

Capítulo 6

Nexos Entre as Dimensões Socioeconômicas e o Desmatamento na Amazônia: A

Caminho de um Modelo Integrado

Britaldo Silveira Soares-Filho

Ricardo Alexandrino Garcia

Hermann Oliveira Rodrigues

Sueli Moro

Daniel Curtis Nepstad

Introdução

O debate sobre o futuro da Amazônia, a maior floresta tropical do Planeta, tem alcançado dimensões mundiais. A vertiginosa intensificação da pesquisa científica sobre a região ocorrida nas últimas décadas – destacando-se aí o papel de programas de cooperação internacional, como ABRACOS, LBA, PPG7, GEF – e de outros patrocinados por agências de fomento nacionais – como o Instituto do Milênio LBA do CNPQ – tem-nos proporcionado um substancial avanço no conhecimento do funcionamento e das inter-relações dos ecossistemas amazônicos, de seu vasto conteúdo em biodiversidade, de seu papel regulador do clima regional e global e da complexidade das causas de sua dinâmica ambiental, a saber, como fatores políticos, econômicos, sociais e demográficos interagem provocando o avanço do desmatamento e suas possíveis conseqüências tanto na escala das paisagens locais quanto em relação às mudanças globais, quer seja pela emissão de carbono para atmosfera (Houghton *et al.*, 2000), contribuindo assim para o efeito estufa, ou na

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

alteração de padrões climáticos devido à remoção de sua espessa e extensa cobertura florestal (Werth & Avissar, 2002; Schneider *et al.*, 2006; Sampaio *et al.*, 2007; Ramos da Silva, no prelo).

Em conseqüência, a grande massa de dados advinda dessa crescente série de pesquisas sobre o ambiente e sociedade da Amazônia (Becker, 2007) tem permitido avançar na representação do funcionamento e evolução dessa complexa entidade geográfica, usando-se de uma visão sistêmica e capacidade de abstração proporcionada pelas técnicas de modelagem computacional. Nesse sentido, a proposta de entendimento sistêmico da interação da atmosfera e biosfera da Amazônia pelo programa LBA, como discutido em Alves *et al.* (neste volume), vem atuando como uma grande umbrela de fomento ao conhecimento interdisciplinar, sob a qual cientistas com diversas especializações interagem, buscando o desenho de um modelo integrado do funcionamento e evolução do hólón Amazônia. Nesse contexto é que se insere o projeto “Cenários para a Amazônia”, um projeto inter-institucional concebido com o objetivo de desenvolver um modelo integrado – “SimAmazonia” – que simule o complexo de interações entre os ecossistemas da Amazônia, suas economias, sociedades e climas regional e global, e com isso nos permita avaliar o potencial de políticas públicas e estratégias de conservação para evitar o colapso ambiental desse importante bioma da Terra.

Na verdade, a concepção de tal projeto, como baseado na própria aceção do LBA, é um enorme desafio, sendo sua realização equiparável a percorrer uma estrada cujo horizonte se mantém em contínua progressão. A esse propósito convém lembrar que mais que integrar uma série de modelos desenvolvidos por vários especialistas, seu maior repto consiste em estreitar essa multiplicidade de colaborações através do desenvolvimento de

uma linguagem comum. Um outro desafio notável a esse tipo de estudo consiste na incorporação da dimensão humana, tendo em vista o papel central do homem como agente co-evolucionário dos sistemas ambientais¹ (Naveh, 1991). Sob essa luz, a interação entre cientistas em ciências naturais com os das áreas sociais continua ainda sendo uma grande lacuna (Schor, 2005), visto que muito embora se tenha discutido e ressaltado o papel das dimensões humanas no entendimento das mudanças ambientais, sua incorporação em modelos ambientais, através de uma representação quantitativa, necessita ainda ser descortinada. Isso se deve primeiramente à própria complexidade dos sistemas socioeconômicos, ainda além da nossa fronteira de equacionamento matemático (Barrow, 1998) e, concomitantemente, pela falta de tradição dos cientistas sociais na análise numérica de suas observações, base para a construção de modelos computacionais.

A esse respeito, temos presenciado nos últimos anos um rápido avanço nos métodos de representação de sistemas complexos aportado pela revolução da cibercultura, a qual não só resgatou vários métodos quantitativos – relegados no passado recente devido à dificuldade de implementação ou mesmo por um dominante viés teórico, em particular nas ciências geográficas (*e.g.*, Santos, 1978) – como também trouxe novos dispositivos de investigação, a saber, os modelos de simulação. Segundo Levy (1999), a simulação consiste numa tecnologia intelectual que decuplica a imaginação individual, permitindo com isso que grupos compartilhem, negociem e refinem modelos mentais comuns de uma certa realidade.

Em particular, os modelos de simulação de sistemas ambientais auxiliam na compreensão de seu funcionamento e evolução e com isso nos permitem prognosticar os

¹ Define-se sistema ambiental por uma entidade organizada com expressão geográfica, ou seja, cujos elementos e relacionamentos mostram características de espacialidade e variabilidade espacial (Christofolletti, 1999).

impactos e implicações, para a sociedade e a natureza, de possíveis trajetórias assumidas sob determinados conjuntos de condições circunjacentes, as quais se traduzem por cenários socioeconômicos, políticos e ambientais. Como os sistemas ambientais possuem expressão territorial, os modelos de simulação em questão configuram representações espaço-temporais² desenvolvidas sobre plataformas de sistemas de informação geográfica – SIG. Portanto, daí advém a importância do geoprocessamento como instrumento transdisciplinar e meio de integração multidisciplinar com aplicação não só nas ciências naturais, mas também com crescente popularização nas ciências humanas e sociais (Liverman *et al.*, 1998).

É com tal perspectiva que este capítulo trata do desenvolvimento de um modelo de simulação do desmatamento da Amazônia que liga condicionantes socioeconômicos, demográficos e de políticas públicas à projeção do desmatamento sob plausíveis cenários. Esse modelo faz parte do SimAmazonia – 2, o qual, implementado sobre a plataforma computacional Dinamica.EGO (Rodrigues *et al.*, 2007), integra uma série de modelos espaço-temporais desenvolvidos à escala da bacia Amazônica, a saber: simulação de desmatamento (Soares-Filho *et al.*, 2006), espalhamento de fogo, modelos de rentabilidade da soja (Vera-Diaz, 2007), da pecuária e da exploração madeireira (Merry *et al.*, no prelo) e CARLUCC – um modelo que simula fluxos de carbono entre os componentes da floresta e dela para a atmosfera (Hirsh *et al.*, 2004).

O capítulo é estruturado para apresentar: 1) a evolução recente dos métodos analíticos e de simulação utilizados em ciências ambientais, ilustrando-se exemplos e possibilidades

² Segundo Christofolletti (1999), a organização de sistemas ambientais, englobando diversas naturezas – daí a necessidade de uma abordagem holística ou multidisciplinar –, vincula-se à estruturação e funcionamento de seus elementos através de fluxos de interação, assim como resulta da dinâmica evolutiva, configurando, portanto, um complexo espaço-temporal.

dos modelos de simulação de mudanças do uso e cobertura da terra; 2) contextualização do desmatamento na Amazônia e especificidades quanto à sua modelagem; 3) desenho do modelo elaborado, incluindo a base de dados, técnicas de análise, validação e seu acoplamento com o modelo espacialmente explícito³; 4) construção de cenários; 5) trajetórias resultantes; e 6) suas implicações ambientais e considerações finais.

Modelos de simulação de mudanças de uso e cobertura da terra

A abordagem do Programa LBA propõe o estudo dos fluxos de energia e materiais – substâncias químicas, gases e nutrientes – entre os componentes da atmosfera, vegetação e de áreas convertidas, solos e sistemas aquáticos (ver Figura 1 em Alves *et al.*, neste volume). As mudanças no uso e cobertura do solo causam perturbações nos fluxos de energia e materiais entre esses componentes, determinando assim as alterações nos ciclos naturais e a subsequente busca de novos equilíbrios dinâmicos. Por conseguinte, o componente de mudanças no uso e cobertura da terra situa-se na base dos modelos de clima, de dinâmica ecológica e de regimes hidrológicos. Como a ação humana está por trás dessas mudanças, é natural que esses estudos enfoquem os aspectos históricos, culturais, políticos, demográficos e socioeconômicos que condicionam a dinâmica ambiental, fazendo que esse componente seja o nexo natural entre os outros componentes do Projeto LBA e os estudos de dimensões humanas na Amazônia.

A princípio, os estudos de mudanças no uso e cobertura da terra se contentaram ao mapeamento multitemporal realizado pelas técnicas de detecção de mudanças por meio de imagens de sensores remotos. Em decorrência do avanço das técnicas de análises espaciais

³ Modelos que processam a heterogeneidade do espaço geográfico a um nível alto de resolução espacial.

disponibilizadas pelo geoprocessamento apareceram os primeiros modelos de simulação de mudanças do uso e cobertura da terra em meados da década de 90, quando não ultrapassavam mais de meia dúzia (*e.g.*, Turner, 1988; Wilkie & Finn, 1988; Flamm & Turner, 1994; Dale *et al.*, 1994; Gilruth *et al.*, 1995; Veldkamp & Fresco, 1996). Hoje, após uma década, encontramos uma profusão de modelos com diferentes tipologias de estados e transições – *e.g.*, expansão urbana (Almeida *et al.*, 2003) ou dinâmica intra-urbana (Godoy & Soares, 2007), agricultura (Berger, 2001), desmatamento (Pontius *et al.*, 2001; Soares-Filho *et al.*, 2002; Mas *et al.*, 2004) –, escalas de aplicação – paisagens locais (Soares-Filho *et al.*, 2002), regionais (Soares-Filho *et al.*, 2004) a continentais (Soares-Filho *et al.*, 2006) – e abordagens que incluem desde a simples replicação da evolução de padrões geográficos usando-se técnicas de autômatos celulares⁴ e informações de determinantes espaciais⁵ (Pontius *et al.*, 2001; Soares-Filho *et al.*, 2002), modelos orientados ao espaço⁶ acoplados às projeções de sistemas econômicos e demográficos (White *et al.*, 2000; Soares-Filho *et al.*, 2004), modelos cujas regras de mudanças são baseadas em decisões econômicas, usando-se, por exemplo, funções de utilidade (Wang & Zhang, 2001) ou rentabilidade da terra (Bateman *et al.*, 2003) aos atuais modelos baseados em agentes, que simulam como que os atores de uma dinâmica ambiental tomam suas decisões em alterar ou não os padrões de uso da terra baseado em estratégias individuais, como sua localização no espaço e conseqüente acesso aos recursos naturais, conhecimento prévio, disponibilidade de capitais, acesso à informação, etc. (Parker & Meretsky, 2004; Mason, 2005). Embora, a primeira vista, essa última abordagem chame atenção por buscar modelar os processos,

⁴ Conjunto de células que interagem com sua vizinhança cujo arranjo espacial determina a regra de transição.

⁵ Variáveis que controlam a localização das mudanças, usualmente representadas por mapas.

⁶ Também conhecidos como ‘espacialmente explícito’, em geral adotam uma estrutura matricial composta por células que correspondem a uma partição uniforme do espaço geográfico.

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

sobretudo locais, que resultam nas mudanças no uso da terra, a complexidade dos sistemas sociais e suas interações com ambiente, como ressaltado anteriormente, são ainda intangíveis de serem equacionadas em sua totalidade, o que faz que esses modelos sejam somente aplicáveis a estudos de detalhe, os quais dispõem de uma enorme base de dados coletada através de longas pesquisas de campo. Por exemplo, seria impensável desenvolver um modelo baseado em agentes para a Amazônia brasileira como um todo devido a sua ampla diversidade social econômica e ambiental, sem mencionar suas intrincadas conexões nos âmbitos nacional e global.

É importante salientar que a modelagem cada vez mais caminha para uma abordagem híbrida, não somente mesclando tipologias de modelos como também tomando partido de uma multiplicidade de técnicas de análise espacial que envolvem fortemente a álgebra de mapas (Tomlin, 1990) aliada às técnicas estatísticas clássicas⁷ ou espaciais, como regressão por defasagem espacial (Caldas *et al.*, 2007), métodos bayesianos, como pesos de evidência (Soares-Filho *et al.*, 2004), regressão geográfica (Fotheringham *et al.*, 2002) a até mesmo métodos heurísticos avançados, como redes neurais (Mas *et al.*, 2004), algoritmos genéticos (Mason, 2005), lógica fuzzy (Sawyer & Beltrão, 1991; Hagen, 2003), entre outras. Em efeito, uma gama de softwares tem sido desenvolvida para lidar com essa variedade de técnicas aplicadas aos dados ambientais que, em especial, possuem natureza geográfica. Nesse contexto, destaca-se o recente desenvolvimento de softwares que incorporam linguagens, estruturas de dados e algoritmos para simulação espacial, como no exemplo do Clue (Veldkamp, & Fresco, 1996), Clue-S (Verburg *et al.*, 2002), Geomod (Pontius *et al.*, 2001), Ca-Markov no Idrisi (Eastman, 2003) e Dinamica.EGO (Rodrigues *et al.*, 2007),

⁷ Técnicas de estatística paramétrica, como no exemplo dos modelos lineares generalizados, não são recomendados devido à autocorrelação dos dados geográficos.

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

sendo esse último o único que possibilita integração da dinâmica de sistemas socioeconômicos com modelos espacialmente explícitos, quer seja através da acoplagem com modelos externos elaborados em softwares de pensamento sistêmico, *e.g.*, Vensim (Ventana, 2006), ou via operadores internos de manipulação e retroalimentação de dados armazenados em tabelas – estrutura usual para representação de dados socioeconômicos.

Todavia, os pesquisadores em ciências sociais e humanas ainda não são muito afeitos ao uso dessas técnicas quantitativas por tradicionalmente adotarem uma postura mais discursiva, inibindo suas incursões no campo da modelagem. Uma saída para isso consiste na formação de equipes multidisciplinares em torno da construção e operação de um modelo, que servirá tanto como meio de materialização quanto de comunicação das variadas concepções mentais sobre o fenômeno em estudo. No entanto, a formação dessas equipes interativas, embora seja a estratégia recomendada à incorporação das dimensões humanas nos modelos ambientais, ainda não se tornou popular, haja vista a falta de hábito em se desenvolver colaborações conjuntas envolvendo cientistas sociais e os das ciências naturais.

Complexidades do desmatamento na Amazônia

As causas do desmatamento na Amazônia são complexas e frequentemente inter-relacionadas (Geist & Lambin, 2001). No passado foram atribuídas a incentivos fiscais (Mahar, 1988; Schmink & Wood, 1992; Moran, 1993) e políticas de colonização (Hecht, 1985; Hecht & Cockburn, 1990; Schmink & Wood, 1992; Andersen & Reis, 1997; Laurance, 1999), as quais desencadearam uma forte migração para a Amazônia como válvula de escape para os problemas sociais de outras regiões (Skole *et al.*, 1994). Já o

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

panorama recente mostra uma forte conexão da dinâmica do desmatamento aos cenários macroeconômicos nacional e global, incluindo aí questões ligadas à desvalorização do Real frente ao Dólar e teleconexões ao mercado chinês e a de outros grandes consumidores de bens agrícolas (Nepstad *et al.*, 2006). Essa intrincada conjuntura envolve, portanto, o avanço da exploração madeireira (Nepstad *et al.*, 2001), da pecuária (Mertens *et al.*, 2002; Kaimowitz *et al.*, 2004) e o boom do agronegócio, notadamente a expansão das culturas de soja sobre áreas de pastagens e de florestas (Alencar *et al.*, 2004, Morton *et al.*, 2006). Investimentos em infra-estrutura, sobretudo a abertura de estradas e pavimentação (Nepstad *et al.*, 2000; Carvalho *et al.*, 2001; Laurance *et al.*, 2001, Soares-Filho *et al.*, 2006), completam esse quadro, posto que promovem a viabilidade econômica da agricultura e da exploração madeireira na Amazônia central, com conseqüente valorização de suas terras. Por último, deve-se mencionar o papel ausente do Estado, incapaz de coibir o desmatamento ilegal e de regularizar a posse da terra, produzindo em conseqüência recorrentes conflitos fundiários (Fearnside, 1985; 2001; Soares-Filho *et al.*, 2004). Soma-se a isso a ambigüidade de políticas públicas que estimulam por um lado o desmatamento pelos grandes proprietários para assegurar a posse da terra diante da ameaça da reforma agrária e pelo outro a invasão da terra pelos movimentos do Sem-Terra, ou mesmo o assentamento de colonos em áreas florestais impróprias à produção agrícola e sem perspectiva de sucesso econômico a médio e longo prazo devido à falta de amparo do Estado. Complexo também é o arranjo territorial e a sucessão temporal desses atores através da Amazônia, gerando instabilidades na estrutura agrária e uma grande rotatividade populacional nas áreas de assentamentos rurais com a conseqüente realocação de suas populações para centros urbanos e ou mesmo para novas fronteiras de desmatamento

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). *Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação*. São Paulo, 2008, v. 1.

(Garcia *et al.*, 2007). É esse ciclo vicioso e intrincado que perpetua o avanço do desmatamento adentro da Amazônia, sendo sua complexidade difícil de organizar por meio de políticas públicas, devido à heterogeneidade do seu tecido social e cultural (Moran *et al.*, neste volume) e à multiplicidade de interesses envolvidos tanto em escala local como regional (vide exemplos descritos por Santos & Alves, neste volume).

Como ilustrado por Walker *et al.*, neste volume, a Amazônia hoje se integra ao território nacional aumentando gradativamente sua participação na economia brasileira. No entanto, esse relativo desenvolvimento veio acompanhado de forte degradação ambiental, como ilustrado pela curva de Kuznet, que tão bem tipifica o impacto ambiental provocado pelo desenvolvimento das sociedades de fronteira (Stern *et al.*, 1996). Historicamente a degradação ambiental precede a capacidade de organização das sociedades de fronteira, resultando numa espoliação dos recursos naturais e apropriação dos ganhos por uma minoria antes que o crescimento de seu capital social e de sua capacidade de governança consiga reverter esse processo. Esse era curso em voga da história recente da ocupação da Amazônia. Contudo, no último biênio (2005 e 2006), uma tênue luz se ascendeu nas lonjuras do fatídico túnel do destino da Amazônia, quando presenciamos uma forte queda nas elevadas taxas de desmatamento. Suas causas ainda são motivo de discussão, sendo em geral reconhecidas como a conjunção de dois fatores: 1) quebra nas safras de soja devido à apreciação do Real e queda do seu preço internacional, com conseqüente impacto nos investimentos agrícolas, incluindo não só a soja mas também a pecuária, e resultante diminuição da abertura de novas áreas; e 2) aumento do combate do Estado ao desmatamento e exploração madeireira ilegais, com a detonação de várias campanhas de campo em áreas de conflito, operações de devassa em redes de corrupção (*e.g.*, operação

curupira), aumento do contingente permanente de campo do Ibama e a colocação em prática do ordenamento territorial com a implantação do distrito florestal ao longo da BR-163 no Pará, bloqueio administrativo das terras ao longo da BR-319 e a criação de unidades de conservação ao largo de fronteiras ativas, resultando na designação de mais de 24 milhões de hectares como áreas protegidas (Figura 1). Nesse aspecto, destaca-se o papel de movimentos sociais que apoiaram a criação de unidades de conservação ao longo da Transamazônica (Campos & Nepstad, 2006).

[Figura 1]

Mas se por um lado crescem as iniciativas de conservação através da expansão da rede de áreas protegidas e investimento na sua implementação – vide ARPA (Montiel, 2004), ampliação das atividades de fiscalização ambiental – como os projetos de monitoramento de desmatamento (INPE, 2007a, b), e da exploração madeireira (Souza Júnior, 2007), licenciamento ambiental (FEMA, 2002), programas estaduais e regionais de ordenamento territorial (SECTMA, 2000, Embrapa, 2007), exercícios de planejamento ambiental participativo (Alencar *et al.*, 2004), mais uma série de medidas em curso para valoração e uso sustentável da floresta, quer seja pela exploração madeireira de baixo impacto em concessões florestais ou extração de produtos vegetais (*e.g.*, látex, castanha, açaí etc.), como também para incentivar proprietários de terra a conservarem suas florestas privadas através da criação e expansão de mercados para produtos com certificação ambiental (Nepstad *et al.*, 2006), por outro lado, avultam-se as forças de oposição dirigidas

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

por pressões desenvolvimentistas e pela expansão de mercados nacional e internacional para produtos agrícolas.

É esse cenário de embate que o modelo apresentado a seguir busca incorporar através da modelagem do efeito das principais forças subjacentes ao desmatamento – expansão da pecuária e agricultura impulsionada por mercados globais, movimentos migratórios, pavimentação de estradas regionais previstas por políticas públicas desenvolvimentistas (PAC – Programa de Aceleração do Crescimento, <http://www.planejamento.gov.br/>) e de integração continental através da bacia Amazônica (IIRSA – Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Suramericana, <http://www.iirsa.org>) – em contraposição aos resultados esperados pelas metas de conservação.

Desenho do modelo de simulação

A possibilidade de análise do desmatamento em relação ao seu contexto socioeconômico e demográfico regional é sem par para a Amazônia Brasileira devido à disponibilidade de mapas anuais de desmatamento, obtidos praticamente de modo contínuo através do território amazônico pelo projeto Prodes (INPE, 2007a) e também pela vasta base de dados socioeconômicos, a nível municipal ou mesmo por setores censitários, disponibilizados pelos vários censos do IBGE e por outras pesquisas municipais.

Foi essa a estratégia adotada pelo presente trabalho tendo em vista que o modelo em questão abarca toda a Amazônia Brasileira. Assim, se buscou estabelecer o potencial de desmatamento dado uma determinada conjuntura socioeconômica e demográfica. Essa técnica consiste, portanto, em obter medidas de um conjunto de variáveis que dêem alguma indicação do comportamento da variável dependente, no caso o desmatamento, através do

futuro próximo. Nesse caso, o que se busca é, além de quantificar as relações históricas, obter indicação da trajetória do desmatamento em função de conjunturas socioeconômicas, políticas e demográficas.

No entanto, isto não é trivial. Dada a complexa natureza de inter-relacionamentos, torna-se difícil distinguir efeito de causa, como também obter medidas quantitativas desses relacionamentos em um tempo t que possam ser explicadas pelo nosso conhecimento, como também validadas, não somente por índices estatísticos de significância do teste de ajuste do modelo, mas também através da projeção da variável dependente através do tempo.

Análise de regressão

Dois são as abordagens preferenciais para se modelar fenômenos de mudanças: a primeira consiste em especificar variáveis e estabelecer seu equacionamento com base no nosso entendimento sobre as forças motoras das mudanças – modelo dirigido ao conhecimento. Já a segunda se constrói usando-se relações obtidas a partir da análise de dados empíricos – modelo dirigido aos dados. Como a primeira abordagem necessita de métodos heurísticos de otimização para sua calibração, adotou-se neste trabalho a segunda, por meio de regressão econométrica como base ao modelo de projeção de desmatamento. Para tanto, foi selecionado um conjunto de variáveis explanatórias obtidas nos anos de 1996, 2000 e 2001 (Tabela 1) para serem confrontadas aos dados do Prodes, integrados ao nível municipal, para os anos de 1997 e 2001. Dois modelos foram propostos, primeiro um que identifica a fração da floresta original desmatada até 2001 e a relaciona a estoques de variáveis socioeconômicas em 1996 e um segundo que relaciona o incremento dessa fração no período 1997-2001 com as taxas de variação do contexto socioeconômico e demográfico

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

ao longo do período em questão. Isto teve como objetivo excluir possíveis dependências endógenas entre as variáveis independentes e o desmatamento do tipo causa e efeito. Por exemplo, ocorre mais gado porque foi mais desmatado ou é mais desmatado porque ocorre mais gado. Também houve uma preocupação em normalizar tanto as variáveis estoques (*e.g.*, população rural, cabeça de gado) quanto as taxas brutas (crescimento absoluto da população, incremento do rebanho bovino) pela área municipal, haja vista a ampla heterogeneidade dos territórios dos municípios amazônicos.

[Tabela 1]

O primeiro modelo teve como variável dependente a porcentagem de área da floresta original por município desmatada até 2001; o segundo, o incremento entre 1997 e 2001 dessa porcentagem. Dos 792 municípios amazônicos, incluindo aí a totalidade dos municípios do Maranhão, foram utilizados dados de 630, porquanto os demais se encontram fora do Bioma da Floresta Equatorial Amazônica. No caso do segundo modelo, optou-se por incluir apenas os municípios com incremento de desmatamento entre 1997 e 2001 maior do que zero, a fim de se evitar falhas amostrais nos dados do Prodes devido à cobertura de nuvens, o que resultou em apenas 399 municípios.

Como um primeiro passo, foram desenvolvidos modelos lineares clássicos, seus resíduos foram analisados para se encontrar possíveis *outliers*, e com isso estimar novos modelos com controle heteroscedástico. Depois foi examinada a presença de autocorrelação espacial nos modelos lineares ajustados até então, através de testes estatísticos específicos;

como houve confirmação da autocorrelação⁸, partiu-se para o emprego de modelos de regressão por defasagem espacial, os quais incorporam o efeito dos dados de municípios vizinhos na estimativa da variável dependente (Anselin, 2002).

Breve descrição da regressão por defasagem espacial

A dependência espacial é a situação em que os valores da variável dependente do modelo de regressão ou seus termos de erro, em uma dada localidade, estão correlacionados com os valores de outras localidades. Há vários testes para a confirmação do diagnóstico de dependência espacial, a citar: Moran's I (erro); Lagrange Multiplier (erro); Robust LM (erro); Lagrange Multiplier (defasagem); Robust LM (defasagem); Lagrange Multiplier (erro e defasagem) (Anselin, 1992). Caso dois ou mais desses testes apontem para autocorrelação, recomenda-se o uso de regressão por defasagem espacial (*lag spatial regression*) no lugar da regressão linear clássica. A equação que descreve o modelo de defasagem espacial está representada a seguir:

$$y = \rho W y + X \beta + \varepsilon \quad (\text{eq. 1}),$$

onde ρ é o coeficiente espacial auto-regressivo, W é a matriz de pesos espaciais, y é a variável dependente, X é uma matriz com observações de co-variáveis, β é o vetor dos coeficientes de regressão e ε é um termo de erro aleatório.

A matriz de pesos espaciais, W , pode ser entendida como a representação da maneira que um dado fenômeno interage espacialmente. Em uma matriz binária, por exemplo, a unidade i é vizinha da unidade j se a célula a_{ij} da matriz de pesos espaciais apresentar valor

⁸ A autocorrelação espacial cria um viés na estimativa de variância dos coeficientes nas regressões lineares clássicas, portanto essa técnica é desaconselhada para dados geográficos.

1. Quando se normaliza a matriz, a soma de cada uma de suas linhas se torna igual a 1. A escolha do tipo de matriz de peso depende da estrutura espacial do fenômeno que se está investigando. Em geral, escolhe-se uma matriz do tipo vizinhança de primeira ordem quando se espera que a estrutura espacial do fenômeno esteja circunscrita a uma determinada localidade e aos seus vizinhos imediatos. Neste trabalho, foi essa a solução escolhida, considerando-a como mais adequada para representar a heterogeneidade do espaço geográfico amazônico e a territorialidade do processo do desmatamento.

Da forma que está representada a equação 1, o termo de defasagem espacial atua apenas sobre a variável dependente y , mas uma análise mais detalhada mostra que não é bem assim. A forma expandida dessa equação (eq. 2) demonstra que esse termo atua tanto sobre a variável dependente quanto nos efeitos aleatórios, ou seja, nos resíduos (Anselin, 2002).

$$y = (I - \rho W)^{-1} X\beta + (I - \rho W)^{-1} \varepsilon \quad (\text{eq. 2})$$

Logo, o segundo efeito de autocorrelação espacial em um modelo de regressão está relacionado com os termos de erro. Nesse caso, eles são conhecidos como erro espacial. Esta dependência espacial pode ser expressa por meios de modelos espaciais para os termos de erro, sejam eles auto-regressivos ou de médias móveis. Um modelo auto-regressivo pode ser descrito como:

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (\text{eq. 3})$$

$$\varepsilon = \lambda W\varepsilon + \xi \quad (\text{eq. 4}),$$

onde $W\varepsilon$ é a matriz de defasagem espacial dos termos de erros, λ é o coeficiente de auto-regressão e ξ é o termo de erro não-enviesado.

O cálculo de uma regressão espacial, cuja variável dependente apresenta forte autocorrelação, pode ser efetuado de duas formas diferentes. A primeira solução para a

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

regressão por defasagem espacial utiliza variáveis instrumentais, com o emprego do método dos mínimos quadrados ordinários em dois estágios (2SLS). A segunda baseia-se na maximização da função de verossimilhança (ML), sob o pressuposto de distribuição normal. A primeira técnica possui a vantagem de flexibilizar o pressuposto de normalidade da distribuição dos resíduos, contudo apresenta, como único parâmetro de indicação de ajuste, a estatística R^2 , também utilizada pelos métodos clássicos, sendo, por isso, o parâmetro de comparação. Já a regressão por defasagem espacial que usa a técnica ML fornece um número maior de parâmetros de indicação de ajuste – log da máxima verossimilhança e pseudo R^2 –, embora esteja sujeita a viés de estimação, no caso dos dados fugirem da distribuição normal. A fim de se obter uma maior segurança no ajuste dos modelos de desmatamento, bem como uma maior comparabilidade entre os resultados das regressões lineares clássicas e por defasagem espacial, optou-se por aplicar ambas as técnicas de estimação nas regressões por defasagem espacial. Como a literatura indica que o método 2SLS é mais robusto do que o ML, uma vez obtidos bons resultados com o primeiro, haverá uma tendência de se conseguir melhores ajustes com o segundo (Anselin, 1992).

Estratégia de construção dos modelos

O primeiro passo na construção dos modelos foi realizar a análise exploratória das variáveis selecionadas (Tabela 1) por meio da aplicação de regressão linear *stepwise*. A fim de se obter uma seleção mais fina das variáveis explicativas, essas foram transformadas matematicamente visando encontrar a melhor função não linear, de dois parâmetros, capaz de produzir o melhor ajuste das variáveis independentes às variáveis dependentes. Ou seja,

encontrar o melhor procedimento matemático de suavização das variáveis independentes⁹.

Note pelos dados da Tabela 2 que há um substancial aumento do índice de correlação após a transformação matemática porquanto muitas dessas relações não são lineares. Embora essa transformação não seja necessária, ela possibilitou aumentar o desempenho do processo *stepwise*, resultando em modelos com menor número de variáveis. Não obstante, optou-se após o processo de seleção *stepwise* a usar as variáveis sem transformação matemática para facilitar a legibilidade do modelo, tendo em vista que em alguns casos os sinais dos coeficientes da regressão se alteram após a transformação.

[Tabela 2]

Além dos parâmetros estatísticos de ajuste dos modelos e teste de significância dos coeficientes de regressão, é importante salientar que para o modelo se tornar útil ele deve possuir também simplicidade e, sobretudo, ser consoante ao nosso conhecimento sobre o fenômeno em questão. Por isso foram utilizados critérios *ad hoc* de inclusão e exclusão de variáveis à solução da análise *stepwise*, adotando-se como critério de interrupção uma perda maior do que 5% do R^2 do modelo *stepwise* original. Após a seleção final das variáveis componentes das regressões, essas passaram então pela análise de resíduos, controle heteroscedástico, teste de dependência espacial dos resíduos e conseqüente desenvolvimento das regressões por defasagem espacial¹⁰.

⁹ Para isso foi utilizado o pacote LAB Fit Ajuste de Curvas (Silva & Silva, 2003).

¹⁰ Para o desenvolvimento das regressões por defasagem espacial foi utilizado o software SpaceStat. Uma nova versão, chamada Geoda, se encontra atualmente disponível em <https://www.geoda.uiuc.edu/>.

Resultados dos modelos de regressão

Com base nos procedimentos estatísticos e conhecimento sobre os processos de desmatamento, pôde-se selecionar, do conjunto inicial de variáveis, aquelas com maior poder explicativo, quer seja do ponto de vista do percentual da floresta original desmatado até 2001 ou do incremento desse percentual entre 1997 e 2001 (Tabelas 3 e 4).

[Tabela 3]

[Tabela 4]

Quanto à estatística dos modelos, o primeiro, composto de seis variáveis, mostrou-se bem identificado, sendo capaz de prever, aproximadamente 55% da variância total do erro aleatório ε . Com a introdução das variáveis de identificação dos *outliers*, foi considerável o aumento do valor de R^2 , que passou para 0,69, e houve uma melhora sensível nos níveis de significância dos coeficientes de todas suas variáveis. Tal como o primeiro, o segundo, com cinco variáveis, inicia-se com R^2 de 0,22, chegando a 0,54 com a introdução do controle de heteroscedasticidade. As Tabelas 5 e 6 resumem as informações sobre o ajuste obtido para cada um dos dois modelos.

[Tabela 5]

[Tabela 6]

Já os resultados dos testes de dependência espacial para os dois modelos em questão são mostrados na Tabela 7. Esses apontam para a presença de dois efeitos, ou seja, há tanto

uma dependência espacial da variável modelada, isto é o percentual da floresta original desmatado até 2001 e incremento desse percentual entre 1997 e 2001, como também uma dependência espacial nos resíduos dos modelos. Como já comentado, adotou-se como solução para o efeito de auto-correlação a regressão por defasagem espacial.

[Tabela 7]

A Tabela 5 mostra as informações referentes ao modelo por defasagem espacial do percentual da floresta original desmatado até 2001, ajustado através do método por variáveis instrumentais (2SLS) e do método de máxima verossimilhança (MV). O modelo mostrou-se bem identificado, com um elevado índice de correlação linear, da ordem de 0.92, sugerindo que o modelo está explicando aproximadamente 84% da variância total do erro aleatório. A comparação desses resultados com os da regressão linear clássica revela que houve elevação do valor de R^2 , ou seja, passou de 0,55 para 0,84. O modelo espacial também apresentou melhora nos níveis de significância dos coeficientes de todas as outras variáveis do modelo. O alto nível de significância do coeficiente de correlação espacial (ρ) sugere a confirmação de auto-correlação da variável dependente. O mesmo pode ser dito em relação ao modelo ajustado pelo método de máxima verossimilhança. Esse também se mostrou bem identificado e com um elevado índice de correlação linear, da ordem de 0,93, indicando que o modelo está explicando 86% da variância total do erro aleatório ε . A comparação desses resultados com os da modelagem 2SLS desse mesmo modelo revela que houve uma discreta elevação do valor de R^2 , ou seja, passou de 0,85 para 0,86. O alto nível

de significância do coeficiente de correlação espacial (ρ) também sugere a confirmação de auto-correlação da variável dependente.

A Tabela 6 traz os resultados da regressão espacial do incremento do percentual da floresta original desmatado entre 1997 e 2001. Na comparação dos dados dessa tabela, pode-se observar que o valor de R^2 passa de 0,54 para 0,64. A regressão espacial trouxe também uma melhora sensível nos níveis de significância dos coeficientes das variáveis do modelo, principalmente no da constante. O modelo ajustado por máxima verossimilhança também se mostrou bem identificado e com um elevado índice de correlação linear (0,80), indicando que o modelo está explicando 64% da variância total do erro aleatório ε .

Em síntese, os modelos lineares clássicos, após o controle dos *outliers*, apresentaram elevados índices de ajuste e alto grau de significância dos parâmetros estimados. A introdução dos procedimentos de regressão por defasagem espacial demonstrou que houve claramente uma progressão das estatísticas indicadoras do grau de ajuste, culminando na modelagem da defasagem espacial através do método da máxima verossimilhança (Tabela 8).

[Tabela 8]

Quanto ao modelo de percentual da floresta original desmatado até 2001, as variáveis *distância média a estradas pavimentadas*, *fração de área protegida* e *taxa líquida migratória* exercem um efeito negativo, enquanto *estoques de cabeça de gado por km²*, *porcentagem de área agrícola*¹¹ e *densidade populacional rural ajustada pelo índice de*

¹¹ Essa variável inclui ambas estimativas de áreas plantadas e colhidas por município.

concentração fundiária exercem efeito positivo. Já para o modelo de incremento, efeito positivo é atribuído ao incremento do rebanho bovino, expansão das áreas agrícolas e taxas líquidas migratórias, enquanto *distância média a estradas pavimentadas* e *fração de área protegida* exercem efeito negativo. Notável é a inversão do efeito das taxas líquidas migratórias do modelo de porcentagem de área desmatada para o de incremento, o que se explica pela reversão dos fluxos migratórios à medida que a fronteira de desmatamento se consolida.

Validação do modelo de projeção do desmatamento

Para fins de projeção do desmatamento, foi empregado apenas o modelo de incremento de desmatamento. Embora suas estatísticas de ajuste sejam mais baixas, esse modelo responde mais rapidamente às variações no contexto socioeconômico, porquanto modela taxas e não estoque¹², sendo também por isso mais isento sob o ponto visto de causa-efeito. Assim, as taxas brutas de desmatamento respondem rapidamente às taxas brutas de crescimento do rebanho municipal, de expansão das áreas agrícolas e às taxas líquidas de migração, além de serem influenciadas pelo efeito da proximidade de estradas asfaltadas e pela fração de área protegida. Para efeito de suavização dos erros do modelo, optou-se por agregar as projeções municipais por sub-regiões, adotando-se a regionalização proposta por Garcia *et al.* (2007). A Figura 2c mostra essas sub-regiões em conjunto com os erros relativos associados à projeção do incremento de desmatamento entre 1997-2001. Observe-se que há uma tendência do modelo em superestimar o desmatamento em regiões situadas à frente ao arco de desmatamento, como o estado do Amazonas, oeste do Acre,

¹² Há de se considerar uma histerese entre o nível de pressão antrópica, dada pelo contexto socioeconômico, e o aumento das áreas desmatadas, enquanto que a resposta das taxas tende a ser imediata.

Amapá e Roraima, muito embora a territorialidade do desmatamento esteja bem representada pelos resultados da regressão (Figura 2a e 2b). Já quando se integra os dados da projeção para a Amazônia como um todo, a taxa bruta anual média projetada para o período 1997-2001 praticamente coincide com a medida pelo Prodes, ou seja, 18,967 km²/ano contra 18,904 km²/ano resultantes do modelo.

[Figura 2]

Tratando-se de um modelo dirigido aos dados, é aconselhável validá-lo usando-se de um conjunto de dados não empregados no processo de calibração; como o modelo em questão utiliza uma série temporal, a melhor solução de validação consiste em avaliar o ajuste do modelo para período de tempo adiante do de calibração. Para tanto, o modelo é rodado anualmente de 2002 a 2006, tomando partido das séries anuais de desmatamento do Prodes e das séries anuais da PPM (Pesquisa Pecuária Municipal) e da PAM (Pesquisa Agrícola Municipal) disponibilizadas pelo IBGE.

Para esse propósito, algumas adaptações no modelo de regressão se fazem necessárias. Primeiro, o termo $\rho W y$ – (eq. 1) passa agora a ser calculado de maneira iterativa, ou seja, por meio do cálculo das médias móveis da resposta y dos municípios vizinhos. Segundo, como as projeções abrangem intervalo de 4 anos (1997-2001) e agora são utilizados incrementos anuais do rebanho municipal e de expansão das áreas agrícolas, torna-se necessária realizar projeção das variáveis independentes para quatro anos à frente, usando-se de taxas fixas e a divisão da taxa bruta resultante por 4. Nessas condições, o modelo no processo de validação deverá responder prontamente às variações de

crescimento do rebanho bovino e expansão da atividade agrícola observada no período (Figuras 3 e 4), como também é de se esperar que ele reaja à grande expansão de áreas protegidas levada a cabo entre 2005 e 2006. Com essa perspectiva, a fração de áreas protegidas por município, obtida originalmente usando-se a rede de áreas protegidas em 2001, é atualizada para os anos de 2005 e 2006 e utilizada na projeção do desmatamento para esses anos. Por fim, as outras duas variáveis: proximidade às estradas asfaltadas e taxa líquida migratória são mantidas constantes, considerando que não houve significativa expansão de estradas asfaltadas na Amazônia nesse intervalo de tempo e que o cenário de migração intraregional atual pouco difere do observado no período 1995-2000.

[Figura 3]

[Figura 4]

Como se pode observar nas Figuras 3 e 4, tanto o rebanho bovino quanto as áreas agrícolas da Amazônia vinham se expandindo a taxas crescentes até 2005, quando ocorreu a quebra de produção de soja e conseqüente arrefecimento de outras atividades agrícolas, notadamente a pecuária. Como os dados de 2006 ainda não estavam disponíveis, empregaram-se as mesmas taxas de 2005 para 2006 tendo em vista a tendência de mercado observada. Já as áreas protegidas¹³ crescem de 25% em 2001, para 29% em 2005, a 38% em 2006 de um total de 5,1 milhões de km² equivalente aos 792 municípios analisados.

Os resultados da validação do modelo para os anos de 2002 a 2006 demonstram seu ajuste em relação à trajetória do desmatamento no período, apontando para um desvio

¹³ São excluídas desse número as áreas designadas como APA devido à frouxidão dessa definição.

máximo de 10% entre o projetado e o observado (Figura 5). Observe que o projetado não só acompanha a forte subida das taxas de desmatamento entre 2001 a 2004, como também espelha bem sua queda em 2005 e 2006. Nesse último aspecto é interessante salientar que a variação nos resultados da modelagem é em geral menor do que a da realidade, posto que essa é sempre mais complexa que a estruturação do modelo.

[Figura 5]

Modelagem de cenários

Como discutido anteriormente, a futura trajetória do desmatamento na Amazônia será produto do embate entre as forças de conservação e as de apropriação da floresta. Como ambas mostram trajetórias crescentes, esse embate se torna inexoravelmente mais vigoroso. Logo, a dominância de uma corrente sobre a outra com conseqüentes implicações ambientais resultará da velocidade de implementação de políticas públicas e estratégias de conservação, que sejam de fato efetivas, frente às taxas de expansão dos mercados agrícolas e de investimentos em infra-estrutura regional. Com efeito, a ampla gama de iniciativas de conservação, incluindo tanto estratégias para as áreas protegidas quanto para propriedades privadas precisam não somente ser incrementadas em sua efetividade, mas também multiplicadas a fim de se alcançar uma meta de conservação extensiva que contemple a manutenção de um arranjo funcional de remanescentes florestais através das principais bacias hidrográficas e ecorregiões amazônicas. É com essa perspectiva que são desenhados dois cenários para a projeção do desmatamento e análise de seu impacto futuro.

De um lado, desponta-se um cenário pessimista, no qual a expansão da pecuária e da agricultura na Amazônia continuará acelerada, sobretudo, a custo da conversão da floresta; fluxos migratórios regionais continuarão altos adentro e além da fronteira de desmatamento; rodovias regionais, como BR-163, 319 e 230, além de outras, serão asfaltadas no futuro próximo, resultando numa expansão de 14.000 km da rede de estradas pavimentadas até 2027; a rede de áreas protegidas terá sua expansão estagnada, podendo mesmo retroceder a custa de invasões, e a inobservância do código florestal continuará prevalecendo como senso comum (Tabela 9). Em um outro extremo, vislumbra-se um cenário otimista, no qual a expansão da pecuária e da agricultura na Amazônia ocorrerá de modo moderado; fluxos migratórios intra-regionais cessarão; o asfaltamento de rodovias regionais será, em alguns casos, substituído por meio de transporte alternativo, como hidrovias e ferrovias; haverá ainda uma expansão da rede de áreas protegidas dos atuais 38% para algo em torno de 46% – como previsto pelo projeto ARPA –, em conjunto com a sua consolidação e, por fim, o código florestal passará de fato a ser respeitado, resultando em pelo menos 50% da área municipal em cobertura florestal¹⁴, excluindo-se daí a fração ocupada pelas áreas protegidas. Note que o modelo não incorpora as ações que devem ser tomadas para que essa suposição se materialize, devido à impossibilidade de se quantificar os seus papéis relativos, mas sim os seus resultados esperados, como representados pelo aumento da fração total de área protegida por município – variável de entrada do modelo.

[Tabela 9]

¹⁴ Embora o código florestal atual estabeleça a manutenção de 80% de cobertura florestal em propriedade privada no bioma da floresta amazônica, assume-se 50% tendo em vista que em muitos municípios o desmatamento já excedeu 20% de suas áreas.

Em relação à plausibilidade, ambos os cenários são defensáveis, quer seja por naturais oscilações dos mercados agrícolas, pela implementação ou não de políticas desenvolvimentistas amplamente anunciadas (*e.g.*, PAC – Programa de Aceleração do Crescimento), pela recente expansão da rede de áreas protegidas e mesmo pelo possível sucesso de propostas inovadoras de conservação, como o pagamento pelo serviço ambiental da floresta, sobretudo se consideramos o potencial de remuneração a ser aportado pelo emergente mercado de créditos de carbono devido ao desmatamento reduzido (Santilli *et al.*, 2005).

Além dos dois cenários extremos, são apresentados 14 casos intermediários, alterando-se as taxas de expansão da agricultura e pecuária, tempo de maturação de políticas de conservação, pavimentação ou não de estradas e mesmo a cessão dos movimentos migratórios. Com isso pretende-se analisar o efeito da taxa de incremento da efetividade de ações de conservação na trajetória do desmatamento até 2030 frente a cenários de expansão moderada e acelerada da atividade agropecuária (vide Tabela 9). O modelo, implementado na plataforma Dinamica.EGO (Rodrigues *et al.*, 2007), é então rodado em passo anual, aplicando-se as taxas médias de variação estabelecidas na configuração de cada cenário sobre os dados da base municipal. Em alguns elementos do modelo, como as taxas de crescimento do rebanho bovino e da agricultura por município e mesmo os coeficientes da regressão, adotam-se componentes aleatórios com o intuito de se introduzir estocasticidade. Portanto, os resultados apresentados a seguir referem-se a trajetórias médias (10 rodadas) obtidas para cada um dos cenários analisados. As taxas de desmatamento municipais produzidas pela projeção são então agregadas para cada uma das

39 sub-regiões e passadas para um modelo espacialmente explícito descrito em Soares-Filho *et al.* (2006).

Trajetórias modeladas

As Figuras 6 e 7 apresentam os resultados dos cenários modelados tanto em termos das taxas brutas anuais quanto ao acumulado durante os 24 passos anuais de 2007 a 2030. O pior caso foi obtido a partir do cenário pessimista, especificando taxas médias anuais de crescimento da agricultura e do rebanho bovino, respectivamente, de 8% e 5%¹⁵. Nesse cenário, a expansão da agricultura segue o ritmo acelerado do início dessa década, quando as taxas anuais se situavam acima de 10%, todavia a um ritmo menor do que a expansão recente do rebanho bovino. Embora ambas as trajetórias de expansão sejam assintóticas, com taxas declinantes, em função do esgotamento das áreas municipais, seus números são extremos indicando uma expansão do rebanho bovino dos atuais 76 milhões para mais de 210 milhões em 2030, enquanto as áreas agrícolas crescem dos atuais 80 mil km² para algo próximo de 450 mil km²¹⁶. Esse ritmo de expansão da agropecuária em um cenário no qual não há expansão das redes protegidas, a lei florestal continua largamente desrespeitada, fluxos migratórios inter-regionais continuam altos, estimulados pela pavimentação extensiva de estradas, poderá levar até 2030 a uma perda de cerca de 670 mil km² de cobertura florestal, ou seja, cerca de 21% dos atuais 3,2 milhões de km². Esses resultados são ainda mais alarmantes quando se analisa a fragmentação florestal resultante do padrão espacial do desmatamento (Figura 8a) e seus efeitos associados, tais como a alteração da

¹⁵ No caso específico, as taxas de expansão são consideradas variáveis exógenas, não estando ligadas a nenhum modelo de demanda, como no exemplo de modelos de equilíbrio econômico.

¹⁶ Esse número não implica em uma relação 1 para 1 com o desmatamento da floresta amazônica pois grande parte dessas áreas se encontra no bioma cerrado.

composição da vegetação das áreas de borda, aumento da flamabilidade da floresta (Nepstad *et al.*, 1999), impacto na sua biodiversidade e a perda de outros serviços ambientais (Fearnside, 1997). Isso pode ser ilustrado pela agregação de uma zona de amortecimento de 2 km de largura às áreas desmatadas, o que resulta numa área impactada de floresta com cerca de 600.000 km². Sob a trajetória desse cenário, o leste e o sul da Amazônia, especialmente o estado do Mato Grosso e leste do Pará, e outras faixas marginais às principais rodovias pavimentadas serão as regiões mais impactadas, implicando inclusive no avanço do desmatamento adentro de algumas áreas protegidas, situadas imediatamente ao largo das principais frentes de desmatamento (Figura 8a).

[Figura 6]

[Figura 7]

Os outros cenários derivados do caso pessimista servem para analisar o efeito individual dos pressupostos estabelecidos (Tabela 9). Por exemplo, taxas anuais de expansão tanto da agricultura como do rebanho bovino acima de 5% tendem a posicionar o desmatamento anual sobre o patamar de 20 mil km²ano⁻¹. Nessas condições, pode se dizer que o crescimento da agricultura pressiona mais as taxas de desmatamento do que a expansão do rebanho bovino. Ainda a esse respeito, observa-se que tanto o efeito da pavimentação quanto o da cessão das taxas migratórias altera pouco a trajetória do desmatamento quando as taxas de crescimento da agropecuária situam-se ao redor de 5%, indicando serem essas as variáveis, dentro de um contexto pessimista, os maiores determinantes do desmatamento.

Em oposição, a mais branda trajetória do desmatamento é observada sob o cenário otimista, o qual considera que haverá expansão das áreas protegidas, o código florestal passará a ser observado, o asfaltamento será restrito a apenas algumas estradas e cessarão os movimentos migratórios intra-regionais (Figura 8b). Sob esse quadro, a expansão da agropecuária se dá de modo moderado, chegando o rebanho bovino em 2030 a possuir em torno de 120 milhões de cabeças e a agricultura a ocupar uma área ao redor de 125 mil km². Sob esse caso, o total acumulado de desmatamento após 24 anos estaria em torno de 150 mil km², perfazendo uma diferença de 520 mil km² em relação à trajetória do pior cenário.

[Figura 8]

Como demonstrado pelas trajetórias dos casos derivados do cenário otimista, o mais importante nesse contexto é que as medidas de conservação sejam tomadas a uma razoável extensão e velocidade para fazerem frente às forças de oposição à floresta. Nessa perspectiva, observa-se que simplesmente adiando o alcance da meta de expansão das áreas protegidas e plenitude da observância do código florestal de 2015 para 2030 faz com que a trajetória do cenário otimista se aproxime do pessimista quando a taxa anual de expansão da agropecuária situar-se em média acima de 5%. Ainda, no contexto do cenário otimista, as outras variantes servem para demonstrar que as variáveis *migração* e *expansão da pavimentação de estradas* possuem pouca influência na trajetória do desmatamento, considerando um quadro no qual as medidas de conservação e observância da lei são preponderantes.

Por fim, o papel relativo dessas últimas medidas pode ser avaliado excluindo-as uma a uma do cenário otimista. Por exemplo, somente a expansão da rede de áreas protegidas, sob os pressupostos de um cenário otimista, resulta numa redução de 50 mil km² no desmatamento futuro, já a inclusão da observância do código florestal acrescenta sobre essa última uma redução de 150 mil km², praticamente triplicando a eficácia dos esforços de conservação. Por outro lado, o ganho de redução somente pela expansão das áreas protegidas poderia ser totalmente anulado, caso a taxa anual de expansão da atividade agropecuária ultrapasse a média de 5%.

Implicações do estudo

Além de toda a perda, hoje ainda incalculável, no estoque de biodiversidade dos ecossistemas amazônicos, o impacto da prevalência de um cenário pessimista seria enorme, fazendo-se sentir tanto a nível regional quanto global. Nesse contexto, a continuidade do ritmo acelerado do desmatamento pode implicar em mudanças dos padrões climáticos regionais com a diminuição das chuvas sobre extensões da Amazônia, quer seja pela redução ou mesmo interrupção das células de ciclagem da umidade da atmosfera pela floresta (Ramos da Silva *et al.*, no prelo), ou pelo efeito da fumaça das queimadas na inibição da formação de nuvens (Freitas *et al.*, 2006). Ainda, a vasta remoção de áreas de florestas, sobretudo nas cabeceiras das principais bacias hidrográficas da Amazônia, terá um profundo impacto no regime fluvial desses rios, aumentando os picos de cheia e vazão, bem como sua carga de sedimentos (Costa *et al.*, 2003). Esses são apenas dois exemplos sobre como o desmatamento extensivo pode produzir uma retroalimentação negativa nos projetos de desenvolvimento regionais, impactando tanto a agropecuária, caro motor do

desenvolvimento da região, quanto a geração de energia hidroelétrica, menina dos olhos do PAC amazônico. Quanto aos impactos globais, a trajetória de desmatamento até 2030, sob um extremo cenário pessimista, poderá ejetar na atmosfera do planeta cerca de $11 \pm 2,5$ bilhões de toneladas de carbono somente da atividade direta da conversão da floresta. Emissões de incêndios florestais em áreas contíguas às frentes de desmatamento poderiam agregar mais 1,5 bilhões de toneladas a esse número¹⁷, contribuindo para manter o Brasil no grupo de frente dos países emissores de gases que contribuem para o aquecimento global.

Em contraste, emissões associadas ao cenário otimista se resumiriam a cerca de $2,5 \pm 0,5$ bilhões de toneladas de carbono, resultando em um potencial a ser evitado de 9 ± 2 bilhões de toneladas de carbono até o horizonte de 2030. Essa redução do desmatamento futuro pode significar num aporte substancial em recursos de conservação, caso vigorem as negociações em curso para incluir na futura convenção do clima créditos devido ao desmatamento reduzido (Santilli *et al.*, 2005).

Pelo visto, a sociedade como um todo tem muito a perder caso o desmatamento da Amazônia assuma uma trajetória exacerbada, quer seja do ponto de vista da depleção dos recursos ambientais, ou pelos prejuízos econômicos advindos dos impactos indiretos do desmatamento no clima e regimes fluviais.

Modelos, como o apresentado, trazem uma oportunidade única para se avaliar as implicações de cenários socioeconômicos na trajetória do desmatamento; primeiro, por empregarem relações empíricas traduzidas em expressões quantitativas, substancialmente alimentadas com dados coletados a um alto nível de detalhe espacial e temporal; e também

¹⁷ Estimativa adaptada Mendonça *et al.* (2004).

pela sua própria demonstração e validação, requisitos essenciais a qualquer instrumento de investigação científica.

Em efeito, o modelo passa a ter um importante papel como dispositivo de avaliação da sustentabilidade ambiental e econômica de políticas de desenvolvimento para a região amazônica – especificamente o papel da expansão da atividade agropecuária no ritmo do desmatamento –, bem como da efetividade e premência de estratégias de conservação.

Em relação ao primeiro aspecto, é importante destacar que embora a proximidade com estradas asfaltadas seja a variável mais fortemente correlacionada com o desmatamento, seu efeito é pequeno em um cenário com altas taxas de expansão agropecuária, muito embora seja difícil de imaginar a materialização de um cenário como esse sem investimentos maciços em infra-estrutura. Nessa perspectiva, torna-se preocupante a expansão das culturas dedicadas à produção de biocombustíveis em áreas marginais à floresta, haja vista ser a expansão agrícola o maior determinante da trajetória de desmatamento. Note que nesse caso o modelo incorpora o efeito das mudanças no contexto socioeconômico, tanto em um município específico, como dos seus vizinhos, na sua taxa de desmatamento.

Já a análise das trajetórias dos cenários tidos como otimista demonstra a importância de se conjugar os esforços de conservação focados nas áreas protegidas com aqueles dirigidos às terras privadas a fim de se alcançar uma conservação extensiva das principais ecorregiões e bacias hidrográficas amazônicas. Sob essa luz, o modelo em questão traz um relevante subsídio às discussões sobre ações mitigadoras ao aquecimento global, ao fornecer cenários de referência para o cálculo do potencial de aporte de créditos de carbono, devido ao desmatamento reduzido, como forma de remunerar proprietários pelos

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

seus custos de oportunidade relativos às atividades econômicas abdicadas em prol da conservação.

Por fim, este estudo serve de ponte a outras pesquisas desenvolvidas no âmbito do programa LBA, ligando, por exemplo, os padrões de mudanças do uso e cobertura da terra a modelos de mudanças climáticas e hidrológicas. No entanto, esse caminho apenas se descortina; futuras gerações de modelos de simulação de mudanças ambientais buscarão, além de uma integração em tempo real com outros modelos biofísicos, uma incorporação mais ampla e profunda dos atores do processo de desmatamento e suas intrincadas relações sociais e econômicas presentes em diversas escalas geográficas. Para tanto, faz-se necessário estreitar a colaboração entre os cientistas sociais e os das ciências ambientais em torno de estudos interdisciplinares.

Agradecimentos

Este estudo faz parte do programa LBA, tendo também recebido apoio da Fundação Gordon & Betty Moore e do CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Referências

- ALENCAR, A. 2004. “O Desenvolvimento que Queremos: Ordenamento Territorial da BR-163, Baixo Amazonas, Transamazônica e Xingu”. In: *Relatório do Encontro*. Maio, 29-31. Santarém, IPAM, ISA, FVPP, Fetagri BAM, FORMAD, FVPP, CEFTBAM, Forum BR-163, GTA PA.
- ALMEIDA, C.; BATTY, M.; MONTEIRO, M.; CÂMARA, G.; SOARES-FILHO, B.; CERQUEIRA, G. & PENNACHIN, C. L. 2003. “Stochastic Cellular Automata Modeling of Urban Land Use Dynamics: Empirical Development and Estimation”. *Computers, Environment and Urban Systems*, 27: 481-509.
- ANDERSEN, L. E. & REIS, E. J. 1997. *Deforestation, Development and Government Policy in the Brazilian Amazon: An Econometric Analysis*. (Working Paper 513). Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).
- ANDRADE, T. A. & SERRA, R. V. 1999. “Estimativas para o Produto Interno Bruto dos Municípios Brasileiros: 1975, 1980, 1985 e 1996”. Internet, <http://www.nemesis.org.br/docs/thomp5.pdf>
- ANSELIN, L. 1992. *SpaceStat tutorial*. Urbana-Champaign, University of Illinois.
- _____. 2002. *Spatial Externalities, Spatial Multipliers and Spatial Econometrics*. Urbana-Champaign, University of Illinois.
- BARROW, J. D. 1998. *Impossibility: The Limits of Science and the Science of Limits*. Oxford, University Press.
- BATEMAN, I. J.; LOVETT, A. A.; JULII, E. & BRAINARD, S 2003. *Applied Environmental Economics: A GIS Approach to Cost-Benefit Analysis*. Cambridge, Cambridge University Press.

- SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). *Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação*. São Paulo, 2008, v. 1.
- BECKER, B. K. 2007. "Síntese da Produção Científica em Ciências Humanas na Amazônia: 1990-2002". In: BECKER, B. K.; ALVES, D. S. & DA COSTA, W. M. (eds.). *Dimensões Humanas da Biosfera-Atmosfera da Amazônia*. São Paulo, EDUSP, pp. 13-38.
- BERGER, T. 2001. "Agent-Based Spatial Models Applied to Agriculture: a Simulation Tool for Technology Diffusion, Resource Use Changes and Policy Analysis". *Agricultural Economics*, 25 (2-3): 245-260.
- CALDAS, M.; WALKER, R.; ARIMA, E.; PERZ, S.; ALDRICH, S. & SIMMONS, C. 2007. "Theorizing Land Cover and Land Use Change: The Peasant Economy of Amazonian Deforestation". *Annals of the Association of American Geographers*, 97(1): 86-110.
- CAMPOS, M. & NEPSTAD, D. 2006. "Smallholder Farmers, the Amazon's New Conservationists". *Conservation Biology*, 20(5): 1553-1556.
- CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; MOUTINHO, P. & NEPSTAD, D. 2001. "Sensitive Development Could Protect Amazonia Instead of Destroying it". *Nature*, 409: 131.
- CHRISTOFOLETTI, A. 1999. *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo, Ed. Edgard Blücher. 236 p.
- COSTA, M. H.; BOTTA, A. & CARDILLE, J. A. 2003. "Effects of Large-Scale Changes in Land Cover on the Discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia". *Journal of Hydrology*, 283: 206-217.
- DALE, V. H.; O'NEILL, R. V.; SOUTHWORTH, F. & PEDLOWSKI, M. 1994. "Modeling Effects of Land Management in the Brazilian Amazonian Settlement of Rondônia". *Conservation Biology*, 8(1): 196-206.

- SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). *Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação*. São Paulo, 2008, v. 1.
- MENDONÇA, M. J. C. DE; VERA DIAZ, M. C.; NEPSTAD; D. C., MOTTA, R.; ALENCAR, A.; GOMES, J. C. & ORTIZ, R. A. 2004. "The economic cost of the use of fire in Amazon". *Ecological Economics*, 49: 89-105.
- EASTMAN, J. R. 2003. *Idrisi Kilimanjaro*. Massachusetts, Clark University. 200 p.
- EMBRAPA. 2007. *Zoneamento Ecológico Econômico da Rodovia BR-163*. Internet, <http://zeebr163.cpatu.embrapa.br/index.php>
- FEARNSIDE, P. M. 1985. "Agriculture in Amazonia". In: PRANCE, G. T. & LOVEJOY, T. E. (eds.). *Key Environments of Amazonia*. Oxford, Pergamon Press, pp. 393-418.
- FEARNSIDE, P. M. 1997. "Environmental Services as a Strategy for Sustainable Development in Rural Amazonia". *Ecological Economics*, 20(1): 53-70.
- FEARNSIDE, P. M. 2001. "Land-Tenure Issues as Factors in Environmental Destruction in Brazilian Amazonia: the Case of Southern Pará". *World Development*, 29(8): 1361-1372.
- FEMA (Fundação Estadual do Meio Ambiente). 2002. *Relatório dos resultados alcançados na implementação do sistema de controle ambiental de propriedades rurais no Estado do Mato Grosso*. Cuiabá, FEMA (Governo do estado do Mato Grosso).
- FLAMM, R. O. & TURNER, M. G. 1994. "Alternative Model Formulation for a Stochastic Simulation of Landscape Change". *Landscape Ecology*, 9(1): 37-46.
- FOTHERINGHAM, A. S.; BRUNSDON, C. & CHARLTON, M. E. 2002. *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. Chichester, Wiley.

- SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.
- FREITAS, S. R.; LONGO, K. M. & ANDREAE, M. O. 2006. "Impact of Including the Plume Rise of Vegetation Fires in Numerical Simulations of Associated Atmospheric Pollutants". *Geophysical Research Letters*, 33: L17808. (doi:10.1029/2006GL026608).
- GARCIA, R. A., SOARES-FILHO, B. S. & SWAYER, D. 2007. "Socioeconomic Dimensions, Migration, and Deforestation: an Integrated Model of Territorial Organization for the Brazilian Amazon". *Ecological Indicators*, 7: 719-730.
- GEIST, H. J. & LAMBIN, E. F. 2001. *What Drives Tropical Deforestation? A Meta-Analysis of Proximate and Underlying Causes of Deforestation Based on Subnational Case Study Evidence*. Belgium, Lucc International Project Office, Lucc Report Series, 4. 136pp. Internet, <http://www.geo.ucl.ac.be/Lucc/lucc.html>.
- GILRUTH, P; MARSH, S. E. & ITAMI, R. 1995. "A Dynamic Spatial Model of Shifting Cultivation in the Highlands of Guinea, West Africa". *Ecological Modelling*, 79: 179-197.
- GODOY, M. & SOARES-FILHO, B. S. 2007. "Modelagem da Dinâmica Intra-Urbana no Bairro Savassi, Belo Horizonte, Brasil". In: ALMEIDA, C. M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (eds.). *Geoinformação em Urbanismo: Cidade Real x Cidade Virtual*. Oficina de Textos. São Paulo, 368p.
- HAGEN, A., 2003. "Fuzzy Set Approach to Assessing Similarity of Categorical Maps". *International Journal of Geographical Information Science*, 17(3): 235-249.
- HECHT, S. 1985. "Environment, Development and Politics: Capital Accumulation and Livestock Sector in Eastern Amazonia". *World Development*, 13: 663-684.

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

HECHT, S. & COCKBURN, A. 1990. *The Fate of the Forest. Developers, Destroyers and Defenders of the Amazon*. HarperCollins. 357 p.

HIRSCH, A. I.; LITTLE, W. S.; HOUGHTON, R. A.; SCOTT, N. A. & WHITE, J. D. 2004. "The Net Carbon Flux Due to Deforestation and Forest Re-Growth in the Brazilian Amazon: Analysis Using a Process-Based Model". *Global Change Biology*, 10: 908-924.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; NOBRE, C. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T. & CHOMENTOWSKI, W. H. 2000. "Annual Fluxes of Carbon From Deforestation and Regrowth in the Brazilian Amazon". *Nature*, 403: 301-304.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 1996. *Censo Agropecuário de 1995/1996*. (CD-ROM). Rio de Janeiro, IBGE.

_____. 1996. *Contagem de 1996*. (CD-ROM). Rio de Janeiro, IBGE.

_____. 1997. *Pesquisa Agrícola Municipal*. (CD-ROM). Rio de Janeiro, IBGE.

_____. 1997. *Pesquisa Pecuária Municipal*. (CD-ROM). Rio de Janeiro, IBGE.

_____. 2000. *Censo Demográfico de 2000*. (CD-ROM). Rio de Janeiro, IBGE.

_____. 2001. *Pesquisa Agrícola Municipal*. (CD-ROM). Rio de Janeiro, IBGE.

_____. 2001. *Pesquisa Pecuária Municipal*. (CD-ROM). Rio de Janeiro, IBGE.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2007a. "Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite - Projeto PRODES". Internet, <http://www.obt.inpe.br/prodes>

_____. 2007b. "Sistema DETER (Detecção de Desmatamento em Tempo Real)". Internet, <http://www.obt.inpe.br/deter/>

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

KAIMOWITZ, D.; MERTENS, B.; WUNDER, S. & PACHECO, P. 2004. *Hamburger*

Connection Fuels Amazon Destruction. Bangor, Indonesia, Center for International

Forest

Research.

Internet,

http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf_files/media/Amazon.pdf

LAURANCE, W. F. 1999 “Reflections on Tropical Deforestation Crisis”. *Biological*

Conservation, 91: 109-117.

LAURANCE, W. F.; COCHRANE, M. A.; BERGEN, S.; FEARNESIDE, P. M.;

DELAMÔNICA, P.; BARBER, C.; D'ANGELO, S. & FERNANDES, T. 2001.

“The Future of the Brazilian Amazon”. *Science*, 291: 438-439.

LÉVY, P. 1999. *Cibercultura*. São Paulo, Editora 34. 260 p.

LIVERMAN, D.; MORAN, E. F.; RINDFUSS, R. & Stern, P. (eds.). 1998. *People and*

Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science. Washington, National Academy

Press. 244 p.

MAHAR, D. J. 1988. *Deforestation in Brazil's Amazon Region: Magnitude, Rate and*

Causes. New York, The World Bank.

MANSON, S. M., 2005. “Agent-Based Modeling and Genetic Programming for

Modeling Land Change in the Southern Yucatán Peninsular Region of Mexico”.

Agriculture, Ecosystems and Environment, 111(1): 47-62.

MAS, J. F.; PUIG, H.; PALACIO, J. L. & SOSA-LÓPEZ, A. 2004. “Modelling

Deforestation Using GIS and Artificial Neural Networks”. *Environmental*

Modelling & Software, (19): 461–471.

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

MERRY, F.; SOARES-FILHO, B.; NEPSTAD, D; AMACHER, G. & RODRIGUES, H.

2007. "Paying for Conservation by Logging in the Brazilian Amazon". *PNAS*, (em revisão).

MERTENS, B.; POCCARD-CHAPUIS, R.; PIKETTY, M. G.; LACQUES, A. E. &

VENTURIERI, A. 2002. "Crossing Spatial Analyses and Livestock Economics to Understand Deforestation Processes in the Brazilian Amazon: the Case of São Félix do Xingú in South Pará". *Agricultural Economics*, 27: 269–294.

MONTIEL, F. 2004. *Programa Áreas Protegidas da Amazônia-ARPA. Resumo*

Executivo. Internet, <http://www.mma.gov.br/port/sca/ppg7/doc/arparex.pdf>.

MORAN, E. F. 1993. "Deforestation and Land Use in the Brazilian Amazon." *Human*

Ecology, 21: 1-21.

MORTON, D. C; DEFRIES, R. S.; SHIMABUKURO, Y. E; ANDERSON, L.O.; ARAI,

E; ESPIRITO-SANTO, F; FREITAS, R. & MORISETTE, J. 2006. "Cropland Expansion Changes Deforestation Dynamics in the Southern Brazilian Amazon".

PNAS, 103(39): 14637-14641.

NAVEH, Z. 1991. "Some Remarks on Recent Developments in Landscape Ecology as a

Transdisciplinary Ecological and Geographical Science". *Landscape Ecology*, 5(2): 65-73.

NEPSTAD, D.; VERISSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBRVE,

P.; SCHLESINGER. P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M. & BROOKS, V. 1999. "Large-Scale Impoverishment of

Amazonian Forests by Logging and Fire". *Nature*, 398: 505-508.

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

NEPSTAD, D.; CAPOBIANCO, J. P.; BARROS, A. C.; CARVALHO, G.;

MOUTINHO, P.; LOPES, U. & LEFEBVRE, P. 2000. *Avança Brasil, the Environmental Costs for Amazônia*". Internet,

<http://www.ipam.org.br/avanca/participen.htm>

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J.;

BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P. & SILVA, U. 2001. "Road Paving, Fire Regime Feedbacks, and the Future of Amazon Forests". *Forest Ecology and Management*, 55(24): 1-13.

NEPSTAD, D. C.; STICKLER, C. M. & ALMEIDA, O. T. 2006. "Globalization of the Amazon Soy and Beef Industries: Opportunities for Conservation". *Conservation Biology*, 20(6): 1595-1603.

PARKER, D. C. & MERETSKY, V. 2004. "Measuring Pattern Outcomes in an Agent-Based Model of Edge-Effect Externalities Using Spatial Metrics". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101: 233-250.

PONTIUS, R. G.; CORNELL, J. D. & HALL, C. A. S. 2001. "Modeling the Spatial Pattern of Land-Use Change With GEOMOD2: Application and Validation for Costa Rica". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85: 191-203.

RAMOS DA SILVA, R.; WERTH, D. & AVISSAR, R. "The Future of the Amazon Hydroclimatology". *Journal of Climate*, (no prelo).

RODRIGUES, H.; SOARES-FILHO, B. S. & LELES, W. 2007. "Dinamica EGO, uma Plataforma para Modelagem de Sistemas Ambientais" In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, pp.1-8.

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

SANTILLI, M. P.; MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S.; NEPSTAD, D; CURRAN, L. & NOBRE, C. 2005. Tropical Deforestation and the Kyoto Protocol: an Editorial Essay. *Climatic Change*, 71: 267-276.

SANTOS, M. 1978. *Por uma Geografia Nova: da Crítica da Geografia a uma Geografia Crítica*. São Paulo, Edusp. 288 p.

SAMPAIO, G; NOBRE, C.; COSTA, M. H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO, M. 2007. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, Londres, v. 34, n. doi:10.102, p. 1-7.

SAWYER, D. O. & BELTRÃO, K. I. 1991. “Healthy Households and Child Survival in Brazil”. In: Demographic and Health Surveys World Conference. Washington, August 5–7. IRD/Macro International, Inc., Columbia, pp. 205-221.

SCHMINK, M. & WOOD, C. H. 1992. *Contested Frontiers in Amazonia*. New York, Columbia University Press. 385p.

SCHNEIDER, E. K.; FAN, M; KIRTMAN, B. P. & DIRMEYER, P. 2006. “Potential Effects of Amazon Deforestation on Tropical Climate”. *Cola Technical Report*, 226: 1-41.

SCHOR, T. 2005. *Ciência e Tecnologia: Uma interpretação da Pesquisa na Amazônia – o Caso do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia (LBA)*. São Paulo, Universidade de São Paulo – USP. Ciências Ambientais. (Tese de Doutorado).

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

SECTMA (Secretária de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente). 2000.

“Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre”.

Documento Final (v.1). Rio Branco, Governo do Estado do Acre. 116 p.

SILVA, W. P. & SILVA, C., 2003. *LAB Fit Ajuste de Curvas (Regressão Não-Linear e Tratamento de Dados)* v 7.2.14c. Internet, http://www.angelfire.com/rnb/labfit/index_p.htm

SKOLE, D. L.; CHOMENTOWSKI, W. H.; SALAS, W. A.; NOBRE, A. D. 1994.

“Physical and Human Dimensions of Deforestation in Amazonia”. *BioScience*, 44(5): 314-322.

SOARES-FILHO, B. S.; PENNACHIN, C. L.; CERQUEIRA, G. 2002. “DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier”. *Ecological Modelling*, 154 (3): 217-235.

SOARES-FILHO, B. S.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; CERQUEIRA, G.; VERA-DIAZ, M.; RIVERO, S.; SOLÓRZANO, L. & VOLL, E. 2004. “Simulating the Response of Land-Cover Changes to Road Paving and Governance Along a Major Amazon Highway: The Santarém-Cuiabá Corridor”. *Global Change Biology*, 10(5): 745-764.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D; CURRAN, L.;VOLL, E.; CERQUEIRA, G.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; MCDONALD, A; LEFEBVRE, P. & SCHLESINGER, P. 2006. “Modeling Conservation in the Amazon Basin”. *Nature*, 440: 520-523.

- SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.
- SOUZA JÚNIOR, C. M. 2007. “Avanços do sensoriamento remoto para o monitoramento da exploração madeireira na Amazônia”. In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 6987-6994.
- STERN, D; COMMON, M. & BARBIER, E. 1996. “Economic Growth and Environmental Degradation: the Environmental Kuznets Curve and Sustainable Development”. *World Development*, 24: 1151-1160.
- TOMLIN, C. D. 1990. *Geographic Information Systems and Cartographic Modelling*. New Jersey, Prentice-Hall. 249 p.
- TURNER, M. G. 1998. “A Spatial Simulation Model of Land Use Changes in a Piedmont County in Georgia”. *Applied Mathematics Computer*, 27: 39-51.
- VELDKAMP, A. & FRESCO, L. O. 1996. “CLUE-CR: an Integrated Multi-Scale Model to Simulate Land Use Change Scenarios in Costa Rica”. *Ecological Modelling*, 91: 231-248.
- VENTANA (Ventana Systems, Inc.). 2006. *Vensim Software – Linking Systems Thinking to Powerful Dynamic Models*. Internet, <http://www.vensim.com/software.html>
- VERA-DIAZ, M.; KAUFMANN, R.; NEPSTAD, D. & SCHLESINGER, P. 2007. “An interdisciplinary model of soybean yield in the Amazon Basin: the climatic, edaphic, and economic determinants”. *Ecological Economics* doi:10.1016/j.ecolecon.2007.07.015.
- VERBURG, P. H.; SOEPBOER, W.; VELDKAMP, A.; LIMPIADA, R.; ESPALDON, V. & MASTURA, S. S. 2002. “Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: the CLUE-S Model”. *Environmental Management*, 30: 391–405.

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

- WANG, Y. & ZHANG, X. 2001. "A Dynamic Modeling Approach to Simulating Socioeconomic Effects on Landscape Changes". *Ecological Modelling*, 140: 141-162.
- WERTH, D. & AVISSAR, R. 2002. "The Local and Global Effects of Amazon Deforestation". *J. Geophys. Res.*, 107: 8087 (doi:10.1029/2001JD000717).
- WHITE, R.; ENGELEN, G. & ULJEE, I. 2000. "Modelling Land Use Change with Linked Cellular Automata and Socio-Economic Models: A Tool for Exploring the Impact of Climate Change on the Island of St. Lucia". In: HILL, M. & ASPINALL, R (eds.). *Spatial Information for Land Use Management*. Gordon and Breach, pp. 189-204.
- WILKIE, D. S. & FINN, J. T. 1998. "A Spatial Model of Land Use and Forest Regeneration in the Ituri Forest of Northeastern Zaire". *Ecological Modelling*, 41(3-4): 307-323.

Tabela 1 - Conjunto de variáveis iniciais.

Variáveis	Modelo	Fonte
1 Distância média a rodovias pavimentadas (2004)	1,2	a
2 Atração urbana (2000)	1,2	a
3 Cabeças de gado por Km ² (1997)	1	b
5 Valor da lavoura por Km ² (1997)	1	c
7 Percentual de área agrícola (soma da área plantada e colhida, 1997)	1	c
9 Densidade populacional (1996)	1	d
11 Densidade populacional rural (1996)	1	d
12 População total (1996)	1	d
13 Índice de concentração fundiária (1995/1996)	1	e
14 Densidade populacional rural ajustada pelo índice de concentração fundiária	1	d,e
16 Grau de urbanização (1996)	1	d
17 Índice de concentração demográfica	1	f
18 Índice de desenvolvimento social	1	f
19 Índice de desenvolvimento econômico	1	f
20 Índice de infra-estrutura agrária	1	f
21 Índice de atividade agropecuário e de extração vegetal	1	f
23 Produto interno bruto do setor primário (1996)	1	g
24 Produto Interno bruto do setor secundário (1996)	1	g
25 Produto interno bruto do setor terciário (1996)	1	g
26 Produto interno bruto total (1996)	1	g
27 Percentual de área protegida (2001)	1,2	a
28 Taxa líquida de migração (1995/2000)	1,2	h
29 Saldo migratório (1995/2000)	1,2	h
30 Volume migratório	2	h
31 Incremento de cabeças de gado por Km ² (1997/2001)	2	b,,j
32 Incremento do valor da lavoura por Km ² (1997/2001)	2	c,k
33 Incremento do percentual de área plantada (1997/2001)	2	c,k
34 Incremento da densidade populacional (1996/2000)	2	d,h
35 Incremento da densidade populacional rural (1996/2000)	2	d,h
36 Incremento da densidade populacional rural ajustada pelo índice de concentração fundiária (1996/2000)	2	d,h,c

Modelo: 1 – variável incluída no modelo de fração da floresta original desmatada até 2001 e 2 – variável incluída no modelo de incremento dessa fração no período 1997-2001.

Fonte de dados: ^aSoares-Filho *et al.* (2006); ^bIBGE - Pesquisa Pecuária Municipal, 1997; ^cIBGE - Pesquisa Agrícola Municipal, 1997; ^dIBGE – Contagem de população, 1996; ^eIBGE – Censo Agropecuário de 1995/1996; ^fGarcia *et al.*, 2007; ^gAndrade e Serra, 1999; ^hIBGE –Censo Demográfico de 2000; ⁱIBGE – Pesquisa Pecuária Municipal, 2001; ^kIBGE – Pesquisa Agrícola Municipal, 2001

Tabela 2 - Ajuste matemático em variáveis independentes.

Ajuste Matemático	Nome da Função	Expressão algébrica	Parâmetros		Novo índice de correlação	Índice de correlação anterior
			A	B		
Percentual da floresta original desmatado até 2001						
Distância média à rodovia asfaltada	Potência Modificada	$Y = A*B^{**}X$	0,869	0,982	0,746	-0,553
Cabeças de gado por Km ²	Log Modificada	$Y = A*\ln(X+B)$	0,184	1,215	0,676	0,566
Percentual de área agrícola em 1997 (%)	Inverso da Hipérbole	$Y = X/(A+B*X)$	0,010	1,217	0,563	0,306
Incremento do percentual da floresta original desmatado entre 1997-2001						
Incremento de cabeças de gado por Km ² (1997/2001)	Linear	-	-	-	0,309	0,309
Volume migratório por Km ² (1995/2000)	Raiz	$Y = A*B^{**}(1/X)$	0,060	0,779	0,476	0,235
Taxa líquida de migração (1995/2000)	Linear	-	-	-	0,115	0,115
Fração protegida da área municipal	Inverso da Reta	$Y = 1/(A*X+B)$	93,73	19,99	0,395	-0,266
Incremento do percentual de área agrícola	Linear	-	-	-	0,133	0,133

Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis selecionadas para o modelo de porcentagem de área da floresta original desmatada até 2001 por município.

Estatística Descritiva	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Índice de Correlação
Porcentagem de área da floresta original por município desmatada até 2001	49,27	34,88	0,1	100,0	-
Distância média a rodovias pavimentadas	61,58	98,81	0,7	702,3	-0,553
Cabeças de gado por Km ²	22,25	27,04	0,0	241,0	0,566
Porcentagem de área agrícola	1,77	3,09	0,0	24,2	0,306
Densidade populacional rural ajustada pelo índice de concentração fundiária	4,03	12,16	0,0	223,3	0,196
Taxa líquida de migração 1995/2000	0,04	0,17	-0,4	1,4	-0,199
Fração da ÁREA municipal protegida	10,61	19,44	0,0	97,4	-0,455

Tabela 4 - Estatística descritiva das variáveis selecionadas para o modelo de incremento entre 1997 e 2001 da porcentagem de área da floresta original desmatada por município.

Estatística Descritiva	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Índice de Correlação
Incremento entre 1997 e 2001 da porcentagem de área da floresta original por município desmatada	3,95	3,69	0,0	25	-
Distância média a rodovias pavimentadas	74,87	102,01	1,28	702,29	-0,324
Incremento do número de cabeças de gado por km ² (1997/2001)	6,51	14,91	-105,57	128,25	0,309
Incremento do percentual de área agrícola (1997/2001)	0,01	0,02	-0,08	0,24	0,133
Taxa Líquida de Migração (1995/2000)	0,06	0,20	-0,36	1,41	0,115
Fração da área municipal protegida	13,79	21,25	0,00	97,38	-0,266

Tabela 5 - Modelos da porcentagem de área da floresta original por município desmatada até 2001.

Estatística de regressão	Sem Controle				Com controle			
R múltiplo	0,7432				0,8300			
R ²	0,5523				0,6889			
R ² ajustado	0,5480				0,6849			
Observações	630				630			
Modelo OLS	Sem Controle				Com controle			
	Coefic,	d. p.	t	Prob.	Coefic,	d.p.	t	Prob.
Constante	0,0433	0,0176	26,2133	0,0000	0,4396	0,0150	29,3812	0,0000
Distância média a rodovias pavimentadas	-0,0001	0,0001	10,6008	0,0000	-0,0011	0,0001	-12,371	0,0000
Cabeças de gado por Km ²	0,0007	0,0004	12,6703	0,0000	0,0049	0,0003	15,7830	0,0000
Percentual da área plantada	0,1724	0,0031	5,0571	0,0000	0,0219	0,0027	8,1947	0,0000
Densidade populacional rural ajustada pelo índice de concentração fundiária	0,0182	0,0008	3,2220	0,0013	0,0029	0,0007	4,4798	0,0000
Taxa líquida de migração 1995/2000	-0,0003	0,0549	-4,6699	0,0000	-0,2162	0,0459	-4,7079	0,0000
Fração da área municipal protegida	-0,0032	0,0005	-5,9712	0,0000	-0,0034	0,0004	-7,5551	0,0000
<i>Outlier</i> Positivo	-	-	-	-	0,4508	0,0374	12,0482	0,0000
<i>Outlier</i> Negativo	-	-	-	-	-0,4715	0,0435	-10,840	0,0000
Estatística de regressão	2SLS				ML			
R múltiplo	0,9173				0,9250			
R ²	0,8415				0,8556			
Observações	630				630			
Modelo OLS	2SLS				ML			
	Coefic,	d.p.	z	Prob.	Coefic,	d.p.	z	Prob.
Constante	0,1292	0,0160	8,0783	0,0000	0,1151	0,0140	8,2132	0,0000
Distância média a rodovias pavimentadas	-0,0003	0,0001	-4,3122	0,0000	-0,0002	0,0001	-4,0418	0,0001
Cabeças de gado por Km ²	0,0027	0,0002	12,4519	0,0000	0,0025	0,0002	12,4772	0,0000
Percentual da área plantada	0,0106	0,0017	6,3259	0,0000	0,0101	0,0016	6,2417	0,0000
Densidade populacional rural ajustada pelo índice de concentração fundiária	0,0012	0,0004	3,0271	0,0025	0,0011	0,0004	2,9168	0,0035
Taxa líquida de migração 1995/2000	-0,1105	0,0281	-3,9328	0,0001	-0,1058	0,0276	-3,8381	0,0001
Fração da área municipal protegida	-0,0021	0,0003	-7,6104	0,0000	-0,0020	0,0003	-7,5450	0,0000
<i>Outlier</i> Positivo	0,2525	0,0241	10,4673	0,0000	0,2436	0,0227	10,7077	0,0000
<i>Outlier</i> Negativo	-0,2772	0,0275	-10,065	0,0000	-0,2685	0,0263	10,2059	0,0000
Defasagem Espacial (r)	0,6647	0,0282	23,5425	0,0000	0,6947	0,0225	30,9325	0,0000

Tabela 6 - Modelos do incremento entre 1997 e 2001 da porcentagem de área da floresta original desmatada por município.

Estatística da regressão	Sem Controle				Com controle			
R múltiplo	0,4748				0,7378			
R ²	0,2254				0,5444			
R ² ajustado	0,2156				0,5362			
Observações	399				399			
Modelo OLS	Sem Controle				Com controle			
	Coeffic.	d.p.	t	Prob.	Coeffic.	d.p.	t	Prob.
Constante	0,0433	0,0025	17,5716	0,0000	0,0377	0,0019	19,5715	0,0000
Distância média a rodovias pavimentadas	-0,0001	0,0000	-4,9252	0,0000	-0,0001	0,0000	-5,4029	0,0000
Incremento do n. de cabeças de gado por km ²	0,0007	0,0001	5,8021	0,0000	0,0007	0,0000	7,4789	0,0000
Incremento do percentual de área agrícola	0,1724	0,0718	2,4004	0,0168	0,1541	0,0553	2,7843	0,0056
Taxa Líquida de Migração (1995/2000)	0,0182	0,0084	2,1685	0,0307	0,0189	0,0066	2,8572	0,0045
Fração da área municipal protegida	-0,0003	0,0001	-3,4000	0,0007	-0,0002	0,0000	-3,7126	0,0002
<i>Outlier</i> Positivo	-	-	-	-	0,09805	0,006	16,0574	0,0000
<i>Outlier</i> Negativo	-	-	-	-	-0,0633	0,019	-3,4161	0,0007
Estatística da regressão	2SLS				ML			
R múltiplo	0,7989				0,8021			
R ²	0,6383				0,6434			
Observações	399				399			
Modelo OLS	2SLS				ML			
	Coeffic.	d.p.	z	Prob.	Coeffic.	d.p.	z	Prob.
Constante	0,01757	0,0029	6,0519	0,0000	0,01703	0,0024	7,1499	0,0000
Distância média a rodovias pavimentadas	-0,00003	0,0000	-2,3778	0,0174	-0,00003	0,0000	-2,4317	0,0150
Incremento do n. de cabeças de gado por km ²	0,00054	0,0001	7,2335	0,0000	0,00053	0,0001	7,3599	0,0000
Incremento do percentual de área agrícola	0,09701	0,0466	2,0797	0,0376	0,09547	0,0456	2,0930	0,0363
Taxa Líquida de Migração (1995/2000)	0,01424	0,0056	2,5626	0,0104	0,01412	0,0055	2,5815	0,0098
Fração da área municipal protegida	-0,0002	0,0001	-3,8955	0,0001	-0,0002	0,0001	-3,9195	0,0001
<i>Outlier</i> Positivo	0,08026	0,0055	14,5356	0,0000	0,07978	0,005	15,3247	0,0000
<i>Outlier</i> Negativo	-0,0479	0,0156	-3,0777	0,0021	-0,0474	0,015	-3,1092	0,0019
Defasagem Espacial (r)	0,47665	0,0573	8,3247	0,0000	0,48948	0,041	11,8227	0,0000

Tabela 7 - Resultados dos testes de dependência espacial das regressões lineares com controle de *outliers*.

Teste	Porcentagem			Incremento		
	MI/DF	Valor	Prob.	MI/DF	Valor	Prob.
Moran's I (erro)	0,50	20,75	0,000	0,36	11,05	0,000
Lagrange Multiplier (erro)	1	21,96	0,000	1	113,93	0,000
Robust LM (erro)	1	505,25	0,000	1	1,48	0,223
Lagrange Multiplier (defasagem)	1	191,42	0,000	1	157,73	0,000
Robust LM (defasagem)	1	599,98	0,000	1	45,28	0,000
Lagrange Multiplier (SARMA)	2	408,56	0,000	2	159,22	0,000

Tabela 8 - Resumo dos ajustes dos dois modelos.

Modelo	Controle Heteroscedástico	R	R ²	Log máxima verossimilhança
Porcentagem de área da floresta original desmatada até 2001 por município				
Linear (Máxima Verossimilhança)	não	0,743	0,552	23,32
Linear (Máxima Verossimilhança)	sim	0,830	0,689	138,00
Espacial (2SLS)	sim	0,917	0,842	
Espacial (Máxima Verossimilhança)	sim	0,925	0,856	424,41
Incremento entre 1997 e 2001 da porcentagem de área da floresta original desmatada por município				
Linear (Máxima Verossimilhança)	não	0,475	0,225	801,82
Linear (Máxima Verossimilhança)	sim	0,738	0,544	907,63
Espacial (2SLS)	sim	0,799	0,638	
Espacial (Máxima Verossimilhança)	sim	0,802	0,643	969,68

Tabela 9 - Suposições dos cenários extremos.

Suposições	Cenário pessimista		Cenário otimista	
	Valor	Alcance da meta	Valor	Alcance da meta
1 Taxa média de expansão do rebanho bovino	5% ano ⁻¹	assintótico*	2% ano ⁻¹	assintótico**
2 Taxa média de expansão das áreas agrícolas	5% ano ⁻¹	assintótico*	2% ano ⁻¹	assintótico**
3 Movimentos populacionais	estacionário***	-	imobilidade****	2015
4 Extensão de asfaltamento de estradas	14 000 km	2026*****	11 500 km*****	2026
5 Expansão das áreas protegidas	não há*****	-	46%	2015
6 Conservação de florestas privadas*****	sem restrição	-	50%	2015

* Taxa anual tende a diminuir a medida que não há mais disponibilidade de áreas, taxas iniciais 9,4% para gado e 8,6 ano⁻¹ para cultura.

** Taxa anual tende a diminuir a medida que não há mais disponibilidade de áreas, nesse caso áreas protegidas diminuem a disponibilidade de áreas, taxas iniciais 4% ano⁻¹.

*** Atuais taxas migratórias são consideradas imutáveis.

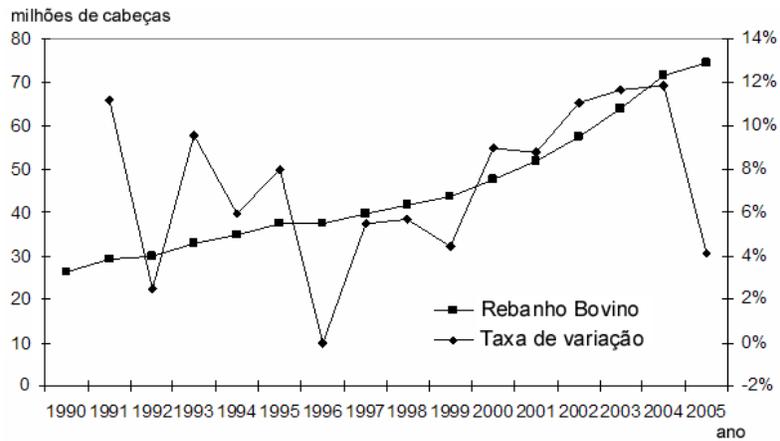
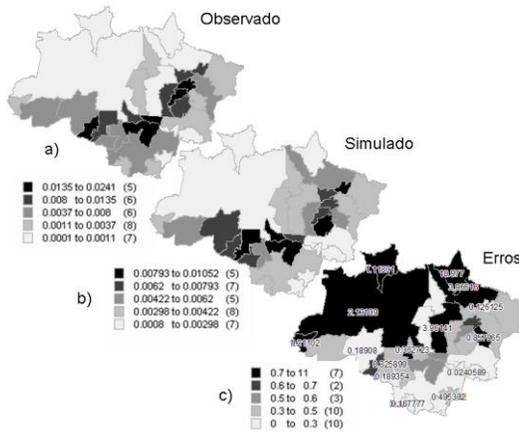
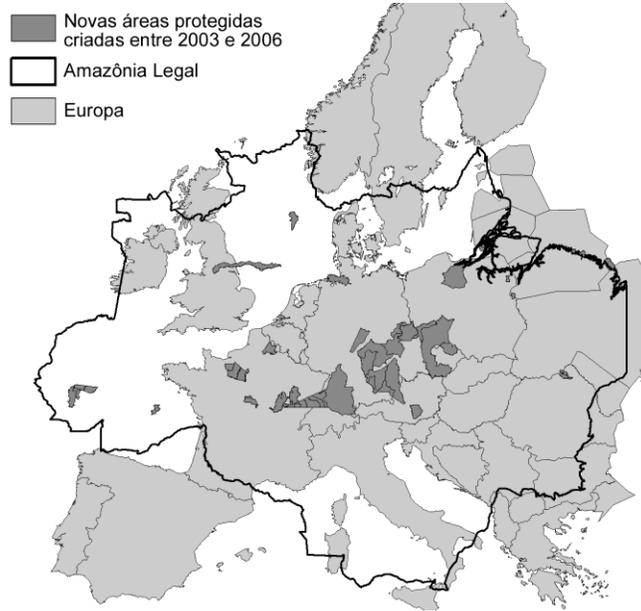
**** Imobilidade no caso significa cessão de fluxos imigratórios.

***** Vide Figura 8. Asfaltamento ocorre em fases (cf. Soares-Filho *et al.*, 2006).

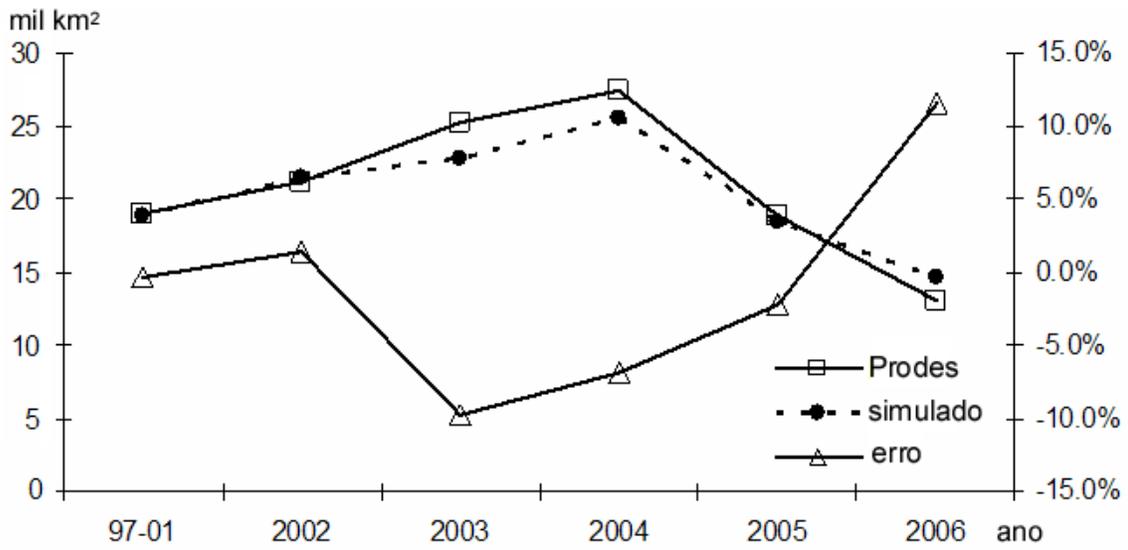
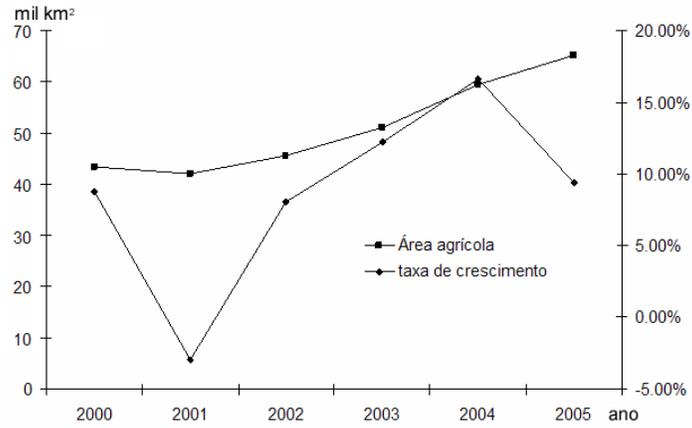
***** Trechos excluídos: BR-163, Trairão - divisa com Mato Grosso; BR-230, Proximidade de Itaituba a Humaitá; BR-319, Manaus-Porto Velho; BR-230, Perimetral Norte.

***** Constante a 2006, podendo mesmo declinar para ceder espaço à expansão agropecuária.

***** Suposições 5 e 6 são incluídas na variável fração de área protegida.



SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.



SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. São Paulo, 2008, v. 1.

