Brazilian Amazônia. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 14, p. 2.903-2.908.
- Andrade, P. R., Monteiro, A. M., Camara, G., Carneiro, T. G. S. (2009) An Architecture for Agent-based Modelling and Simulation of Geospatial Phenomena”, *Proceedings of the 6th European Social Simulation Association Conference (ESSA'09)*.
- Barros, J. X. (2004) “Urban growth in Latin American cities. Exploring urban dynamics through agent-based simulations”. Tese (Doutorado), University of London, Inglaterra.
- Batistella, M.; Moran, E. F.; Alves, D. (orgs.) *Amazônia: natureza e sociedade em transformação*. São Paulo: EDUSP, 2008. 304p.
- Becker, B, 2004. *Amazônia: geopolítica na virada do III milênio*. Rio de Janeiro: Garamond, np. 172.
- Brondizio ES., 2006. Landscapes of the past, footprints of the future. In *Time and Complexity in Historical Ecology*, ed. W Balée, C Erikson, pp. 365–405. New York: Columbia Univ. Press.
- Câmara, G.; Souza, R.; Pedrosa, B.; Vinhas, L.; Monteiro, A. M.; Paiva, J.; Carvalho, M. T.; Gattass, M. *TerraLib: Technology in support of GIS Innovation*. In: *II Brazilian Symposium on Geoinformatics, GeoInfo2000*, 2000, São Paulo.
- Carneiro, T. *Nested-CA: a foundation for multiscale modeling of land use and land change*. (2006). 109 f. - PhD in Computer Science, National Institute of Space Research, São José dos Campos.
- Castella, J.-C.; Verburg, P. H. Combination of process-oriented and pattern-oriented models of land-use change in a mountain area of Vietnam. *Ecological modelling [S.I.]*, v. 202, p. 410-420, 2007.
- Costa, F. de A. (2007). *Dinâmica Agrária e Balanço de Carbono na Amazônia*. Oxford, University of Oxford, Centre for Brazilian Studies, Working Paper CBS-86-07.
- Costanza, R.; Ruth, M. Using Dynamic Modeling to Scope Environmental Problems and Build Consensus. *Environmental Management*, n. 22, p. 183-195, 1998.

Deadman, P. et al. Colonist household decision making and land-use change in the Amazon Rainforest: an agent-based simulation. *Environment and Planning B-Planning & Design* [S.I.], v. 31, n. 5, p. 693-709, 2004.

Gilbert, N. (2007). *Agent-based models*, Sage Publications Inc., London.

Huigen, M.; Fischer, G. *Agent Based Modelling in Land Use and Land Cover Change Studies*. In: *Interim Repor*. 2003.

Lambin, E. F.; Geist, H.; Rindfuss, R. R. 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, 2006, p. 1-8. IGBP series.

Laurance, W. et al. The future of the Brazilian Amazon. *Science* [S.I.], v. 291, p. 438-439, 2001.

Matthews, R. et al. Agent-based land-use models: a review of applications. *Landscape Ecology* [S.I.], n. Volume 22, Number 10 / December, 2007, p. 1447-1459, 2005.

Nepstad, D. et al. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature* [S.I.], v. 6727, p. 505-507, 1999.

Parker, D. et al. Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review. *Annals of the Association of American Geographers* [S.I.], v. 93, n. 2, p. 314-337, 2003.

Pfaff, A. What Drives Deforestation in the Brazilian Amazon? Evidence from Satellite and Socioeconomic Data. *Journal of Environmental Economics and Management* [S.I.], v. 37, n. 1, p. 26-43, 1999.

Schelling, T. Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology* [S.I.], v. 1, p. 143-186, 1971.

Soares-Filho, B. et al. Modeling conservation in the Amazon basin. *Nature* [S.I.], v. 4389, March 2006.

Turner, B. et al. *Land-Use and Land-Cover Change (LUCC): Science/Research Plan*, HDP Report No. 7. IGBP Secretariat. Stockholm. 1995.

Valbuena D, Verburg P, Bregt AK Ligtenberg A (2009) An agent-based approach to model land-use change at regional scale. *Landscape Ecol*.

Verburg P.H., KOK, K., PONTIUS Jr., R.G., VELDKAMP, A. (2006). *Modelling land use and land cover change*. Land-use and land-cover change. Local processes and global impacts, Springer, Berlin.

Vidal, J. M.; Buhler, P. A.; Huhns, M. N. Inside an agent. *IEEE Internet Computing*, v. 5, n. 1, p. 82-86, 2001. ISSN 1089-7801.

Walker, R.; Homma, A. Land use and land cover dynamics in the Brazilian Amazon: an overview. *Ecological Economics* [S.I.], v. 18, n. 1, p. 67-80, 1996.

Wooldridge, M.; Jennings, N. Intelligent Agents: Theory and Practice. v. 101995. p. 115-152.