



Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Geociências

Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais

MODELAGEM DE TRANSIÇÃO FLORESTAL NA MATA ATLÂNTICA

Carolina Marques Guilen Lima

Belo Horizonte

2012

Carolina Marques Guilen Lima

MODELAGEM DE TRANSIÇÃO FLORESTAL NA MATA ATLÂNTICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Britaldo Silveira Soares Filho.

Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo Alexandrino Garcia

2012

L732m
2012

Lima, Carolina Marques Guilen.
Modelagem de transição florestal na Mata Atlântica [manuscrito] /
Carolina Marques Guilen Lima. – 2012.
xii, 49 f.: il.(algumas color.)

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais,
Instituto de Geociências, 2012.

Orientador: Britaldo Silveira Soares Filho.

Co-Orientador: Ricardo Alexandrino Garcia.

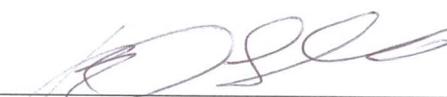
Bibliografia: f. 50-56.

Inclui apêndices.

1. Mata Atlântica – Teses. 2. Meio ambiente – Modelos
econômicos – Teses. 3. Desmatamento – Teses. I. Soares Filho,
Britaldo Silveira. II. Garcia, Ricardo Alexandrino. III. Universidade
Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 911.2:519.6

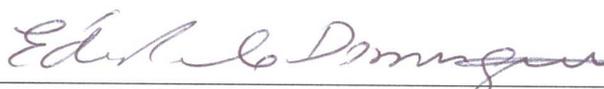
Dissertação defendida e aprovada, em 19 de março de 2012, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Britaldo Silveira Soares Filho



Prof. Dr. Ricardo Alexandrino Garcia



Prof. Dr. Edson Paulo Domingues



Prof. Dr. Milton Cezar Ribeiro

...

*I believe a leaf of grass
is no less than the journeywork of the stars,
And the pismire is equally perfect,
and a grain of sand, and the egg of the wren,
And the tree-toad is a chef-d'oeuvre for the highest,
And the running blackberry would adorn the parlors of heaven,
And the narrowest hinge in my hand puts to scorn all machinery*

...

(Walt Whitman)

*Reading about nature is fine, but if a person walks in the woods and listens
carefully, he can learn more than what is in books, for they speak with the voice
of God.*

(G. Washington Carver)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Criador da Mata Atlântica e de todas as florestas do planeta, por conceder o dom de usar a inteligência humana em favor das causas ambientais.

Agradeço à minha amada família, a meus pais, irmã e avós, ao tio Sandro, e ao meu querido esposo e amigo, que se aventurou a entender um pouco de modelagem ambiental para apoiar a caminhada do mestrado. Todos vocês são fonte de inspiração e coragem; este trabalho é dedicado a vocês.

Agradeço aos colegas do Centro de Sensoriamento Remoto, em especial a Hermann, Thiago, Letícia(s), Aline, William, Carol e Amanda, tanto pela ajuda em questões técnicas e burocráticas quanto pela convivência que tornou o trabalho mais leve. Também agradeço às amigas, também “caróis” e biólogas, Carol Andrade e Carol Sarno, pela amizade e apoio.

Agradeço ao orientador Britaldo Soares-Filho, pela grata oportunidade de aprender com sua vasta experiência em modelagem, por me guiar no processo de aprendizado e por ter investido em meu potencial como pesquisadora.

Agradeço ao co-orientador Ricardo Alexandrino Garcia, por se dispor a ensinar uma bióloga a lidar com estatística espacial, pela orientação e pelos pães artesanais com que surpreendeu a turma de mestrado ao fim do primeiro ano.

Agradeço a Milton Cézar Ribeiro, que além de participar da banca auxiliou na preparação do projeto inicial e sempre demonstrou incondicional disposição em ajudar. É um verdadeiro mestre.

Aos antigos colegas do Lepac que contribuíram com as primeiras idéias para o projeto de mestrado, e que me inspiraram a seguir na Ecologia de Paisagens, professor Jean Paul Metzger, Leandro Tambosi e Ana Maria Teixeira.

A Flávio Ponzoni e Marcos Rosa, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e Arcplan, respectivamente, e a Antonio Carlos Florido, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, por fornecerem os dados e instruções de uso.

À CAPES, pela concessão da bolsa de pesquisa.

RESUMO

Apesar de sua reconhecida importância ecológica e elevado grau de fragmentação, há poucos esforços de modelagem da dinâmica da Mata Atlântica. Este trabalho contribui com a proposta de um modelo espacialmente explícito para o bioma, baseado em dados publicamente disponíveis. O modelo proposto é constituído de duas partes: i) a estimativa de taxas de desmatamento e regeneração com base em um modelo econométrico, e ii) a integração do modelo econométrico com variáveis espaciais, aplicando as mudanças de forma espacialmente explícita. O modelo econométrico foi calibrado com dados baseados no Censo Agropecuário (IBGE, 1998, 2006), obtendo-se um modelo de auto-regressão espacial no termo de erro. O modelo espacial foi calibrado com dados do convênio SOS Mata Atlântica/INPE (2000, 2008) de 1995 e 2005, e validado com base no mapa de mudanças de 2005 a 2008. Por fim, uma simulação para o ano 2030 avalia o comportamento do modelo a longo prazo. Os resultados mostraram que o modelo é capaz de representar a dinâmica contemporânea da Mata Atlântica, podendo ser utilizado para observar o fenômeno de transição florestal, para identificar áreas prioritárias para conservação e recuperação e para avaliar os impactos de alterações no Código Florestal para a conservação do bioma.

Palavras-chave: Mata Atlântica, modelagem de paisagens, desmatamento, regeneração, transição florestal, DINAMICA EGO.

ABSTRACT

Despite its recognized ecological importance and high anthropogenic pressure to which it is submitted, there are few efforts to model the Atlantic Forest dynamic. This paper contributes proposing a spatially explicit model for the biome, based on publicly available data. The model consists of two parts: i) the estimated rate of deforestation and regeneration based on an econometric model, and ii) the integration of the econometric model with spatial variables, applying changes in a spatially explicit manner. The econometric model was calibrated with data based on Agricultural Census (IBGE, 1998, 2006), yielding a regression of spatial dependence on the error term. The spatial model was calibrated with data from SOS Mata Atlântica / INPE (2000, 2008), for 1995 and 2005, and validated based on the statement of changes from 2005 to 2008. Finally, a simulation for 2030 assesses the behavior of the model on the long term. The results showed that the model is able to represent the contemporary dynamic of the Atlantic Forest, and therefore it can be used to observe the phenomenon of forest transition, to identify priority areas for conservation and recovery and to evaluate the impacts of changes in the national Forestry Code for the conservation of the biome.

Keywords: Atlantic Forest, LUCC models, deforestation, regeneration, forest transition, DINAMICA EGO.

Índice

AGRADECIMENTOS	6
RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
APRESENTAÇÃO.....	13
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
2.1 Área de Estudo	20
2.2 Dados utilizados	21
2.3 Calibração do Modelo Econométrico	21
2.4. Calibração do Modelo Espacial	23
2.5 Validação	32
2.6 Simulação	33
3. RESULTADOS.....	33
3.1 Modelo Econométrico	35
3.2 Modelo Espacial	36
3.3 Validação	37
3.4 Simulação	41
4. DISCUSSÃO.....	43
4.1. Desempenho do modelo.....	43
4.2. Possíveis abordagens futuras	45
4.3. Implicações para a conservação da Mata Atlântica.....	45
5. CONCLUSÃO	47
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
7. AGRADECIMENTOS	49
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
APENDICE I	57
APENDICE II	61

Lista de figuras

Figura 1: Domínio do bioma Mata Atlântica: limite de acordo com a atual legislação e remanescentes florestais em 2008, segundo INPE/SOS Mata Atlântica (2008).	14
Figura 2: Curva ambiental de Kuznets (EKC). Modificado de Heerink <i>et al</i> (2001).	17
Figura 3: Estágios da transição florestal, baseada na curva ambiental de Kuznets. Fonte: Angelsen 2007.	18
Figura 4: Diminuição do desmatamento no período 1985 a 2010, segundo dados do SOS/INPE (1993, 2000, 2008, 2011).....	19
Figura 5: Áreas de estudo: o modelo econométrico foi aplicado a todo o domínio, enquanto o modelo espacial inclui apenas a área hachurada.	21
Figura 6: Estrutura do modelo espacial utilizado: representação da paisagem inicial, função de mudança composta por quantidade e alocação espacial das mudanças, e mapa de saída.	26
Figura 7: Coeficientes dos pesos de evidência de desmatamento em relação à distância a estradas.	27
Figura 8: Coeficientes dos pesos de evidência de desmatamento em relação à altitude.....	28
Figura 9: Coeficientes dos pesos de evidência de desmatamento em relação a Unidades de Conservação.	29
Figura 10: Coeficientes dos pesos de evidência de desmatamento em relação à distância a áreas desmatadas.....	29
Figura 11: Coeficientes dos pesos de evidência de regeneração em relação à distância a áreas florestadas.....	30

Figura 12: Coeficientes dos pesos de evidência de regeneração em relação à distância a rios.	30
Figura 13: Coeficientes dos pesos de evidência de regeneração em relação à distância a estradas.	31
Figura 14: Hotspots de desmatamento no período 1995-2005. Elaboração própria, por estatística Kernel calculada no DINAMICA EGO.	34
Figura 15: Diferenças por município entre área de floresta real e simulada para o período 2005 a 2008.	38
Figura 16: Probabilidades de desmatamento, segundo métodos de pesos de evidência para os determinantes espaciais fornecidos.	39
Figura 17: Probabilidades de regeneração, segundo métodos de pesos de evidência para os determinantes espaciais fornecidos.	40
Figura 18: Índices de acerto de alocação espacial do modelo em relação ao tamanho da janela de análise (em pixels).	41
Figura 19: Resultado da simulação para o ano de 2030.	42

Lista de tabelas

Tabela 1: Modelos econométricos obtidos.	35
-----------------------------------------------	----

APRESENTAÇÃO

Os impactos da interação entre homens e paisagens têm levado à crescente valorização da modelagem de mudanças no uso do solo (Veldkamp & Verburg, 2004; Bürgi *et al*, 2004), principalmente de modelos espaciais e dinâmicos que permitem a simulação de cenários (Soares-Filho *et al*, 2007). Simulações ajudam a avaliar tendências em conjunturas reais e hipotéticas, podendo subsidiar estratégias de desenvolvimento sustentável.

Plataformas versáteis de modelagem como a fornecida pelo DINAMICA EGO (Soares-Filho *et al*, 2009) permitem integrar dados biofísicos e socioeconômicos na modelagem ambiental. Utilizando essa plataforma, este trabalho propõe um modelo para a Mata Atlântica, um dos biomas mais diversos e ameaçados dos trópicos. Apesar de sua importância, a dinâmica de desmatamento e regeneração do bioma tem sido pouco estudada, e iniciativas de modelagem restringem-se a poucos exemplos com abordagens locais (Teixeira *et al*, 2009; Baptista & Rudel, 2006). Com este estudo, busca-se contribuir para o entendimento da dinâmica da Mata Atlântica em macro escala, com base em dados atualmente disponíveis.

Este trabalho cumpre requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica foi uma das maiores florestas tropicais das Américas (Tabarelli *et al*, 2005, Ribeiro *et al*, 2009). Seu domínio estende-se sobre mais de um milhão de quilômetros quadrados, abrangendo diferentes regiões climáticas, relevos, solos e fisionomias vegetais (IESB, 2007) (Figura 1).

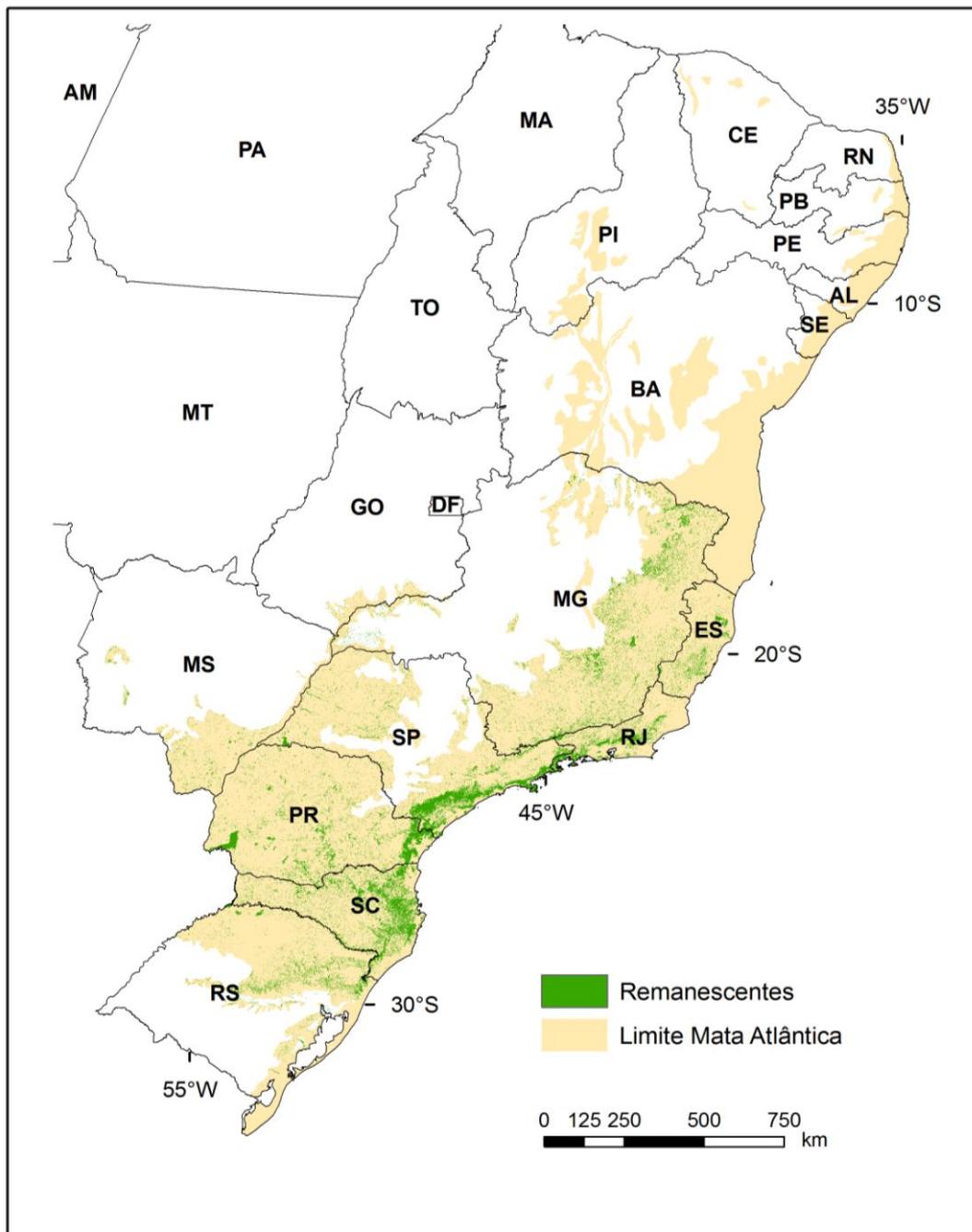


Figura 1: Domínio do bioma Mata Atlântica: limite de acordo com a atual legislação e remanescentes florestais em 2008, segundo INPE/SOS Mata Atlântica (2008).

O bioma abriga uma alta biodiversidade, com cerca de 20.000 espécies de plantas, 8.000 delas endêmicas, e 1.361 espécies de vertebrados, 567 endêmicas, retendo mais de 2% dos endemismos globais para esses grupos (Myers *et al*, 2000). A relevância da Mata Atlântica também está associada aos serviços ambientais que seus ecossistemas prestam à sociedade. Em seu domínio encontram-se sete grandes bacias hidrográficas, e concentra-se cerca de 70% da população brasileira atual (IESB, 2007). Os recursos hídricos fornecidos por essas bacias são essenciais para o abastecimento de cerca de 120 milhões de pessoas (Gomes *et al*, 2009), além de fornecerem energia para atendimento das maiores cidades brasileiras.

Embora o desmatamento da Mata Atlântica tenha sido responsável por grande parte das emissões de gás carbônico no passado, as áreas em regeneração podem representar um importante sumidouro de carbono. Segundo Gouvello *et al* (2010), a recuperação de florestas atlânticas remove atualmente $30 \pm 6 \text{ Mg-C ha}^{-1}$ ao ano.

Os impactos antrópicos sobre o bioma iniciaram-se há mais de 10 mil anos, quando seu domínio era ocupado por grupos nômades caçadores-coletores. Posteriormente, etnias indígenas passaram a praticar a agricultura, usando fogo para derrubar a floresta (Dean, 1995). A partir da colonização europeia, a Mata Atlântica sofreu seu período de maior conversão. O fogo passou a ser usado de forma intensiva, sem permitir tempo de recuperação do solo. Quando ele se tornava desgastado pela contínua exploração, os colonizadores ocupavam sucessivamente novos terrenos do Brasil-Colônia (Dean, 1995). Nesse sistema, largas extensões de terra eram desmatadas, onde a vegetação original era convertida em pastos e lavouras de cana-de-açúcar, principalmente no nordeste.

No ciclo econômico seguinte, o da mineração, a busca por metais preciosos expandiu a colonização para o interior do país, fundando vilas e abrindo estradas que contribuíram para a degradação das formações interioranas da Mata Atlântica, como as florestas semidecíduais do estado de Minas Gerais. Após a independência do Brasil, a cafeicultura tornou-se preponderante,

contribuindo para a consolidação do desmatamento e da fragmentação do bioma no sudeste (Dean, 1995).

Em meados do século XX, principalmente a partir da crise econômica de 1929, foi implantado um projeto de modernização do país, com desenvolvimento da rede urbana e do parque industrial (Rodrigues, 2008). O processo demandou infra-estrutura, com a intensa criação de estradas, ferrovias, indústrias e loteamentos urbanos. Essas mudanças inauguraram um terceiro modelo de exploração da terra, principalmente no sudeste brasileiro, levando à ocupação de suas últimas fronteiras, como o vale do rio Doce e norte do Paraná. Estima-se que o desmatamento ocorrido nessa fase tenha sido o maior responsável pelas emissões de carbono no Brasil, lançando 7.4 ± 4.1 Pg-C para a atmosfera no período de 1940 a 1995 (Leite *et al*, no prelo).

Hoje, restam aproximadamente 11,7% da área original ocupada por florestas atlânticas, a maior parte na forma de remanescentes secundários e altamente fragmentados: 83% dos fragmentos são menores do que 50 ha (Ribeiro *et al*, 2009). Essas condições ameaçam a manutenção da biodiversidade do bioma a longo prazo, motivo pelo qual a Mata Atlântica é atualmente considerada um dos principais *hotspots* tropicais de conservação biológica (Myers *et al*, 2000).

Se por um lado a situação de ameaça ao bioma é elevada, por outro, autores como Kronka *et al* (2005) e Baptista & Rudel (2006) indicam que o bioma pode estar entrando em uma fase de transição florestal.

A transição florestal é uma teoria que se baseia na curva ambiental de Kuznets (EKC = *Environmental Kuznets Curve*) (Figura 2) para descrever a relação entre desenvolvimento econômico e desmatamento (Figura 3). O gráfico EKC tem a forma de um “U” invertido, descrevendo o seguinte comportamento: nos primeiros estágios do desenvolvimento econômico de uma região, há uma alta demanda de recursos naturais e intensa emissão de poluentes, ao mesmo tempo em que a sociedade não dispõe de capital para investir na mitigação de impactos e na recuperação ambiental. Por outro lado, nos estágios mais tardios do desenvolvimento, ao passo que aumenta a renda, a sociedade passa a

valorizar o meio ambiente, entidades regulatórias tornam-se mais eficientes e assim a degradação ambiental diminui (Dinda, 2004). Essa teoria, elaborada inicialmente para concentração de poluentes, foi adaptada para o fenômeno de desmatamento, que, de maneira análoga, seria maior nas fases iniciais de desenvolvimento socioeconômico, decrescendo após o processo de industrialização, até que as forças de regeneração florestal se tornem maiores que aquelas do desmatamento. A transição florestal pode ser descrita, portanto, por quatro fases, em que ocorre perda crescente de florestas, seguida por uma desaceleração do desmatamento e um mínimo absoluto (Robertsen, 2011) a partir do qual a quantidade de florestas passa a crescer novamente, devido ao processo de regeneração (Mather & Needle, 1998) (, como descrito na Figura 3). A relação de transição florestal é uma regularidade empírica, mas não há consenso sobre quais variáveis determinam que ela ocorra (Robertsen, 2011), sendo as condicionantes provavelmente variáveis para cada região ou contexto socioeconômico.

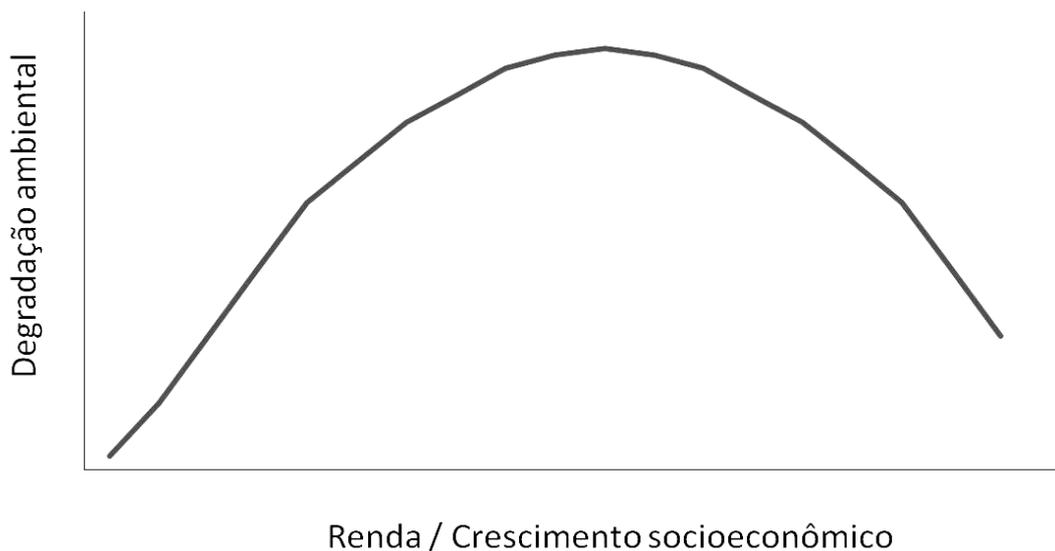


Figura 2: Curva ambiental de Kuznets (EKC). Modificado de Heerink *et al* (2001).

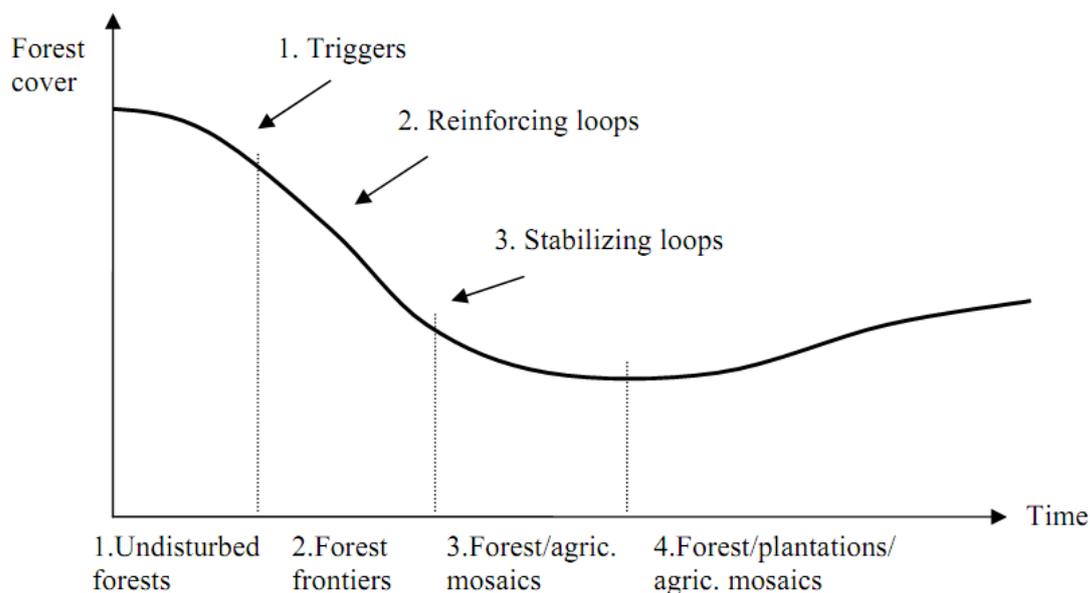


Figura 3: Estágios da transição florestal, baseada na curva ambiental de Kuznets.
 Fonte: Angelsen 2007.

Embora seja coerente com os dados registrados nos Atlas da Mata Atlântica (Figura 4), que mostram desaceleração do desmatamento no bioma nas últimas décadas, a hipótese de que esteja ocorrendo transição florestal no bioma ainda não foi confirmada na literatura científica. É necessário uma melhor compreensão da dinâmica contemporânea da Mata Atlântica para que se possa garantir sua conservação e a manutenção de seus serviços ambientais.

As ferramentas de modelagem hoje disponíveis permitem dimensionar as mudanças da paisagem em termos temporais e espaciais. Permitem também compreender os fatores que influenciam tais mudanças e projetá-las para o futuro, auxiliando na compreensão do presente e na proposição de estratégias futuras de conservação com bases científicas. Entretanto, a Mata Atlântica tem recebido pouca atenção dos modeladores ambientais. Enquanto para a Amazônia diversos modelos de paisagem têm sido elaborados (Reis *et al*, 1997; Wood & Skole, 1998; Pfaff, 1999; Soares-Filho *et al*, 2004; Soares-Filho *et al*, 2006; Aguiar *et al*, 2007; Lorena & Lambin, 2009; Silva, 2009; Michalski *et*

al, 2010; Soares-Filho, 2010), para a Mata Atlântica ainda são praticamente inexistentes modelos de mudanças do uso da terra. Os estudos encontrados com essa abordagem foram um modelo econométrico para o estado de Santa Catarina de Baptista & Rudel (2006) e um modelo espaço-temporal de Teixeira *et al* (2009) para uma paisagem do interior paulista.



Figura 4: Diminuição do desmatamento no período 1985 a 2010, segundo dados do SOS/INPE (1993, 2000, 2008, 2011).

Diante desse contexto, este trabalho contribui com a proposição de uma abordagem metodológica para modelagem de desmatamento e regeneração na Mata Atlântica contemporânea, para fins de investigação das tendências atuais da dinâmica do bioma.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Adotou-se uma abordagem empírica, criando-se um modelo dirigido a dados (Soares-Filho *et al*, 2008), dividido em duas etapas. Na primeira etapa, foi calculado um modelo econométrico para estimar taxas de desmatamento e regeneração por município. Na segunda etapa, foi elaborado um modelo dinâmico espacialmente explícito na plataforma DINAMICA EGO, para alocação das mudanças estimadas com o modelo econométrico em função de determinantes geográficas.

2.1 Área de Estudo

A área de estudo corresponde ao domínio do bioma Mata Atlântica, segundo a legislação atual (Brasil, 2006. Lei Federal nº 11.428/06) (Figura 5). Para o modelo espacial, foi excluída a região nordeste, uma vez que a lacuna de dados espaciais de desmatamento para a região nordeste dificultaria a calibração e a validação para essa área.

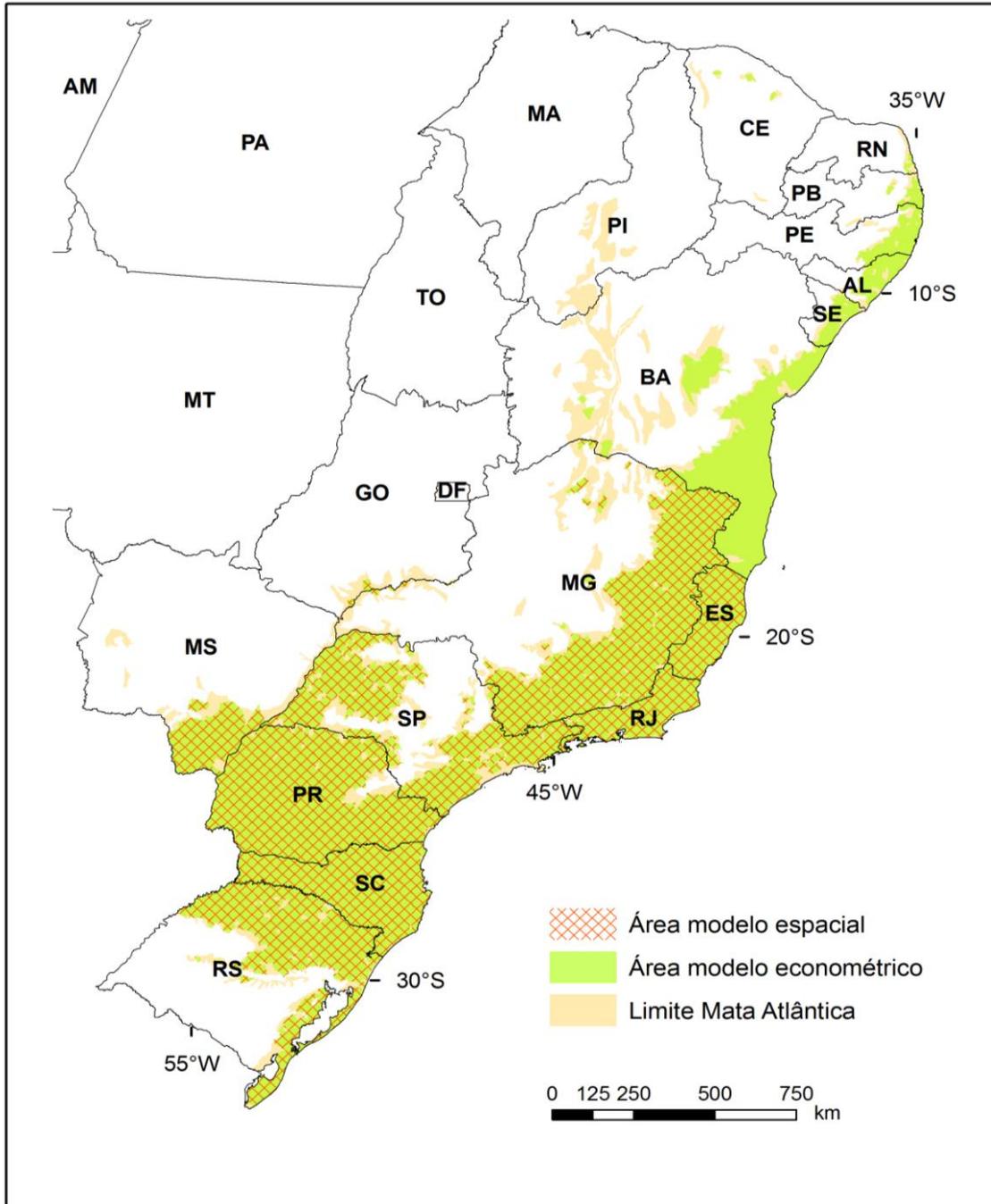


Figura 5: Áreas de estudo: o modelo econométrico foi aplicado a todo o domínio, enquanto o modelo espacial inclui apenas a área hachurada.

2.2 Dados utilizados

Apesar de a Mata Atlântica ser amplamente estudada, monitoramentos de todo o bioma restringem-se a poucas fontes: o convênio entre o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA e o Ministério do Meio Ambiente – MMA, e a parceria do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e organização SOS Mata Atlântica (1993, 2000, 2008 e 2011). Cada fonte apresenta suas próprias limitações em termos de resolução, estabilidade metodológica e cobertura temporal. Neste trabalho, optou-se por utilizar os dados espaciais disponíveis no Atlas de Remanescentes da Mata Atlântica (SOS Mata Atlântica / INPE, 2000, 2008), que disponibiliza periodicamente mapas de desmatamento do bioma, sendo considerados referência para estudos da Mata Atlântica (IESB, 2007, Ribeiro *et al*, 2009). Todos os mapas de entrada foram rasterizados na resolução de pixels com 500 m de largura.

Para o modelo econométrico, foram utilizados dados quantitativos do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1998, 2006), além de dados calculados por geoprocessamento (altitude, declividade, área de remanescentes), tabulados em nível municipal.

2.3 Calibração do Modelo Econométrico

O econométrico pode ser representado pela equação (i). A variável Y representa, neste estudo, a taxa de variação na quantidade de florestas, sendo função de uma ou mais variáveis independentes X_n que a influenciam, usualmente representadas na forma de uma matriz. Num modelo econométrico com dependência espacial, é incluída a influência da vizinhança sobre a função de Y (LeSage & Pace, 2009). A função (ii) apresenta o modelo de auto-regressão espacial na variável dependente, enquanto que a conjugação das equações (i) + (iii) apresenta a função para dependência espacial no termo de erro.

$$Y_{t+v} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_m + \varepsilon \quad (i)$$

$$Y_{t+v} = \xi WY + \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_m + \varepsilon \quad (ii)$$

$$\varepsilon = \lambda W \varepsilon + \mu \quad (iii)$$

Onde:

Y = variável dependente

X = variáveis independentes

β = coeficientes de relação

ε, μ = termos de erro

ξ = parâmetro de autorregressão espacial

λ = parâmetro de autorregressão espacial no termo de erro

W = peso de acordo com a matriz de vizinhança

Para calcular o modelo econométrico da Mata Atlântica, uma planilha de dados por município foi elaborada, com 126 potenciais variáveis explicativas. A variável dependente correspondeu à taxa de variação anual na quantidade de floresta, segundo os dados do Censo Agropecuário (IBGE, 1998, 2006). Valores negativos indicam a diminuição na área florestada, e valores positivos, aumento (iv).

$$Tx = (F_{t+n}/F_t)^{(1/n)} - 1 \quad (iv)$$

Onde:

Tx = taxa de variação no estoque de florestas

F_t = área de floresta no tempo inicial (t)

F_{t+n} = área de floresta no tempo final ($t+n$)

n = número de anos no período de análise

Foi aplicado um filtro à lista de municípios do bioma, retirando-se os casos que não possuíam informação da variável dependente e os que, após executado um primeiro teste *stepwise*, apresentaram resíduos maiores que dois desvios-padrão. Com esses procedimentos, obteve-se um universo amostral de 2775 municípios com dados coerentes para modelo econométrico.

A esse banco de dados, foi aplicado novamente o procedimento *stepwise* utilizando-se o *software* SPSS Statistics 17.0. Dentre os modelos de regressão linear obtidos com ajuste acima de 0.5, selecionou-se *ad hoc* um modelo de quatro variáveis. A seleção baseou-se nos níveis de significância e na coerência teórica das relações entre a variável dependente e as variáveis

apontadas pela ferramenta como mais explicativas. O modelo foi então submetido a controle heteroscedástico por meio da identificação de *outliers* (Soares-Filho *et al*, 2008), utilizando-se duas variáveis binárias como rótulos: municípios com resíduos acima de dois desvios padrões receberam valor “1” para a nova variável “*Outlier* positivo” e “0” para os demais casos. De forma análoga, municípios com resíduos abaixo de menos dois desvios padrões receberam valor “1” para a variável “*Outlier* negativo”, sendo os demais valoradas como “0”. Com esse método foi possível separar a influência dos *outliers* sobre o modelo, sem retirá-los da análise.

Finalmente, as variáveis foram analisadas quanto à sua autocorrelação espacial no *software* Geoda 0.9.9.11, utilizando-se uma matriz de vizinhança do tipo *queen* de primeira ordem, ou seja, considerando-se como vizinhos os municípios diretamente adjacentes, tanto na horizontal e vertical quanto nas diagonais. Obteve-se uma equação econométrica de dependência espacial, para estimativa da quantidade de mudanças a ser aplicada no modelo espacial.

2.4. Calibração do Modelo Espacial

O modelo espacial foi elaborado usando-se a plataforma DINAMICA EGO (Soares-Filho *et al*, 2009). Esse *software* oferece uma interface gráfica que representa o modelo em estrutura de fluxo de dados, onde operadores são articulados e parametrizados pelo usuário. Os operadores variam de álgebra de mapas a algoritmos especificamente desenvolvidos para calibração e validação de modelos, e podem ser organizados de forma a proporcionar *feedbacks* e operações aninhadas em iterações (Rodrigues *et al*, 2007).

De acordo com Soares-Filho *et al* (2007), um modelo espacialmente explícito deve consistir de uma representação bidimensional da configuração inicial da paisagem; da função de mudança, composta pela quantificação e alocação das mudanças; e do mapa de saída, que representa a paisagem simulada. No modelo aqui proposto para a Mata Atlântica, a quantidade de mudanças é fornecida pelo modelo econométrico, integrado ao modelo espacial pelo operador “*Calc Spatial Lag*”, disponível no grupo de operadores estatísticos do

DINAMICA EGO. Esse operador recebeu tabelas com as variáveis independentes e utilizou a função econométrica obtida na etapa anterior para recalcular a taxa de variação de florestas por município. O modelo foi formulado de forma a alocar as taxas positivas para a transição “regeneração”, e as negativas, para a transição “desmatamento”.

A opção por obter a quantidade de mudanças utilizando-se um modelo econométrico justifica-se para permitir a inserção do processo de regeneração, processo não mapeado nos Atlas de Remanescentes do SOS Mata Atlântica/INPE. Além disso, o uso de um modelo econométrico integrado ao espacial permitirá futuramente a formulação de cenários de evolução do desmatamento e da regeneração no bioma, alterando-se as variáveis independentes para reproduzir situações hipotéticas.

A segunda parte da função de mudanças corresponde à alocação das transições esperadas. Nessa etapa, o modelo seleciona as células de uma classe que serão convertidos a outra classe, com base em um mapa de probabilidades de transições gerado pelo método de Pesos de Evidência (Bonham-Carter, 1994). Esse método utiliza um mapa inicial, um final e mapas de determinantes espaciais para estabelecer relações de probabilidade condicional entre presença das mudanças e dos determinantes. Essas relações foram analisadas e ajustadas por meio de ferramentas disponíveis no DINAMICA EGO a fim de se excluir determinantes sem significância estatística.

A alocação espacial das mudanças foi executada pelo operador “*Patcher*”, que cria mudanças por um mecanismo de semeadura (Soares-Filho *et al*, 2003). Esse operador é parametrizável, permitindo que o modelador ajuste as formas e tamanhos das novas manchas da paisagem simulada, para melhor aproximação do padrão espacial real.

O modelo elaborado para a Mata Atlântica foi calibrado com um mapa inicial do ano de 1995 e um final, do ano de 2005. A taxa utilizada foi gerada pela aplicação do modelo econométrico, que se baseia em dados censitários, apresentando superestimativa em relação aos dados mapeados. Por isso,

utilizou-se um fator de correção para as projeções de taxas pelo modelo econométrico, de forma a ajustar o nível das quantidades das duas fontes de dados, mantendo-se a variação das taxas, que interessa ao modelo. Esse fator de correção, calculado como 0.34, foi obtido comparando-se a taxa anual global de desmatamento simulada à taxa observada (SOS Mata Atlântica /INPE, 2000, 2008) para o mesmo período (1995 a 2005).

Em relação à alocação das mudanças, foram calculados pesos de evidência para a geração dos mapas de probabilidades de mudanças. As determinantes espaciais utilizadas para a transição desmatamento foram: i) proximidade a desmatamentos (variável dinâmica recalculada a cada iteração do modelo), ii) proximidade a estradas, iii) proximidade a assentamentos, iv) declividade, v) topografia, vi) áreas protegidas¹ e vii) atração urbana. Proximidade a ferrovias e proximidade a rios foram inicialmente utilizadas, porém, após análise dos pesos de evidência gerados, foram retiradas por não apresentarem relação significativa com o desmatamento.

Uma vez que os dados espaciais utilizados (SOS Mata Atlântica/INPE, 2000, 2008) não apresentam informações sobre regeneração, os pesos de evidência usados para essa transição foram baseados no trabalho de Teixeira *et al* (2009), que simularam desmatamento e regeneração de Mata Atlântica para uma paisagem localizada no interior do estado de São Paulo. Dessa forma, as determinantes espaciais utilizadas para o mapa de probabilidades de regeneração foram: i) proximidade a florestas (variável dinâmica recalculada a cada iteração), ii) proximidade a estradas, iii) proximidade a rios, iv) declividade e v) topografia (Figura 6).

A escolha das determinantes espaciais para cada transição baseou-se na relevância dessas variáveis geográficas para a localização dos desmatamentos e regenerações, de acordo com a literatura. O papel das estradas sobre as mudanças no uso do solo tem sido amplamente discutido em vários artigos (Apan & Peterson, 1998, Pfaff, 1999, Chomitz & Thomas, 2003, Soares-Filho *et*

¹ Áreas protegidas correspondem a Unidades de Conservação, e foram classificadas em três tipos com diferentes influências sobre o desmatamento: i) unidades de proteção integral, ii) áreas de proteção ambiental e iii) demais unidades de uso sustentável.

al, 2004). Porém, a Mata Atlântica apresentou padrão contrário ao observado para a Amazônia e outras florestas tropicais pouco fragmentadas (Apan & Peterson, 1998, Chomitz & Thomas, 2003, Cabral *et al*, 2007, Miranda-Aragón *et al*, 2012), No caso da Mata Atlântica, em cujo domínio há uma extensa malha viária consolidada, os desmatamentos tendem a ocorrer mais afastados de estradas (Figura 7), nos poucos rincões mais remotos, onde ainda há florestas disponíveis (Cabral *et al*, 2007) e a pressão de fiscalização é menor, um comportamento semelhante ao descrito para Honduras no período de 1991 a 1996 (Nagendra *et al*, 2003).

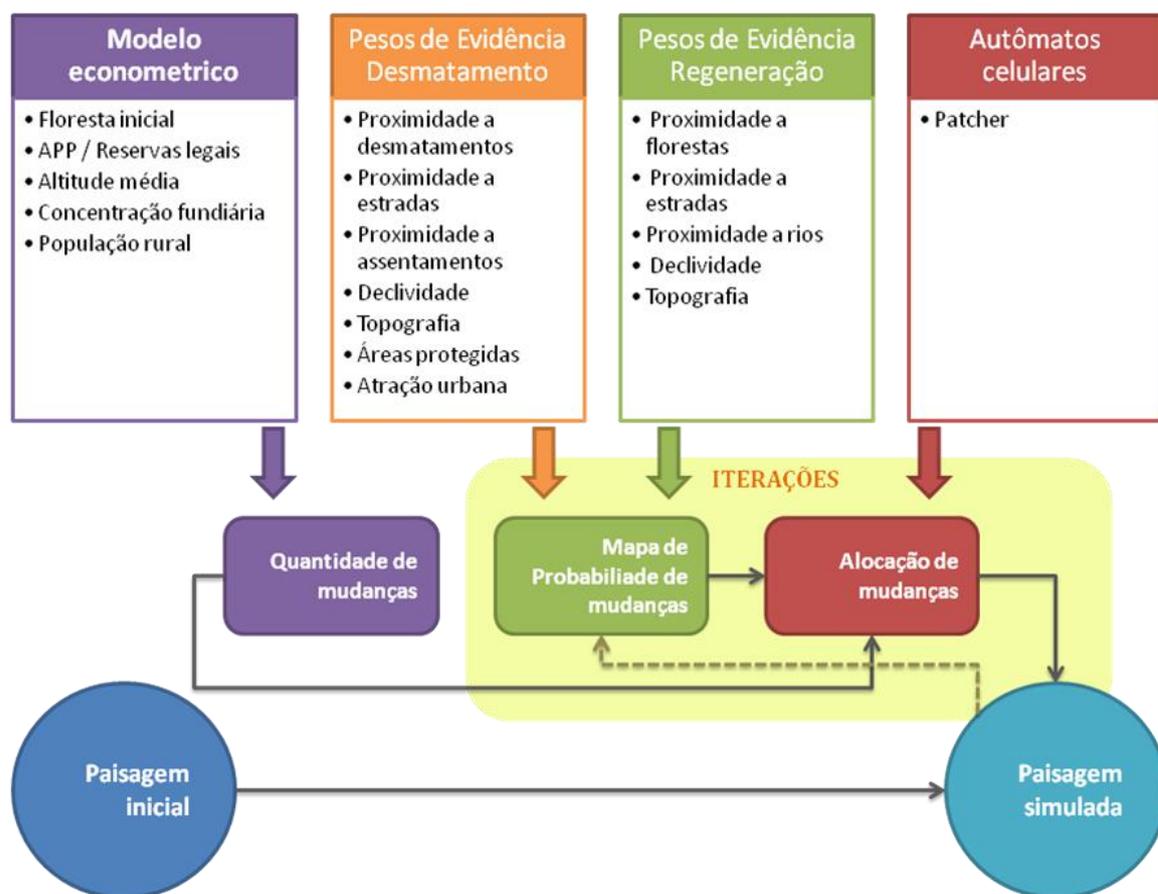


Figura 6: Estrutura do modelo espacial utilizado: representação da paisagem inicial, função de mudança composta por quantidade e alocação espacial das mudanças, e mapa de saída.

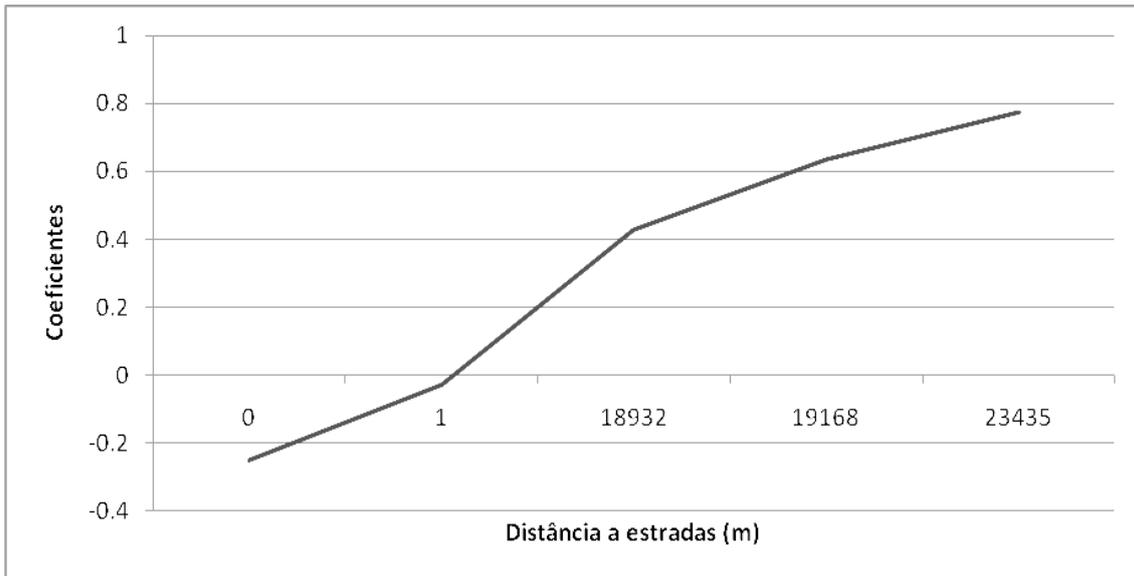


Figura 7: Coeficientes dos pesos de evidência de desmatamento em relação à distância a estradas.

O mesmo padrão diferente do encontrado na literatura foi encontrado para o parâmetro altitude. Áreas mais altas são menos acessíveis e ainda apresentam remanescentes para serem explorados, sendo portanto encontradas nessas regiões as maiores probabilidades de desmatamento, tal como também foi observado no estudo de Nagendra *et al* (2003) para o período 1991 a 1996 (Figura 8). Já para declividade, o comportamento coincidiu com o descrito pela maior parte dos estudos sobre determinantes espaciais do desmatamento. Áreas mais íngremes são menos favoráveis ao desmatamento, pois demandam alto custo para serem limpas e utilizadas, conforme descrito por Sader & Joyce (1988), Miranda-Aragón *et al*, (2012) e relatado também em Teixeira *et al* (2009).

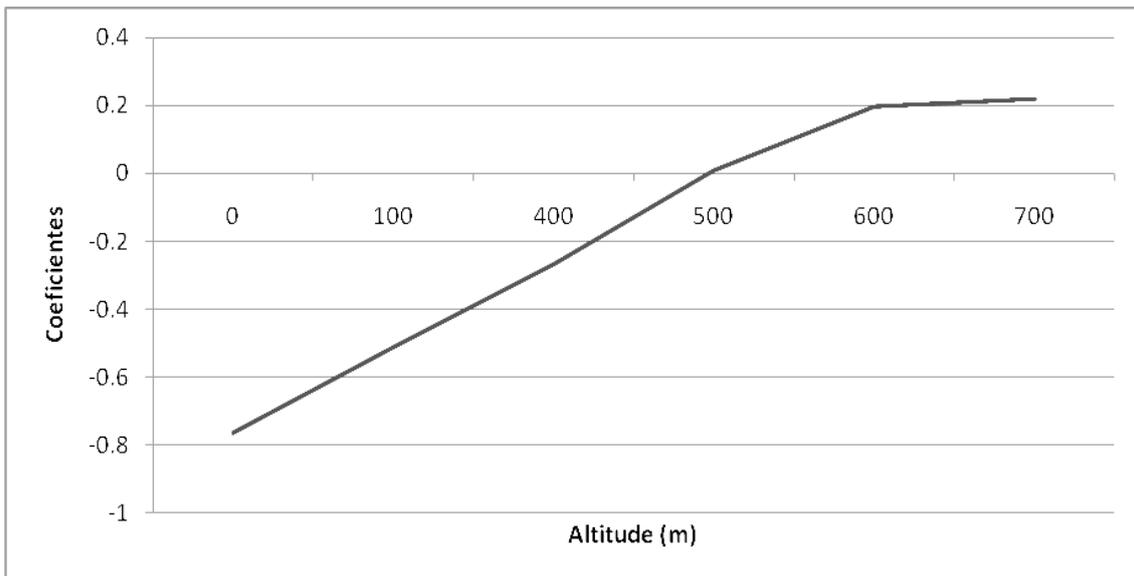


Figura 8: Coeficientes dos pesos de evidência de desmatamento em relação à altitude.

Áreas legalmente protegidas influenciam o desmatamento de forma diferenciada para cada categoria de proteção (Figura 9). Unidades de Conservação do tipo proteção integral são refratárias ao desmatamento, como descrito por Soares-Filho *et al*, (2010) para a Amazônia. Neste estudo, porém, observou-se que áreas de Uso Sustentável, como Áreas de Proteção Ambiental e Terras Indígenas, não repelem efetivamente os desmatamentos na Mata Atlântica, o que pode ser um efeito particular desse bioma, onde os poucos remanescentes ainda disponíveis encontram-se em Unidades de Conservação. Salienta-se que apesar dessas categorias, apesar de restringirem os tipos de uso, permitem ocupação humana.

Regiões próximas a ocupações rurais e urbanas tendem a atrair desmatamentos (Teixeira *et al*, 2009, Miranda-Aragón *et al*, 2012), o que é representado nas variáveis de distância a assentamentos e atração urbana. Com a crescente população, novas áreas têm de ser ocupadas, demandando a retirada da vegetação nativa.

Por fim, desmatamentos tendem a ocorrer próximos de áreas já desmatadas (Figura 10), onde geralmente está havendo ampliação da ocupação humana ou de atividades econômicas (De Sá *et al*, 2012).

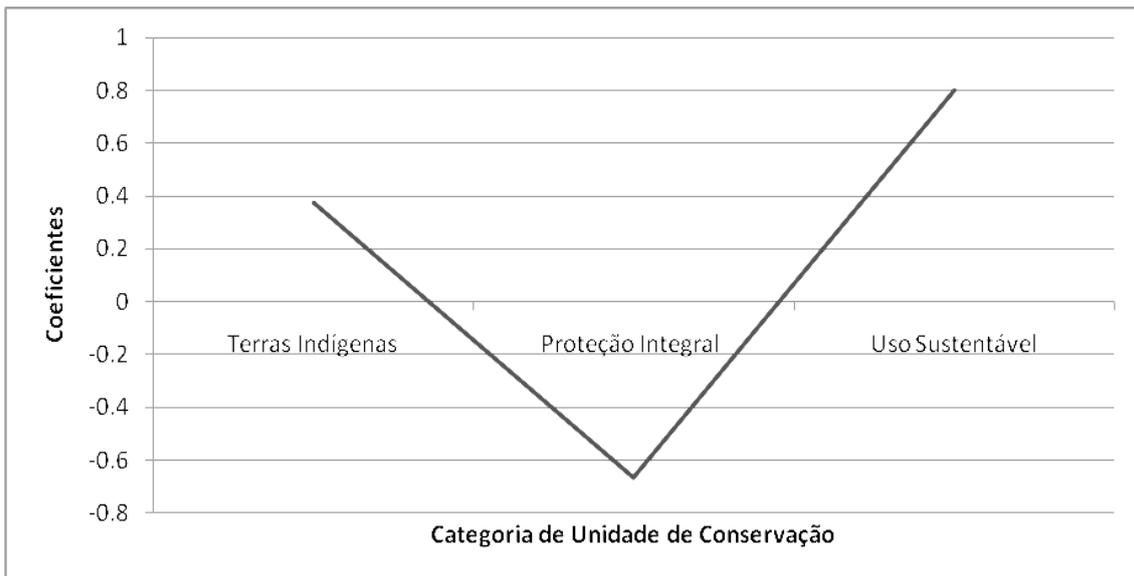


Figura 9: Coeficientes dos pesos de evidência de desmatamento em relação a Unidades de Conservação.

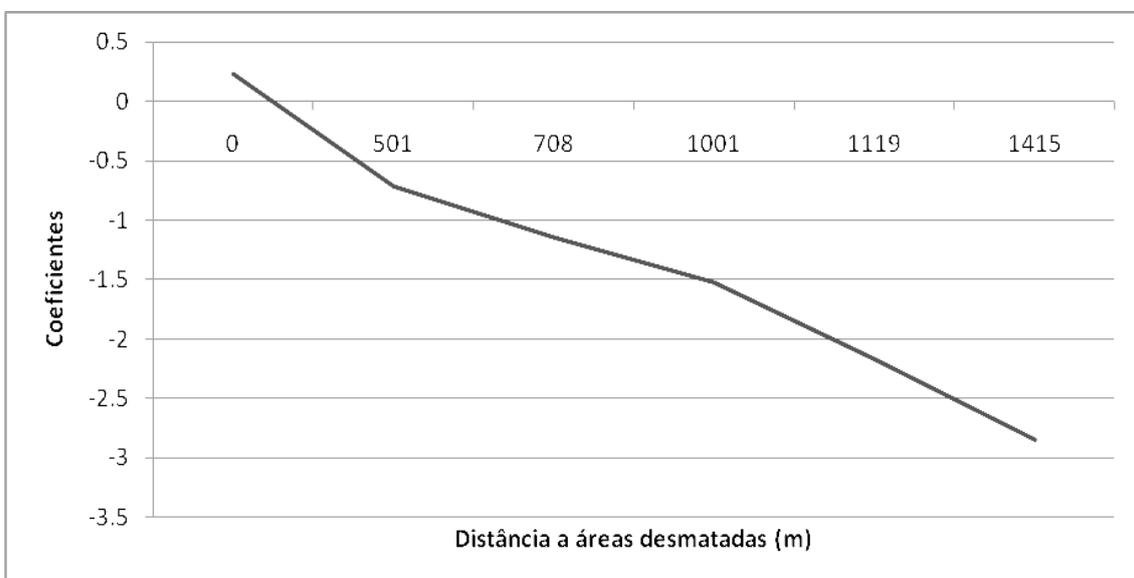


Figura 10: Coeficientes dos pesos de evidência de desmatamento em relação à distância a áreas desmatadas.

Já o processo de regeneração tende a ser maior em locais próximos a remanescentes florestais (Figura 11), os quais fornecem sementes e outros propágulos, acelerando a recuperação ambiental em áreas abandonadas (Groeneveld *et al*, 2009).

Áreas próximas a rios também tendem a ter mais regeneração, como descrito em Teixeira *et al* (2009) (Figura 12), pois sua proteção é determinada pela legislação ambiental, que obriga proprietários de terras a recuperarem as matas ciliares degradadas.

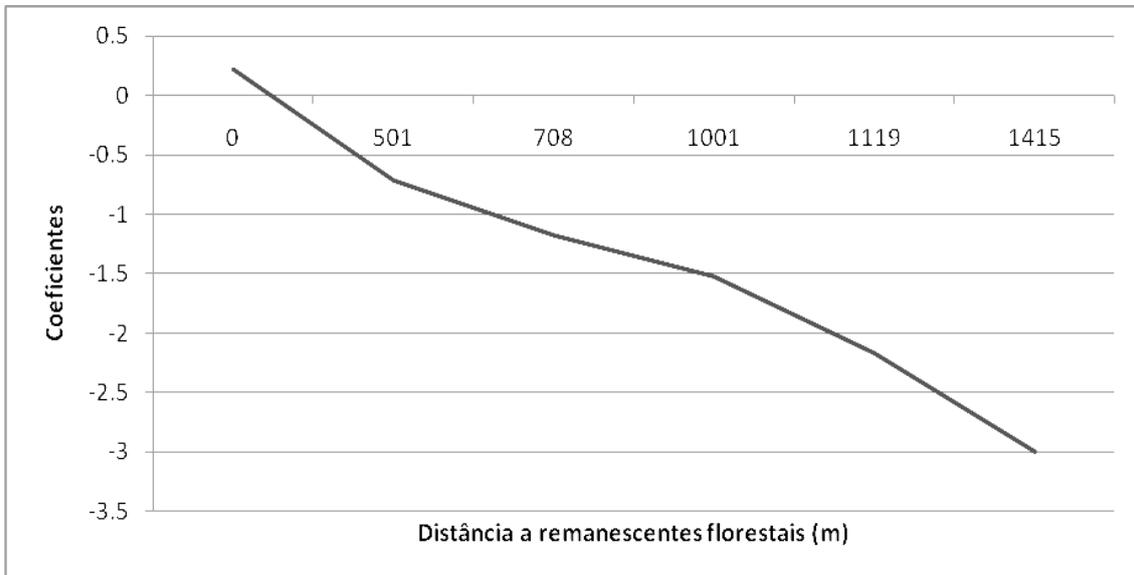


Figura 11: Coeficientes dos pesos de evidência de regeneração em relação à distância a áreas florestadas.

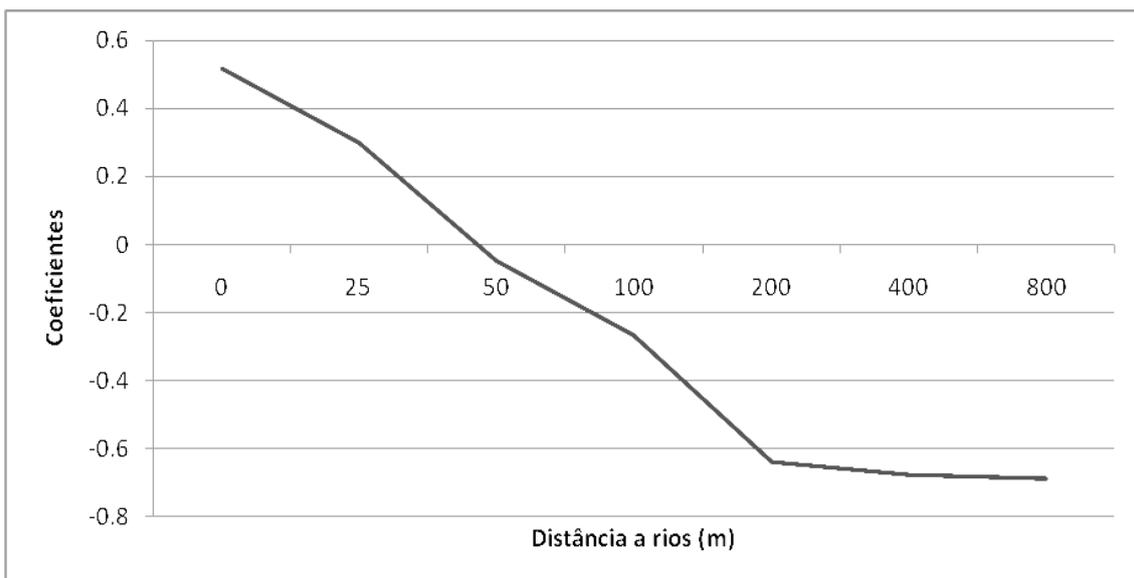


Figura 12: Coeficientes dos pesos de evidência de regeneração em relação à distância a rios.

A distância a estradas e a altitude também influenciam a localização da regeneração. Nesse caso, assim como para desmatamento, áreas mais altas e mais afastadas das vias (Figura 13), ou seja, mais remotas, apresentaram maior probabilidade de recuperação florestal, provavelmente porque áreas mais baixas e próximas de estradas tendem a ter ocupação consolidada, e, portanto, baixa dinâmica florestal. Já em relação à declividade, áreas mais íngremes tendem a ser mais frequentemente abandonadas, por serem de difícil uso, estando relacionadas, portanto, a maior índice de regeneração. Esses padrões encontrados na análise de pesos de evidência efetuada também corroboram dados da literatura (Teixeira *et al*, 2009).

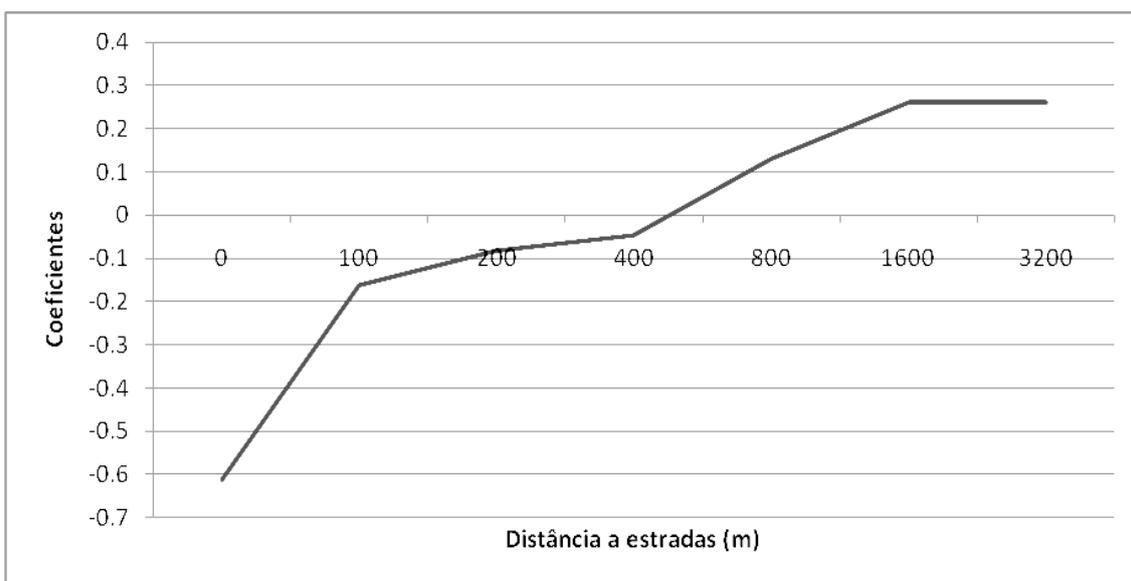


Figura 13: Coeficientes dos pesos de evidência de regeneração em relação à distância a estradas.

Para execução das transições do modelo, o algoritmo *Patcher* foi parametrizado de forma a gerar manchas de tamanho médio e variância igual a um hectare, e de isometria também equivalente a um. Essa parametrização com valores mínimos mostrou-se adequada para representar as paisagens da Mata Atlântica, onde tanto o desmatamento quanto a regeneração ocorrem de forma dispersa, pouco agregada, acompanhando o padrão altamente fragmentado do bioma.

2.5 Validação

A validação da modelagem de taxas foi realizada comparando-se as taxas observadas segundo o Censo Agropecuário (IBGE, 1995, 2006) e aquelas simuladas pela aplicação do modelo econométrico na plataforma DINAMICA EGO.

Para validação das taxas geradas pelo modelo espacial já calibrado com fator de correção, foi realizada simulação para o período 2005 a 2008, e áreas de floresta geradas foram comparadas às áreas reais, segundo o mapeamento SOS Mata Atlântica / INPE (2000, 2008).

A validação da alocação espacial das mudanças pelo modelo espacial foi feita por análise visual e quantitativa, utilizando-se o operador “*Calculate Reciprocal Similarity Map*”, do DINAMICA EGO. Esse operador analisa a similaridade entre mapas por lógica *fuzzy* (Hagen, 2003) de forma recíproca.

A opção pela lógica *fuzzy* leva em conta que em simulações não se espera que as mudanças sejam alocadas com precisão ao nível do pixel, portanto a validação deve comparar a alocação de mudanças num contexto de vizinhança. Se uma transição não foi alocada exatamente no mesmo local do pixel de mudança observado, mas está em sua vizinhança, o método *fuzzy* considera a alocação como parcialmente correta (no caso de decaimento exponencial ou linear), ou como correta (no caso de decaimento constante) (Soares-Filho *et al*, 2009). Neste estudo, utilizaram-se janelas de análise de um a 201 pixels, com decaimento constante, tendo em vista se tratar de um modelo para uma área de grandes extensões.

Para se obter exclusivamente os erros de alocação espacial, não influenciados pelas divergências nas taxas modeladas, foram comparados os mapas de mudanças gerados por simulação utilizando as taxas reais de desmatamento, de acordo com os mapeamentos de 2005 e 2008 (SOS Mata Atlântica / INPE, 2000, 2008). Ainda, o uso de mapas de mudanças evita que a similaridade resulte artificialmente alta devido à porção mantida inalterada tanto na paisagem real quanto na simulada. Como os dados espaciais não abrangem

regeneração, essa transição não pôde ser validada quanto a sua alocação espacial.

2.6 Simulação

Utilizando-se o modelo calibrado e validado, os processos de desmatamento e regeneração foram simulados do ano de 2008 para o ano de 2030. Dessa forma avaliou-se o comportamento do modelo para prazos de projeção maiores do que o período utilizado na calibração (dez anos).

3. RESULTADOS

A análise dos dados do SOS Mata Atlântica / INPE permite quantificar e identificar os padrões de desmatamento do bioma desde 1985 até 2010 (SOS Mata Atlântica/INPE, 1993, 2000, 2008, 2011). Os dados demonstram que as quantidades anuais de desmatamento têm decrescido a cada edição dos Atlas de Remanescentes, demonstrando uma estagnação do processo de desmatamento (Figura 4).

No período utilizado para calibração do modelo, de 1995 a 2005, houve concentração de focos de desmatamento no nordeste do estado de Minas Gerais e na região entre os estados do Paraná e Santa Catarina (Figura 14). Esses focos, afastados de áreas urbanas, indicam que a maior incidência de desmatamentos na Mata Atlântica ocorre devido a expansões agrícolas dentro de seu próprio domínio.

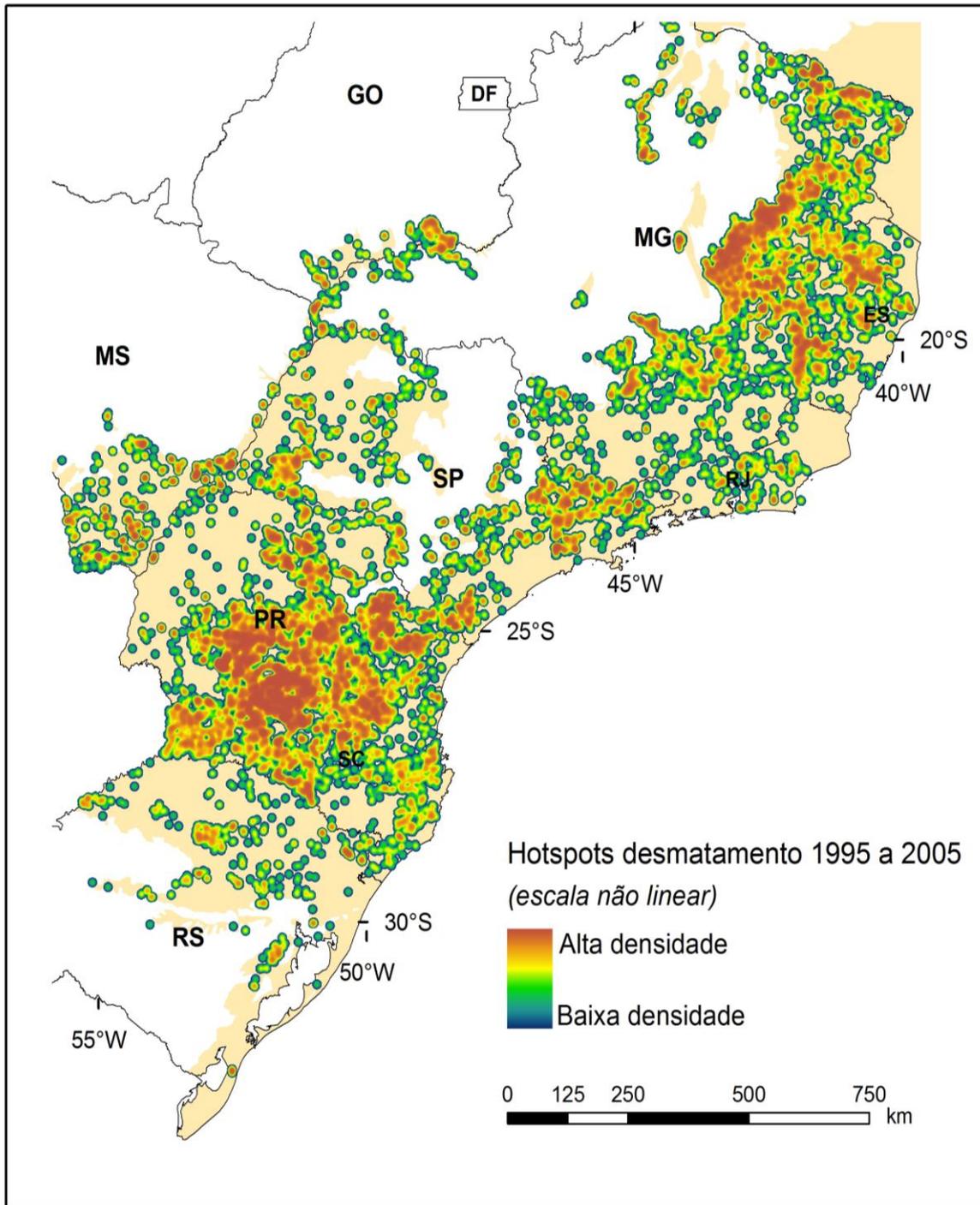


Figura 14: Hotspots de desmatamento no período 1995-2005. Elaboração própria, por estatística Kernel calculada no DINAMICA EGO.

3.1 Modelo Econométrico

O modelo econométrico de autorregressão espacial selecionado apresentou ajuste de $R^2 = 0.714$, sendo composto de quatro variáveis (Tabela 1).

Tabela 1: Modelos econométricos obtidos.

Modelos	Coefficientes	Probabilidade de Significância
Regressão linear com controle heteroscedástico		
Intercepto	0.006	0.021
Porcentagem do município com remanescentes	-0.429	0.000
Porcentagem do município ocupada por APP / RL ¹	0.691	0.000
Taxa de concentração fundiária	0.031	0.000
População rural	-0.038	0.000
Altitude	7.28E-006	0.027
R ² = 0.435		
Regressão linear com variáveis de outliers		
Intercepto	0.006	0.001
Porcentagem do município com remanescentes	-0.421	0.000
Porcentagem do município ocupada por APP / RL ¹	0.680	0.000
Taxa de concentração fundiária	0.023	0.000
População rural	-0.032	0.000
Altitude	1.09E-006	0.661
Outliers positivos	0.143	0.000
Outliers negativos	-0.131	0.000
R ² = 0.681		
Modelo final autorregressão espacial termo erro)		
Intercepto	0.0078	0.0000
Porcentagem do município com remanescentes	-0.4431	0.0000
Porcentagem do município ocupada por APP / RL ¹	0.6856	0.0000
Taxa de concentração fundiária	0.0223	0.0000
População rural	-0.0248	0.0000
Outliers positivos	0.1385	0.0000
Outliers negativos	-0.1257	0.0000
LAMBDA (coeficiente de auto-regressão no erro)	0.3658	0.0000
R ² = 0.714		

¹ APPs = Áreas de Preservação Permanente, RLs = Reservas Legais

Variável dependente: taxa de variação na quantidade de florestas segundo IBGE

Taxa IBGE = $(F_{t+n}/F_t)^{(1/n)} - 1$, onde: F = Quantidade de floresta no município, t = tempo inicial, n = número de anos do período

Essas variáveis indicam que as maiores taxas de desmatamento estão relacionadas a municípios que possuem maiores quantidades de florestas, um padrão esperado para paisagens altamente fragmentadas: desmata-se onde ainda há o que ser desmatado. Os resultados também indicam que quanto maior o tamanho da população rural, maior também o desmatamento. Por outro lado, a quantidade de áreas preservadas por força de lei, na forma de Áreas de Preservação Permanente e Reservas Legais, está relacionada ao aumento na quantidade de florestas, indicando que a legislação ambiental influencia efetivamente a diminuição do desmatamento e impulsiona a regeneração. Outra variável positivamente relacionada ao aumento no estoque de florestas é a taxa de concentração fundiária, provavelmente refletindo que grandes propriedades sejam mais pressionadas a preservar florestas, ou que não têm necessidade de utilizar a capacidade máxima de suas terras.

O modelo retrata a realidade rural, o que se deve ao fato de a taxa de variação de floresta usada para calibrar o modelo econométrico ser derivada de dados do Censo Agropecuário (IBGE, 1998, 2006), que representam o estoque de florestas em propriedades rurais.

3.2 Modelo Espacial

Observou-se que os valores estimados pelo modelo econométrico aplicado no DINAMICA EGO apresentaram estimativas de taxas de desmatamento muito superiores às observadas segundo o mapeamento do SOS Mata Atlântica / INPE (2000, 2008): média de 1,28% ao ano contra 0.43% ao ano, respectivamente. Essa superestimativa pode estar relacionada ao fato de a taxa utilizada para calibração do modelo econométrico ser baseada em quantidades declaradas por entrevistas. É esperado que os entrevistados, em sua maioria leigos, incluam capoeiras (matas secundárias em estágio inicial de regeneração) em sua contabilização de mata nativa, enquanto que o mapeamento do Atlas de Remanescentes do bioma (SOS Mata Atlântica/INPE, 2000, 2008) só quantifica florestas maduras, com dossel contínuo. Dessa forma, os dados do Censo tendem a superestimar tanto o desmatamento quanto a regeneração, por incluírem áreas a mais que os mapas. Por esse

motivo, foi aplicado o fator de correção de 0.34 para as taxas de desmatamento.

3.3 Validação

A validação das taxas geradas com a aplicação do modelo econométrico no DINAMICA EGO mostrou pequena divergência em relação ao observado segundo os dados do Censo Agropecuário (IBGE, 1995, 2006). A média das taxas modeladas foi 0.53%, enquanto a média observada de acordo com o Censo foi de 0.61%, para o conjunto de municípios utilizados no modelo econométrico.

As áreas de floresta obtidas na simulação entre 2005 e 2008, com o modelo já calibrado, foi de 12,520,925 ha, frente a 12,626,950 ha de florestas no mapa observado para 2008. Os locais com maior diferença entre áreas de floresta reais e simuladas são as regiões de maior desmatamento, nos estados de Santa Catarina, Paraná e nordeste de Minas Gerais, além de alguns municípios de grandes extensões na fronteira com Goiás e Mato Grosso do Sul (Figura 15). O mapa de probabilidade de desmatamento permite observar um padrão coerente com o esperado. As regiões apontadas pela estatística Kernel como *hotspots* de desmatamento apresentaram as maiores probabilidades. Já áreas protegidas na forma de Unidades de Conservação, como o Parque Estadual da Serra do Mar, no estado de São Paulo, e o Parque Estadual do Rio Doce, em Minas Gerais, apresentam menores chances de desmatamento (Figura 16).

As probabilidades de regeneração, por sua vez, são altas próximo a remanescentes e em áreas de topografia acidentada, como a Serra da Mantiqueira, na divisa dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (Figura 17). Ao longo de cursos d'água também aparecem zonas de maior chance de regeneração.

De acordo com a validação pelo método de similaridade recíproca, o modelo atingiu um nível de acerto de 50% na resolução de 10.5 km (janela de análise de 21 pixels) (Figura 18). A uma resolução 69 pixels, que corresponde a 34,5 km, atinge um grau de acerto e 90%. Esses resultados de validação

demonstram uma boa capacidade do modelo em prever a alocação dos pixels de desmatamento, considerando-se que a área de estudo tem mais de 2000 km de extensão

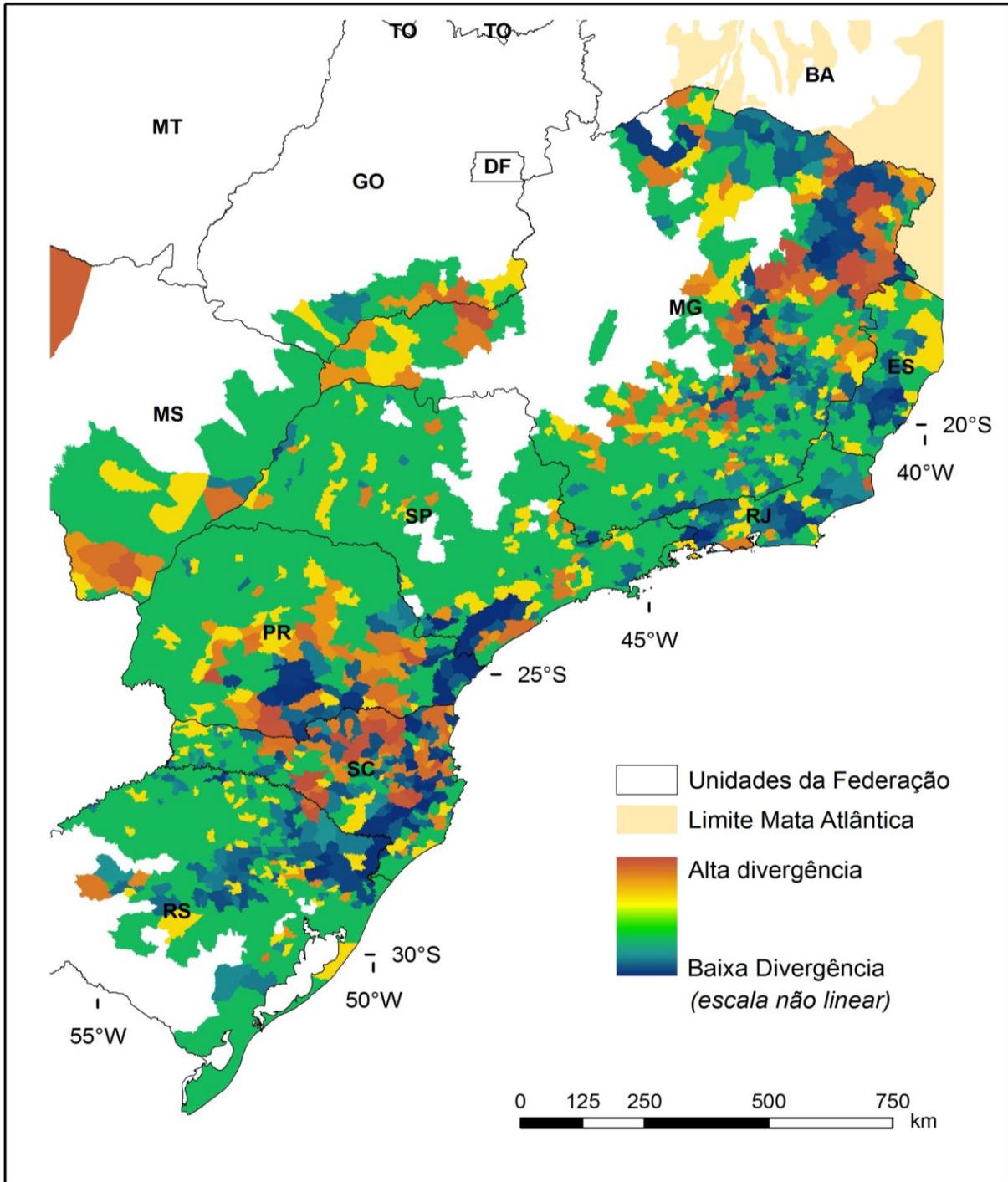


Figura 15: Diferenças por município entre área de floresta real e simulada para o período 2005 a 2008.

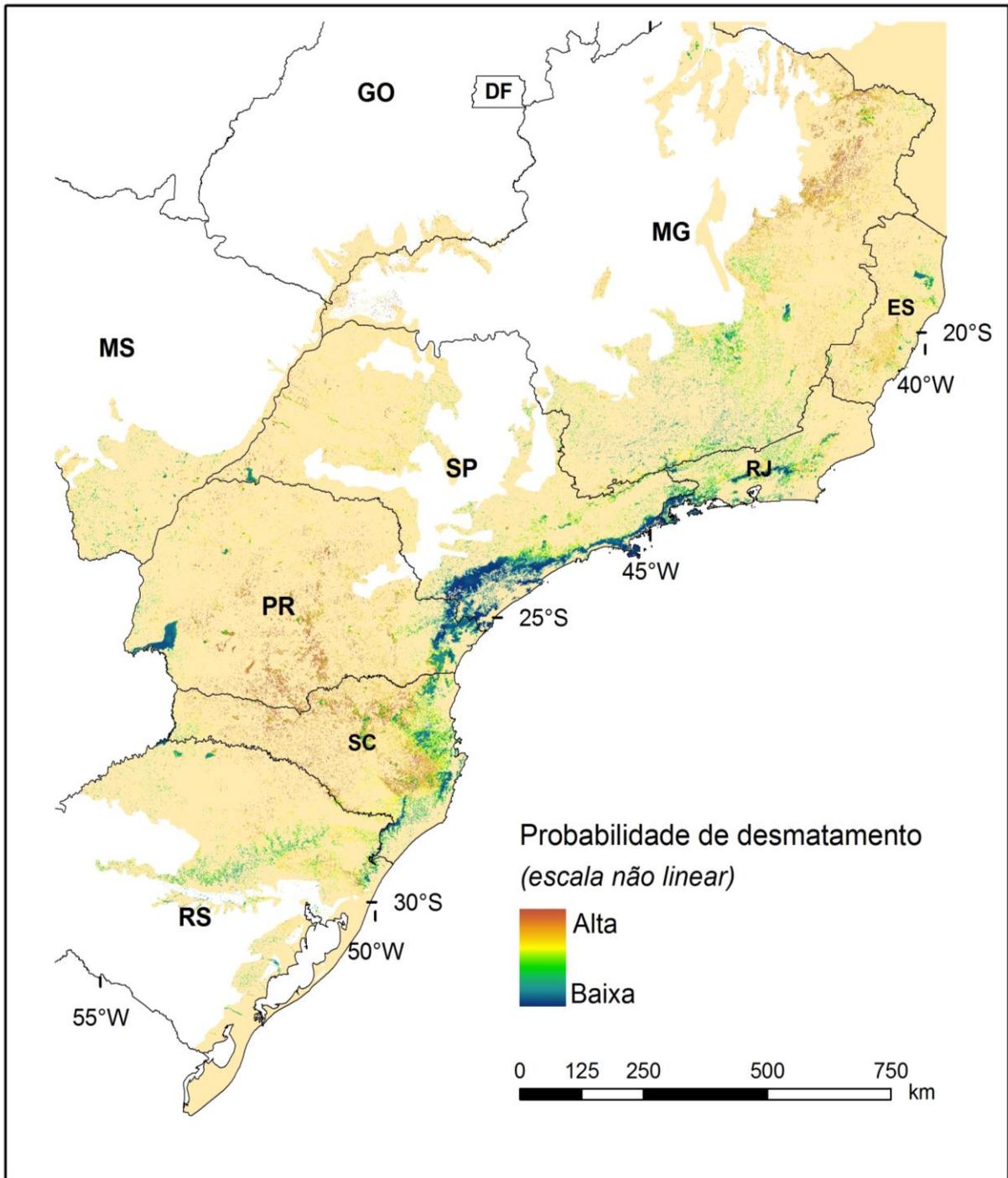


Figura 16: Probabilidades de desmatamento, segundo métodos de pesos de evidência para os determinantes espaciais fornecidos.

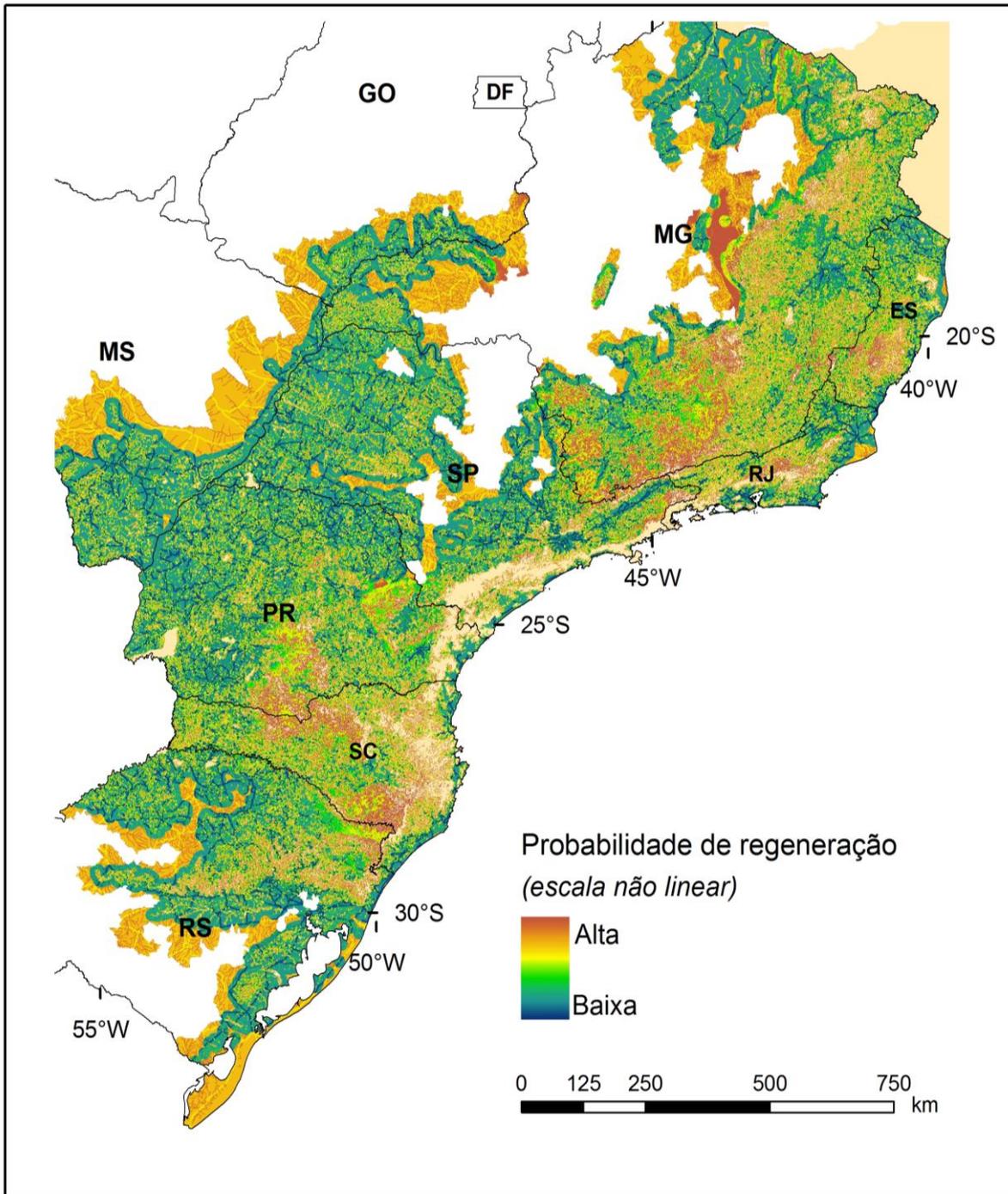


Figura 17: Probabilidades de regeneração, segundo métodos de pesos de evidência para os determinantes espaciais fornecidos.

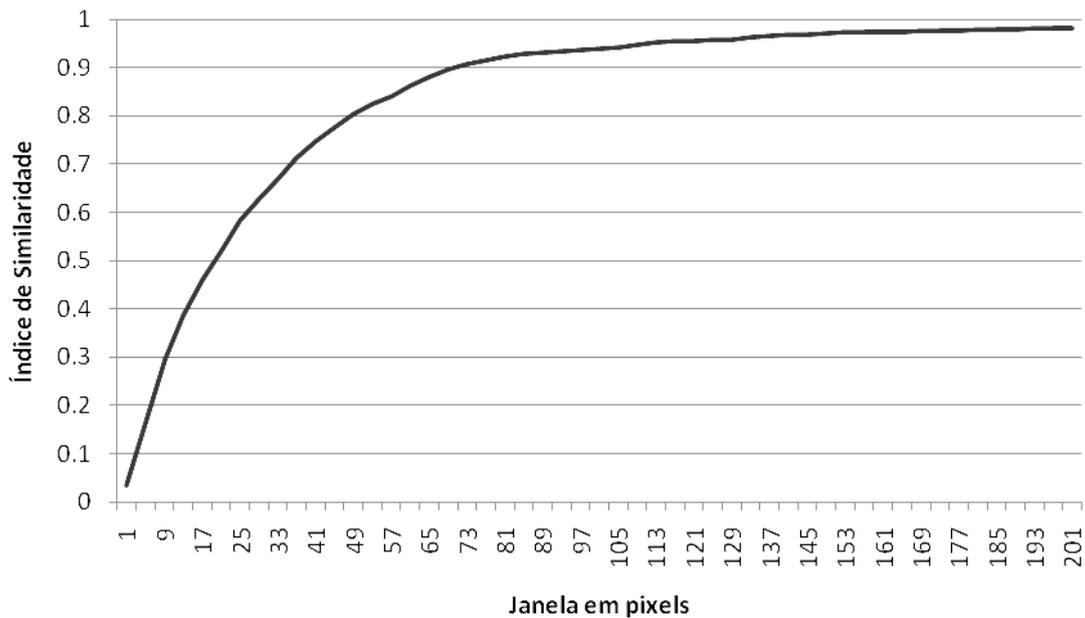


Figura 18: Índices de acerto de alocação espacial do modelo em relação ao tamanho da janela de análise (em pixels).

3.4 Simulação

Nos vinte e dois anos de simulação, o modelo gerou a perda de 1,165,150 ha de florestas, e regeneração de 3,079,550 ha. Os desmatamentos e regenerações simulados tenderam a concentrar-se nas bordas dos maiores remanescentes florestais, como na Serra do Mar (Figura 19 - 2). Isso indica que ocorre dinâmica mais intensa onde restam as maiores porções de floresta atlântica. Desmatamentos menos agregados também continuam a ocorrer, segundo o modelo, nas regiões do nordeste de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina (Figura 19 - 1 e 4), seguindo a tendência de 1995 a 2005. A regeneração ocorre principalmente no interior dos estados e ao longo de cursos d'água de grande porte (Figura 19 - 3).

Ressalta-se que, como a taxa foi calculada por município, o modelo tem como limitação simular apenas desmatamentos ou regeneração em cada municipalidade, não sendo possível representar ambos os processos no mesmo município, o que causa certo viés na alocação das mudanças.

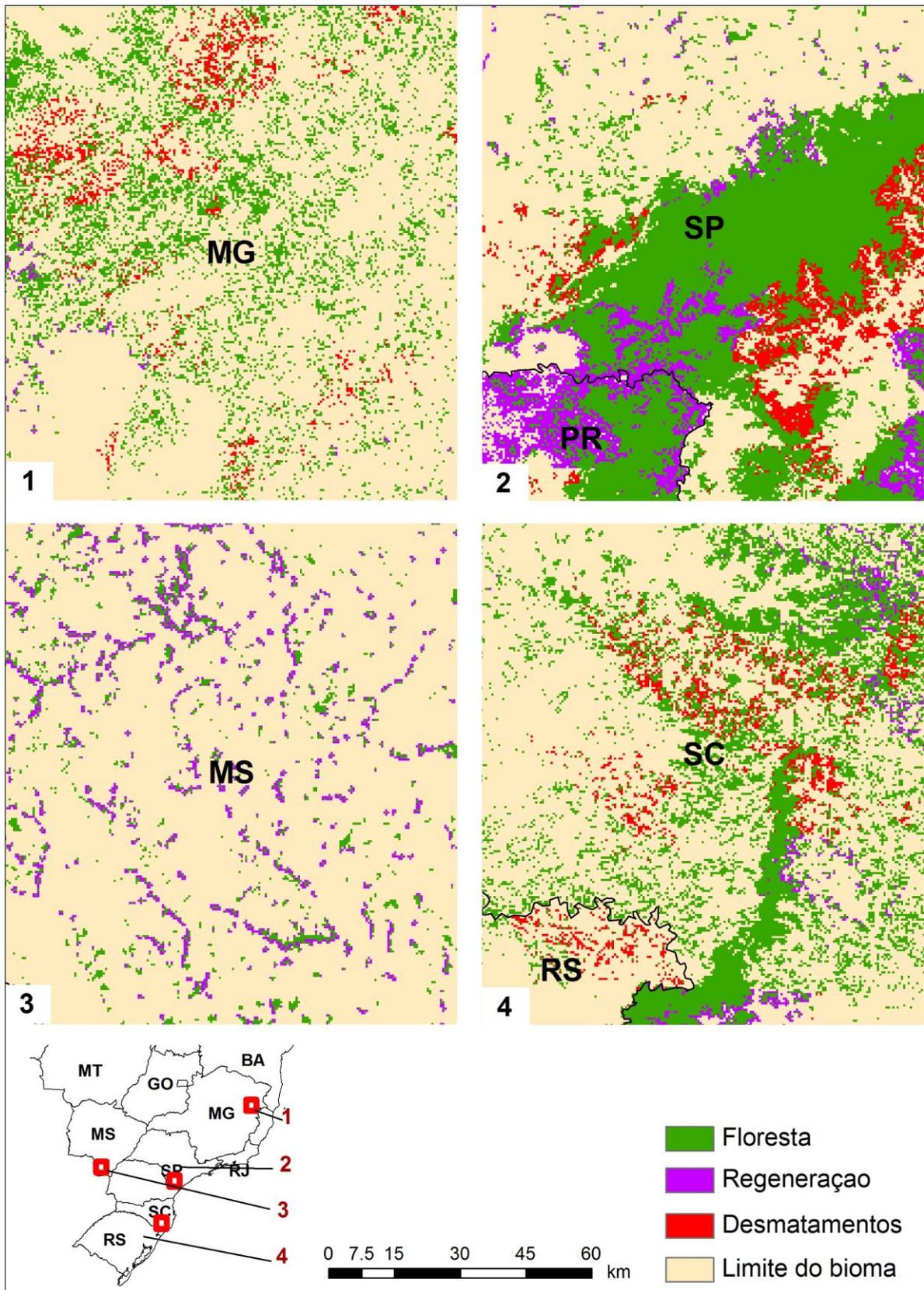


Figura 19: Resultado da simulação para o ano de 2030.

4. DISCUSSÃO

4.1. Desempenho do modelo

Um aspecto positivo do modelo proposto é sua capacidade de integrar dados socioeconômicos a dados espaciais para simular as mudanças nas paisagens da Mata Atlântica. Burgi *et al* (2004) apontam a importância de se integrar metodologias das ciências naturais e sociais para estudar processos ecológicos na paisagem, indo além da simples análise de padrões. Essa abordagem é especialmente útil para a criação de cenários políticos, econômicos e sociais, de forma a explorar os possíveis impactos desses contextos sobre as paisagens.

Neste trabalho, o modelo econométrico foi integrado com sucesso ao modelo espacial. As validações demonstraram que o modelo econométrico aplicado no ambiente DINAMICA EGO aproxima-se das taxas observadas no Censo Agropecuário, e que a aplicação do fator de correção permitiu a compatibilização dessas taxas com os dados espaciais do SOS Mata Atlântica / INPE (2000, 2008). A alocação espacial, por sua vez, apresentou acerto de 50% na resolução de 21 pixels, o que pode ser considerado um bom resultado considerando-se que a área de estudos apresenta 4730 x 4380 pixels de extensão, e que o bioma se encontra altamente fragmentado, o que dificulta a previsão espacial.

Destaca-se, por outro lado, a necessidade do uso de um fator de correção de 0.34, devido a grandes divergências entre as informações de taxas das duas fontes utilizadas (IBGE, 1995, 2006 e SOS Mata Atlântica / INPE, 2000, 2008). Esse fato está provavelmente relacionado com a limitada representatividade dos dados do IBGE (1998, 2006) em relação às quantidades reais de florestas, seja devido ao censo restringir-se a áreas rurais, seja devido aos valores serem baseados em entrevistas, tendendo a superestimar o desmatamento e a regeneração, incluindo florestas em estágios iniciais, como discutido anteriormente.

Wood & Skole (1998) apresentam uma análise detalhada das limitações de associações entre dados espaciais obtidos por sensoriamento remoto e dados censitários, concluindo que frequentemente apenas trabalhos de campo são capazes de corrigir divergências entre as fontes dos dados. No caso de modelos elaborados para uma escala tão grande quanto o domínio da Mata Atlântica, tal revisão em campo é inviável. Dessa forma, modelos para a grande extensão do bioma demandarão recorrentemente o uso de controles heteroscedásticos e fatores de correção, resultando em modelos generalistas.

Em relação aos dados espaciais, destaca-se que fragmentos florestais menores que três hectares, bem como porções de florestas estreitas, tais como matas ciliares, não são incluídas nos mapeamentos do SOS Mata Atlântica / INPE (2008). Florestas em estágio inicial de regeneração, até cerca de 10 anos, também não são mapeadas (Ponzoni, 2011, *com. pessoa*). Uma vez que fragmentos florestais pequenos e secundários são frequentemente os de mais fácil acesso, e sobre os quais incide menor pressão de fiscalização, devem estar sujeitos a uma intensa dinâmica de desmatamento e regeneração, que não pôde ser contemplada no modelo espacial por não estar representada nos mapas utilizados.

Ainda em relação às limitações dos dados espaciais de entrada, a ausência de mapeamentos da regeneração dificulta a simulação desse processo, e conseqüentemente impede uma análise mais acurada do fenômeno da transição florestal. Destaca-se, ainda, a ausência de dados de desmatamento do período para a região nordeste, cujo monitoramento é dificultado pela alta incidência de cobertura de nuvens. Para que o modelo possa abranger de forma adequada toda a extensão do bioma, é necessário que o mapeamento dessa região seja atualizado na mesma série temporal que para as demais áreas.

4.2. Possíveis abordagens futuras

O modelo aqui proposto foi capaz de simular de forma coerente a dinâmica contemporânea da Mata Atlântica, mesmo tendo em vista as limitações apresentadas pelos dados de entrada.

Aprimoramentos possíveis, já previstos para o modelo, incluem a inserção da transição “desmatamento de áreas em regeneração” e a adição de algoritmo para converter regenerações em floresta após um tempo de permanência, simulando o processo de sucessão ecológica.

Uma vez que se trata de um bioma de grandes extensões e condições socioeconômicas e ambientais bastantes heterogêneas, uma possibilidade que pode ser explorada é a regionalização do modelo, ou seja, a montagem de sub-modelos adequados à realidade de cada região. Esses sub-modelos poderiam ser aplicados para porções geograficamente contínuas ou para *clusters* de municípios com características socioambientais semelhantes.

4.3. Implicações para a conservação da Mata Atlântica

Os resultados da simulação com o modelo elaborado para a Mata Atlântica permitem identificar áreas prioritárias para ações de conservação. É o caso das bordas da Serra do Mar, região com os maiores remanescentes do bioma, e que apresenta, segundo o modelo, alta susceptibilidade ao desmatamento. Ações de fiscalização podem ser úteis para reforçar o papel das Unidades de Conservação nessa região. Já áreas com pouca regeneração, por sua vez, podem ser boas candidatas a incentivos políticos e fiscais ao reflorestamento com espécies nativas.

A inclusão do processo de regeneração no modelo permite que ele seja utilizado para monitorar e simular o processo de transição florestal no bioma, e mesmo para verificar a hipótese de que tal fenômeno esteja em curso na Mata Atlântica, conforme corroboram os dados de desaceleração do desmatamento (SOS Mata Atlântica / INPE, 2000, 2008), os resultados obtidos por Kronka *et al* (2005) e as estimativas de Gouvello *et al* (2010), de que o desmatamento no

bioma seria reduzido em 90% até 2030. Para que o modelo aqui proposto possa ser usado para esse fim, porém, faz-se necessária a disponibilização de dados espaciais de regeneração pelo convênio SOS Mata Atlântica / INPE, permitindo a calibração adequada desse processo.

Outra utilidade do modelo é avaliação dos impactos da legislação ambiental sobre a conservação da Mata Atlântica. As Áreas de Preservação Permanentes (APPs) e as Reservas Legais, por exemplo, obrigam o proprietário rural a preservar porções de floresta em pé em suas terras, o que tem um efeito de refrear e até mesmo impedir o desmatamento nessas áreas, ao mesmo tempo em que incentiva o reflorestamento. O modelo econométrico confirmou que esses dispositivos têm um efeito significativo sobre as taxas de desmatamento e regeneração e os pesos de evidência utilizados indicam relação entre a alocação de regenerações e a proximidade a rios.

Nesse contexto, as alterações no Código Florestal Brasileiro propostas recentemente pelo Congresso Brasileiro podem representar uma ameaça à consolidação da transição florestal do bioma, pois permitiria a ocupação de parte das APPs antes preservadas por força de lei, além de anistiar desmatamentos ocorridos nesses locais até o ano de 2008, o que poderia ter impactos negativos na regeneração florestal. Simulações com cenários de alteração da legislação ambiental poderão elucidar esses impactos, tanto sobre as taxas quanto sobre a alocação de desmatamento e de regeneração.

Outro potencial uso futuro para o modelo proposto é a sua integração com modelos de outros biomas. Importante dizer que, como demonstram Jha & Murthy (2003) e Meyfroidt & Lambin (2009), a transição florestal em uma região está geralmente associada ao deslocamento do desmatamento para outras regiões. Walker (2012) alerta para uma possível relação entre a regeneração da Mata Atlântica e expansão da fronteira agrícola sobre a Amazônia. A conjugação de modelos de desmatamento e regeneração para os dois biomas será um campo frutífero de pesquisas nesse sentido.

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de modelos dinâmicos e espacialmente explícitos para a Mata Atlântica é importante para a compreensão de sua dinâmica contemporânea, e conseqüentemente para o planejamento eficaz da alocação de recursos para a sua conservação.

Este trabalho apresenta uma primeira proposta metodológica de modelagem da Mata Atlântica em sua totalidade. Apesar das limitações nos dados espaciais e censitários, a plataforma e os métodos utilizados mostraram-se capazes de modelar o desmatamento e a regeneração do bioma de forma satisfatória. Potenciais usos para o modelo incluem a identificação de áreas prioritárias para ações de conservação, o acompanhamento do processo de transição florestal e a avaliação dos impactos das alterações na legislação ambiental sobre a conservação do bioma.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, apresentou-se uma proposta metodológica inicial para a modelagem do bioma Mata Atlântica. O modelo proposto inclui o cálculo de taxas baseadas em equação econométrica, permitindo, futuramente, a criação de cenários de projeção do desmatamento e regeneração da Mata Atlântica nos próximos anos.

O modelo foi capaz de simular a tendência de desmatamento e regeneração, embora com limitações relacionadas aos dados disponíveis, destacando-se: i) discrepância entre dados fornecidos pelo SOS Mata Atlântica / INPE e Censo Agropecuário; ii) ausência de mapeamento de desmatamento para a região nordeste; iii) ausência de mapeamentos de regeneração; iv) viés dos dados de área baseados em entrevistas do Censo Agropecuário. Destaca-se, assim, a necessidade de melhores dados para que modelos mais precisos possam ser elaborados.

Além da baixa coerência dos dados disponíveis, é importante lembrar que a Mata Atlântica tem grandes dimensões e conseqüentemente alta heterogeneidade socioambiental. Por possuir dimensões continentais, atravessando regiões do País que tiveram histórias de ocupação e exploração bastante diversas, o bioma é um desafio para a modelagem. Para modelar a dinâmica de todo seu domínio é necessário um modelo suficientemente genérico para abarcar a diversidade de padrões do bioma.

Dentre as melhorias possíveis, espera-se que regionalizações dos modelos permitam maiores ajustes, adequados à realidade de cada porção geográfica. A continuidade do monitoramento do bioma, com metodologia de mapeamento estável, inclusão do levantamento de áreas em regeneração e abrangência da região nordeste, poderão fornecer dados mais coerentes para os futuros modelos.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à equipe do Laboratório de Sensoriamento Remoto, pelo apoio na construção da base de dados e auxílio na revisão deste trabalho, à CAPES pelo apoio financeiro, a Flávio Ponzoni e Marcos Rosa, do INPE e ArcPlan, e à SOS Mata Atlântica, pelo fornecimento dos dados espaciais sobre o bioma, e a Antonio Carlos Florido, do IBGE, pelas instruções para compatibilização de municípios alterados.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A.P.D.; CÂMARA, G.; ESCADA, M.I.S. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity. *Ecological Modelling*, v. 209 n. 2-4, p.169-188, Dez. 2007.

ANGELSEN, A. *Forest cover change in time and space: combining the Von Thunen and Forest transition theories*. World Bank policy research working paper 4117. Fev. 2007.

APAN, A.A. & PETERSON, J.A. Probing tropical deforestation. *Applied Geography*, v.18, n. 2, p. 137-152, Abr. 1998.

BAPTISTA, S.R.; RUDEL, T.K. A re-emerging Atlantic forest? Urbanization, industrialization and the forest transition in Santa Catarina, southern Brazil. *Environmental Conservation*, v. 33, n. 3, p. 195-202, Jul. 2006.

BONHAM-CARTER, G. *Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS*. New York: Pergamon, 1994. 398 p.

BRASIL. *Lei nº 11.428*, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm>. Acesso em: 14 Jun. 2011.

BURGI, M., HERSPERGER, A.M., SCHNEEBERGER, N. Driving forces of landscape change - current and new directions. *Landscape Ecology*, v. 19, n. 8, p. 857-868, Dez. 2004.

CABRAL, D.C., FREITAS, S.R., FISZON, J.T., 2007. Combining sensors in landscape ecology: imagery-based and farm-level analysis in the study of human-driven forest fragmentation. *Sociedade & Natureza* 19, 69–87.

CHOMIZ, K.M. & THOMAS, T.S. Determinants of Land Use in Amazonia: a fine-scale spatial analysis. *American Journal of Agricultural Economic*. v. 85, n. 4, p.1016-1028, Nov. 2003.

DEAN, W. A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. São Paulo: Companhia das Letras, 1995. 484 p.

DE SÁ, S.A., PALMER, C., DI FALCO, S. *Dynamics of indirect land-use change: empirical evidence from Brazil*. Centre for Climate Change Economics and Policy Working. Paper nº 86. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. Working Paper nº 74. 28p. Mar 2012.

DINDA, S. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: a survey. *Ecological Economics*, v.49, n.1, p. 431-455, Ago. 2004.

GOMES, L.M., REIS, R.B., CRUZ, C.B.M. *Análise da cobertura florestal da Mata Atlântica por município no Estado do Rio de Janeiro*. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 de abril 2009, INPE, p. 3849-3857.

GOUVELLO, C. *et al.* Brazil Low-carbon Country Case Study, 2010. WorldBank Report. Disponível em: http://siteresources.worldbank.org/BRAZILEXTN/Resources/Brazil_LowcarbonStudy.pdf. Acesso em: 29 fev. 2012.

GROENEVELD, J. *et al.* The impact of fragmentation and density regulation on forest succession in the Atlantica rain forest. *Ecological Modelling*, v. 200, n. 19, p. 2450-2459, Out. 2009.

HAGEN, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 17, n. 3, p. 235-249, Mai. 2003.

HEERINK, N., MULATU, A., BULTE, E. Income inequality and the environment: aggregation bias in environmental Kuznets Curve. *Ecological Economics*, v.38, n.3, p. 359-367, Set. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Agropecuario 1995/96. Rio de Janeiro, Brazil: IBGE. 1998. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 de jun. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Agropecuario 2006. Rio de Janeiro, Brazil: IBGE. 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 de jun. 2011.

INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS DO SUL DA BAHIA (IESB), Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IGEO/UFRJ), Departamento de Geografia da Universidade Federal Fluminense (UFF). Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica. Relatório final. PROBIO 03/2004, Brasília. 2007. 84p

JHA, R. & MURTHY, K.V.B. An inverse global environmental Kuznets curve. *Journal of Comparative Economics*. v. 31, n. 2, p. 352-368, Jun. 2003.

KRONKA, F.J.N *et al.* Monitoramento da vegetação natural e do reflorestamento no Estado de São Paulo. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1569-1576, Abr. 2005.

LE SAGE, J.P. & PACE, R.K. *Introduction to Spatial Econometrics*. New York: Taylor & Francis Group, 2009. 321 p.

LEITE, C.C. *et al.* Historical land use change and associated carbon emissions in Brazil from 1940 to 1995. *Global Biogeochemical Cycles*. Submetido em Junho/2011.

LORENA, R.B.; LAMBIN, E.F. The spatial dynamics of deforestation and agent use in the Amazon. *Applied Geography*, v. 29, n. 2, p. 171-181, Abr. 2009.

MATHER, A.S. & NEEDLE, C.L. The Forest Transition: a theoretical basis. *Area*, v. 30, n.2, p. 117-124, 1998.

MELGES, A.M.C. *et al.* Transição florestal no estado de SP: artefato ou realidade?. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE, p. 1547.

MEYFROIDT, P & LAMBIN, E.F. Forest transition in Vietnam and displacement of deforestation abroad. *PNAS*, v. 106, n. 38, p. 16139-16144, Set. 2009.

Disponível em: WWW.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0904942106. Acesso em: 27 março 2012.

MICHALSKI, F.; METZGER, J.P.; PERES, C. Rural property size drives patterns of upland and riparian forest retention in a tropical deforestation frontier. *Global Environmental Change*, v. 20, n. 4, p. 705-712, Out. 2010.

MIRANDA-ARAGÓN, L. *et al.* Modeling susceptibility to deforestation of remaining ecosystems in North Central Mexico with logistic regression. *Journal of Forestry Research*, Issn: 1007-662X, DOI 10.1007/s11676-012-0230-z, p. 1-10, disponível *online* em 30 Março 2012.

MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p. 853-858, Fev. 2000.

NAGENDRA, H., SOUTHWORTH, J., TUCKER, C. Accessibility as a determinant of landscape transformation in western Honduras: linking pattern and process. *Landscape Ecology*, v. 18, n. 2, p. 141-158, Mar. 2003.

PFAFF, A.S.P. What drives deforestation in the Brazilian Amazon? Evidence from satellite and socioeconomic data. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 37, n. 1, p. 26-43, Jan. 1999.

REIS, E.J.; BLANCO, F.A.; DIPES, I. The Causes of Brazilian Amazon Deforestation. Preliminary Draft of the wider project The Forest in the South and the North in the Context of Global Warming, Amazon Sub-Study. IPEA, Rio de Janeiro, Fev. 1997. Disponível em: <http://www.nemesis.org.br/seg-din.php?s=500&i=pt>. Acesso em: 24 nov. 2010.

RIBEIRO, M. C. *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, Jun. 2009.

ROBERTSEN, C. *Forest transition or just deforestation? Evidence from Brazil*. Dissertação de Mestrado. Norwegian University of Life Sciences. 106 pp. 2011. Disponível em: <http://brage.bibsys.no/umb/bitstream/URN:NBN:no->

bibsys_brage_29169/1/Master%20Thesis%20Catrin%20Robertsen.pdf. Acesso em: 26 abr. 2012.

RODRIGUES, H.O., SOARES-FILHO, B.S., COSTA, W.L.S. DINAMICA EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21- 26 abril 2007, INPE, 3089-3096 p.

RODRIGUES, R.J. Da exploração à (Co)Operação Internacional (Alemã) para a Mata Atlântica: o subprograma PDA Mata Atlântica. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. 2008. 192 p.

SADER, S. A. and JOYCE, A. T. (1988) Deforestation rates and trends in Costa Rica, 1940–1983. *Biotropica*, v. 20, n.1, p. 11–19, Jun. 1988.

SILVA, J.H.G.D. *Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon : An Empirical Analysis of the 2000s*. 2009. Disponível em: <http://www.nemesis.org.br/sec-din.php?s=500&i=pt>. Acesso em: 24 nov. 2010.

SOARES-FILHO, B.S., *et al.* *Simulating the spatial patterns of change through the use of the Dinamica model*. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, p. 721-728.

SOARES-FILHO, B. *et al.* Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology*, v. 10, n. 5, p. 745-764, Mai. 2004.

SOARES-FILHO *et al.* DINAMICA project. 2005. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/dinamica> Acesso em: 09 jan. 2012.

SOARES-FILHO, B.S. *et al.* Cenários de desmatamento para a Amazônia. *Estudos avançados* [online]. v.19, n.54, p. 137-152, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0103-40142005000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 11 de jun. 2011.

SOARES-FILHO, *et al.* Modelagem de Dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. *Megadiversidade*, v. 3, n. 1-2, p. 74-86, Dez. 2007.

SOARES-FILHO, B.S. *et al.* Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento da Amazônia: a caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, M. *et al* (Org.) *Amazônia: Natureza e Sociedade em Transformação*. São Paulo: Edusp, 2008, v.1, p. 304.

SOARES-FILHO, B., *et al.* Role of Brazilian Amazon protected áreas in climate change mitigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 107, n. 24, p. 10821-10826, Jun. 2010.

SOS MATA ATLÂNTICA, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 1993. Atlas da evolução dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 1985 a 1990. Disponível em: <<http://www.sosmatatlantica.org.br>>. Acesso em: 11 de jun. 2011.

SOS MATA ATLÂNTICA, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2000. Atlas dos remanescentes florestais e ecossistemas associados no domínio da Mata Atlântica. Disponível em: <<http://www.sosmatatlantica.org.br>>. Acesso em: 11 de jun. 2011.

SOS MATA ATLÂNTICA, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2008. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período de 2000 a 2005. Disponível em: <<http://www.sosmatatlantica.org.br>>. Acesso em: 11 de jun. 2011.

SOS MATA ATLÂNTICA, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2011. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2008-2010. Disponível em: <<http://www.sosmatatlantica.org.br>>. Acesso em: 11 de jun. 2011.

TABARELLI *et al.* Desafios e oportunidades para a conservação a biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. *Megadiversidade*, v.1, n. 1, p. 132-138, Jul. 2005.

TEIXEIRA, A. M. G. *et al.* Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: Implications for conservation. *Forest Ecology and Management*, v. 257, n. 4, p. 1219-1230, Fev. 2009.

VELDKAMP, A. & VERBURG, P.H. Modelling land use change and environmental impact. *Journal of Environmental Management*. v. 72, n. 1-2, p. 1-3, Ago. 2004.

VIEIRA, S.A. *et al.* Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. *Biota Neotropica*, v. 8, n. 2, Jun. 2008. On-line version ISSN 1676-0603. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032008000200001>. Acesso em: 08 de fev. 2012.

WALKER, R. The scale of forest transition: Amazonia and the Atlantic forests of Brazil. *Applied Geography*. v. 32., n 1, p. 12-20, Jan. 2012.

WOOD, C.H.; SKOLE, D. Linking satellite, census, and survey data to study deforestation in the Brazilian Amazon. In: *People and Pixels: linking remote sensing and social science*. Washington: National Academies Press, 1998. 244 p.

APENDICE I

Tabela de variáveis originais submetidas a *stepwise*.

SIGLA	DESCRIÇÃO	UNIDADE REFERÊNCIA
CODIGO	Geocódigo do município ou da unidade agregada, em caso de municípios que sofreram alteração, segundo o IBGE.	-
IBGE95	Área de Mata Atlântica florestal, segundo dados do Censo Agropecuário de 1995 (quantidade de mata declarada em 1995 = mata nativa + área não aproveitada (conforme orientação do Antonio Carlos Simões Florido, Gerente do Censo Agropecuário do IBGE).	porcentagem em relação à área municipal
TXIBGE	Taxa geométrica de variação na quantidade de remanescentes, segundo dados do Censo Agropecuário de 1995 e 2006 (quantidade de mata declarada em 1995 menos quantidade de mata declarada em 2006). Observação: Mata Nativa em 1995 = mata nativa + área não aproveitada (conforme orientação do Antonio Carlos Simões Florido, Gerente do Censo Agropecuário do IBGE). Valores negativos indicam desmatamento, e valores positivos indicariam regeneração.	-
APPRL	Matas e/ou florestas - naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal, segundo Censo Agropecuário IBGE 2006	porcentagem em relação à área municipal
PTTOT95	Total de pastagens em 1995, segundo dados do Censo Agropecuário de 1995, dado pela soma "PTPLAN_95 + PTNAT_95".	porcentagem em relação à área municipal
AMPTTOT	Ampliação de pastagens totais no período 1995 a 2006. Igual à subtração "PTTOT_06 - PTTOT_95"	porcentagem
TXPTTOT	Taxa geométrica de variação de pastagens totais.	-
LAVTOT95	Total de lavouras em 1995, segundo dados do Censo Agropecuário de 1995, dado pela soma "LAVT_95 + LAVP_95".	porcentagem em relação à área municipal
AMLAVTOT	Ampliação de lavouras totais no período 1995 a 2006. Igual à subtração "LAVTOT_06 - LAVTOT_95"	porcentagem
TXLAVTOT	Taxa geométrica de variação de lavouras totais.	-
SILV95	Área de silviculturas (florestas plantadas) em 1995, segundo Censo Agropecuário de 1995.	porcentagem em relação à área municipal

AMSILV	Ampliação de silviculturas (florestas plantadas) no período 1995 a 2006. Igual à subtração "SILV_06 - SILV_95"	porcentagem
TXSILV	Taxa geométrica de variação de silvicultura.	-
N_SFORM	Número de estabelecimentos em que se identificou produtor sem formação escolar, segundo dados do Censo Agropecuário de 2006.	-
N_ENSSUP	Número de estabelecimentos em que se identificou produtor com Ensino Superior, segundo dados do Censo Agropecuário de 2006.	-
PIB96	Produto Interno Bruto municipal em 1996. As estimativas do PIB a custo de fatores e a preços básicos é igual à soma dos setores: agropecuária, indústria e serviços. Conceito utilizado antes de 1999: a custo de fatores. Dados do IBGE, obtidos pelo Ipeadata.	R\$ de 2000 (mil)
TX_PIB	Taxa geométrica da variação do PIB.	-
PIBind96	Produto Interno Bruto municipal em 2000, referente a indústria - valor adicionado - preços básicos . As atividades deste setor compreendem: indústria de transformação e extrativa mineral, construção civil e serviços industriais de utilidade pública. Para metodologia ver: Metodologia PIB. Conceito utilizado a partir de 1999 a preços básicos. Dados do IBGE, obtidos pelo Ipeadata.	R\$ de 2000 (mil)
TXPIBind	Taxa geométrica da variação do PIB industrial.	-
PIBagr96	Produto Interno Bruto municipal em 2005, referente a agropecuária - valor adicionado - preços básicos . Para 2002-2005: Sistema de Contas Regionais Referência 2002. Conceito utilizado a partir de 1999 a preços básicos. Dados do IBGE, obtidos pelo Ipeadata.	R\$ de 2000 (mil)
TXPIBagr	Taxa geométrica da variação do PIB agrícola.	-
CARV95	Quantidade de carvão extraído em 1995. Fonte: IBGE - Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura.	toneladas
LEN95	Quantidade de lenha extraída em 1995. Fonte: IBGE - Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura.	metros cúbicos

MAD95	Quantidade de madeira extraída em 1995. Fonte: IBGE - Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura.	metros cúbicos
IDH91	Índice de Desenvolvimento Humano em 1991. Fonte: IPEAdata	índice
TX_IDH	Taxa geométrica da variação do IDH no período 1991 a 2000.	-
POCU91	População ocupada em 1991. Dados do IPEA, com base no censo demográfico IBGE.	-
BOV95	Quantidade de bovinos (cabeças) em 1995. Fonte: IBGE	-
TX_BOV	Taxa geométrica da variação da quantidade de cabeças de gado no período 1995 a 2005.	-
POP 91	População total em 1991. Fonte: IPEADATA	-
POPR91	População rural total em 1991. Fonte: IPEADATA	-
TX_POPr	Taxa geométrica da variação da população rural total no período 1991 a 2000.	-
POPU91	População urbana total em 2000. Fonte: IPEADATA	-
TX_POPu	Taxa geométrica da variação da população urbana total no período 1991 a 2000.	-
TRANS_95	Índice de custo de transporte, calculado pelo Dinamica a partir de mapa de Rodovias Federais, Federais Delegadas, Estaduais e Municipais, Escala 1:1.000.000, para todo o Brasil, da CENTRAN, ano de atualização 2006. Calculada com fricção 1 para rodovias e 20 para fora da rodovia. Quanto maior o índice, maior a dificuldade de transporte no município.	índice
AREPROT	Área ocupada no município por Unidades de Conservação. Calculado no ArcGIS, em projeção SouthAmerican Conica Equivalente, com base em base de dados de UC's do Instituto Socioambiental e World Conservation Monitoring Center da UNEP.	hectare
DIMUN	Índice de dinamismo municipal, calculado como a quantidade de municípios que enviam pessoas para estudar ou trabalhar no município foco.	índice
DECLIV	Declividade média no município, calculada com apoio do Dinamica, a partir de dados de topografia SRTM.	porcentagem

ALTIT	Altitude média no município, calculada com apoio do Dinamica, a partir de dados de topografia SRTM.	metros
APP_med	Área estimada de Áreas de Preservação Permanentes (APP's) no município. Área corresponde àquela que deveria ser preservada para cursos d'água, não necessariamente àquela de fato preservada. Não inclui APP de topo de morro, declividade, etc. Estimada por modelo executado no Dinamica para fins de modelagem do Código Florestal brasileiro (Wiliam Leles, com. pessoal, 2011).	hectare

APENDICE II

Comprovantes de submissão do trabalho.



carol guilen <carolmg@gmail.com>

SEA2012 - Acceptance notification

SEA World Conference 2012 <sea2012@cedeplar.ufmg.br>

22 de abril de 2012 18:07

Para: carolmg@gmail.com

Dear Carolina Guilen,

We are pleased to announce that your paper entitled "**Modelling Forest Transition in the Atlantic Forest**" has been selected for presentation at the VI World Conference of the Spatial Econometrics Association, SEA 2012.

Please check our [website](http://www.cedeplar.ufmg.br/sea2012/registration.html) for instructions on how to proceed with your registration for the Conference: <http://www.cedeplar.ufmg.br/sea2012/registration.html>

The deadline for early bird registration with reduced fee is April, 29th, and the final date for registration is June 24th.

Should you have any questions, feel free to contact us. Cordially,

Mauro Lemos, Program Chair

--

Esta mensagem foi verificada pelo sistema de antivírus e acredita-se estar livre de perigo.

--

Organization Committee

VI World Conference - Spatial Econometrics Association

Salvador, 2012

Cedeplar - Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional

<http://www.cedeplar.ufmg.br/sea2012/>

--

Esta mensagem foi verificada pelo sistema de antivírus e acredita-se estar livre de perigo.

- Registration - Early bird registration: **April, 29th**; Final registration date: **June, 24th**.

Abstract Submission - Until April, 8th

- Please submit your abstract with a minimal amount of formatting, i.e. no caps, bold or italics.
- Abstracts should not exceed 250 words and should not contain equations.
- The file should contain the following information: Title of the paper, authors, affiliations, e-mail addresses of the authors, keywords and JEL Codes.
- A limited number of papers will be accepted.
- Send your abstract as .doc file or plain-text attachment (no PDF) to sea2012@cedeplar.ufmg.br

Full paper submission - Until June, 24th

Please submit the full text of your accepted paper in PDF format by June, 24th to sea2012@cedeplar.ufmg.br. A special issue of Empirical Economics will be published with papers presented at the conference. The usual blind review procedure adopted by the journal will apply.

Graduate student paper competition

The Spatial Econometrics Association sponsors a graduate student paper competition. A paper can be submitted for the competition if the author is currently a graduate student or his/her graduation date was after January 1, 2011. In the case of a co-authored paper the eligibility criterion pertains to all authors.

The jury for the prize consists of the members of the SEA Board of Directors who are present at the conference. Giuseppe Arbia chairs the jury, and he will announce the prize winners and present the awards during the official conference dinner.

If you are eligible and want to participate, please send your full paper to sea2012@cedeplar.ufmg.br by **March, 25th**, requesting its evaluation for the competition.



Carolina Marques Guilen | [Sair](#)

- Inscrição
- Resumos/Trabalhos
- Site do Evento
- Minhas Inscrições
- Dados Pessoais
- Troca de Senha
- Entre em contato
- Sair

Resumo # RS38674BStatus: **Aguardando avaliação pela Comissão Científica****Dados gerais****Tipo de Apresentação** Comunicação Oral**Resumo****Modelagem da Dinâmica da Mata Atlântica no Contexto de Transição Florestal**

Guilen CML¹, Soares-Filho BS¹, Garcia RA² - ¹Universidade Federal de Minas Gerais - Centro de Sensoriamento Remoto - Instituto de Geociências, ²Universidade Federal de Minas Gerais - Laboratório de Estudos Territoriais - Instituto de Geociências

Apesar de sua reconhecida importância ecológica e de seu elevado grau de fragmentação, a dinâmica da Mata Atlântica tem sido pouco estudada por modeladores ambientais. Este trabalho traz como contribuição uma proposta de modelagem espacialmente explícita para o bioma, no contexto de transição florestal. O modelo proposto é constituído de duas partes: i) a estimativa de taxas de desmatamento e regeneração com base em um modelo econométrico, e ii) a integração do modelo econométrico com variáveis espaciais, gerando um modelo espacialmente explícito. O modelo econométrico foi calibrado com dados geográficos e econômicos baseados no Censo Agropecuário (IBGE, 1998, 2006), obtendo-se um modelo de auto-regressão espacial no termo de erro. O modelo espacial foi calibrado com dados do convênio SOS Mata Atlântica/INPE (2000, 2008) de 1995 e 2005, e validado com base no mapa de mudanças de 2005 a 2008. Por fim, uma simulação para o ano 2030 avalia o comportamento do modelo a longo prazo. Os resultados mostraram que o modelo é capaz de representar a dinâmica contemporânea da Mata Atlântica, podendo ser utilizado para observar o fenômeno de transição florestal, para identificar áreas prioritárias para conservação e recuperação e para avaliar os impactos de alterações no Código Florestal para a conservação do bioma.

[<< Voltar](#)

© 1998, 2012 Eventus - Planejamento e Organização

