

# EVIDÊNCIAS SOBRE O IMPACTO DO FUNDO AMAZÔNIA NO DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA

Daniel de Alencastro Bouchardet<sup>1</sup>  
Alexandre Alves Porsse<sup>2</sup>  
Romano Timofeiczuk Júnior<sup>3</sup>

## Área 11 - Economia Agrícola e do Meio Ambiente

### Resumo

O principal objetivo deste artigo é avaliar o impacto do Fundo Amazônia sobre o desmatamento dos municípios que compõem a Amazônia Legal. Primeiramente faz-se uma revisão sobre as políticas de combate ao desmatamento e uma análise sobre a dinâmica espacial desse fenômeno entre 2002 e 2014. Em seguida, faz-se uma análise de impacto utilizando modelos de regressão em painel espacial que controlam fatores econômicos e o efeito do Fundo Amazônia. Também se realizou um teste placebo para avaliar a robustez do impacto mensurado para o Fundo. Os resultados mostram evidências de que o Fundo tem contribuído para a redução do desmatamento e a dinâmica espacial presente nesses modelos indica que tais efeitos podem transbordar para os municípios vizinhos.

**Palavras-chaves:** desmatamento, Fundo Amazônia, modelos em painel espacial, análise de impacto.

**Código JEL:** C31, Q23, Q24.

### Abstract

This paper aims to evaluate the impact of Amazon Fund on deforestation among Legal Amazonia municipalities. Firstly, it is discussed the evolution of deforestation policies as well the spatial dynamics of deforestation between 2002 and 2014. Then, the impact analysis is carried out using spatial panel regression models controlling for economic factors and the effect of the Amazon Fund. Additionally, it was conducted a placebo test to assess the robustness of the impact analysis. The results show evidence that the Fund has contributed to the reduction of deforestation in the Legal Amazonia municipalities and the spatial dynamics into the econometric models indicates the presence of spatial spillover effects related to the Amazon Fund.

**Keywords:** deforestation, Amazon Fund, spatial panel models, impact analysis.

**JEL Code:** C31, Q23, Q24.

## 1 Introdução

As consequências do desmatamento envolvem a emissão de gases de efeito estufa, impactos nos recursos hídricos e perda de biodiversidade. Devido à importância do bioma amazônico e a importância que assuntos ambientais ganharam após as Conferências Climáticas da Organização das Nações Unidas, o governo brasileiro programou diversas ações para reduzir o desmatamento na Amazônia Legal desde 2004.

Uma dessas ações foi a criação do Fundo Amazônia em 2009 e que está operante até o presente. Este Fundo possui como objetivo reduzir as taxas de desmatamento no Brasil de forma consistente e contínua e contribuir para a redução da emissão de gases de efeito estufa. O Fundo opera com captação de recursos por doações e apoia projetos que contribuam na redução do desmatamento por meio de financiamentos não reembolsáveis. Até o final de 2014, o Fundo recebeu 2 bilhões de reais como doação, a grande maioria proveniente do governo norueguês. Os projetos apoiados pelo Fundo no período 2009-2013 representaram R\$ 771 milhões.

Como o Fundo Amazônia opera com doações e financiamentos não reembolsáveis, a avaliação sobre sua efetividade pode contribuir para melhorar a gestão de recursos financeiros e alcançar o fim de redução do desmatamento. Assim, considerando a relevância do problema do desmatamento e o volume significativo de recursos alocados neste programa, o principal objetivo

---

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Florestal pela UFPR.

<sup>2</sup> Professor do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico da UFPR.

<sup>3</sup> Professor do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR.

deste estudo é avaliar empiricamente se os projetos apoiados pelo Fundo Amazônia têm contribuído para a redução do desmatamento nos municípios da Amazônia Legal.

O artigo está organizado em cinco seções. A segunda seção faz uma revisão da literatura abordando as causas e desenho de políticas voltadas ao combate ao desmatamento, sendo particularmente exposto as características do Fundo Amazônia. Na terceira seção faz-se uma discussão sobre a espacialidade do processo de desmatamento e sua conexão com os desenhos de política fazendo-se uso de técnicas de análise exploratória de dados espaciais. A quarta seção apresenta a abordagem empírica utilizada para analisar os impactos do Fundo Amazônia, a qual baseia-se na especificação e estimação de modelos de painel espacial. Nesta mesma seção são reportados e analisados os resultados estimados dos modelos. Por fim, a quinta seção expõe as conclusões do estudo.

## 2 Revisão da literatura

A Amazônia Legal, instituída em 1959, possui área total de 5 milhões de km<sup>2</sup> e ocupa 59% do território brasileiro. Cobre 772 municípios de nove estados: Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do estado do Maranhão<sup>4</sup> (IPEA, 2008; IBGE, 2015). A vegetação é predominada por formações de floresta tropical, com áreas de savana nos estados Maranhão, Mato Grosso, Pará e Tocantins (IBGE, 2002).

Em 2011, aproximadamente 15% da Amazônia Legal havia sido convertida em áreas de pastagem ou de agricultura, sendo que a principal atividade na região é a pecuária e as áreas destinadas para cultivo agrícola possuem cultivos anuais – arroz, feijão, milho, soja, algodão – ou perenes – café, cacau, pimenta do reino (MAY; MILLIKAN; GEBARA, 2011). Os estados Mato Grosso, Pará e Rondônia possuem 75% do rebanho total da Amazônia Legal (IBGE/PPM, 2015). A soja e o milho são os principais cultivos agrícolas, representando cerca de 80% da área plantada com cultivos anuais e perenes. Em 2013, foram colhidos 13,7 milhões de hectares de soja e milho na Amazônia Legal, sendo 85% produzidos no Mato Grosso, maior Estado produtor de soja do Brasil (IBGE/PAM, 2015).

Historicamente, o desenvolvimento na Amazônia Brasileira foi pautado na conversão de áreas florestais em áreas de cultivo agrícola e pecuária (DENNIS; VAN RIPER; WOOD, 2011). Fearnside (2008) descreve três fases do processo do desmatamento. Durante a primeira fase, a vegetação original é removida para determinar a posse da terra, preparando a propriedade para a venda e especulação do preço da terra. Na segunda fase, pequenos fazendeiros adquirem as terras desmatadas e decidem sobre o uso do solo baseados em características regionais e preços dos produtos e da terra. A terceira fase é caracterizada pela transição da propriedade da terra de pequenos fazendeiros para grandes produtores, com alto investimento em capital e tecnologia. Relacionado com este processo, De Souza, Miziara e Marco Junior (2013) mostraram que ocorre maior desmatamento em áreas com maior densidade de propriedades privadas. Durante as últimas décadas, a pressão para alteração do uso do solo de áreas florestais se concentrou na região conhecida como “Arco do Desmatamento”. Esta abrange desde o sudeste do Maranhão, os estados do Tocantins, Pará, Mato Grosso e Rondônia, até o sudeste do Acre (MAY, MILLIKAN & GEBARA, 2011).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) monitora as taxas de desmatamento por corte raso na Amazônia Legal desde 1988, com o projeto PRODES (INPE, 2015). Desde 2004, o desmatamento apresentou diminuição média de 11% ao ano (FIGURA 1). Em 2004, foram desmatados 27 mil km<sup>2</sup> na Amazônia Legal e, em 2014, a área desmatada somou 5 mil km<sup>2</sup> (INPE/PRODES, 2015).

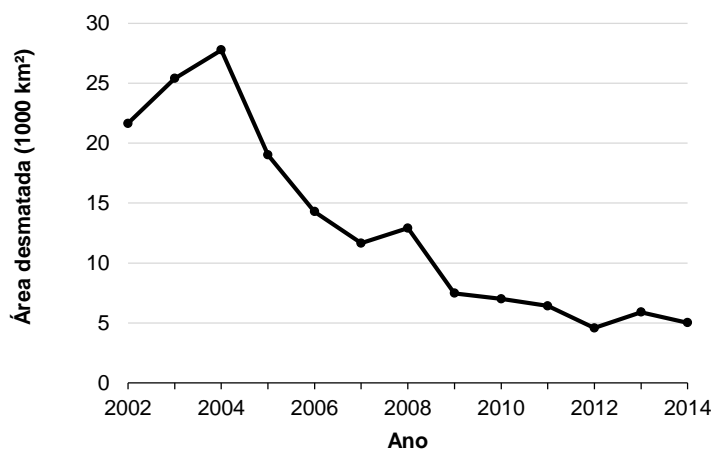
Da mesma forma que a produção agropecuária, o desmatamento está concentrado em alguns estados da Amazônia Legal, sendo que, desde 2006, o Pará é o estado que mais contribui para o

---

<sup>4</sup> A oeste do meridiano 44° Oeste.

desmatamento. Em 2014, 38% do desmatamento total ocorreu no Pará, 21% no Mato Grosso, 14% em Rondônia e 10% no Amazonas (INPE/PRODES, 2015).

FIGURA 1: EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO ANUAL, EM KM<sup>2</sup>, NA AMAZÔNIA LEGAL



FONTE: ELABORAÇÃO COM BASE NOS DADOS BRUTOS DO INPE/PRODES (2015).

## 2.1 Causas do desmatamento na Amazônia

As consequências da perda de vegetação nativa, como a perda de biodiversidade, degradação do solo e alterações no clima, aumentou a preocupação do Estado brasileiro e de pesquisadores sobre as causas e formas de controle do desmatamento. Desde a década de 90, o número de publicações sobre esse tema cresceu e a maioria dos modelos econômicos sobre desmatamento foi elaborada durante as décadas de 80 e 90 (KAIMOWITZ; ANGELSEN, 1998).

O benefício de usos alternativos do solo é um dos principais fatores para ocorrência do desmatamento em florestas tropicais, havendo um *trade-off* entre o ganho com o desmatamento e a conservação de áreas com florestas. Dessa forma, o desmatamento é o resultado da busca por maior ganho econômico (BARBIER; BURGESS, 1997; BARBIER; BURGESS, 2001; BARBIER; BURGESS; GRANGER, 2010; PIAZZA; ROY, 2015). De acordo com Araujo et al (2009), a região amazônica apresenta problemas sobre a segurança da posse da terra e a produção agropecuária é uma forma de remunerar a terra e garantir sua posse.

Na América Latina, a produção agrícola é uma das principais causas do desmatamento, sendo este correlacionado com os preços do boi-gordo e da soja (BARONA et al., 2010; EWERS; LAURANCE; SOUZA JR., 2008). Características regionais intrínsecas apresentam efeito sobre a área desmatada, como a topografia (ANDAM *et al.*, 2008; CHOMITZ; GRAY, 1996), vegetação (CHOMITZ; THOMAS, 2003), regime pluviométrico (CHOMITZ; THOMAS, 2003; LAURANCE *et al.*, 2002) e características edáficas (PFAFF; SANCHEZ-AZOFEIFA, 2004). Esses fatores influenciam os custos e ganhos da produção agropecuária e podem restringir ou aumentar a conversão de áreas florestais.

O mesmo processo ocorre na Amazônia Brasileira e os preços dos produtos condiciona a expansão do desmatamento (ÂNGELO; PEREIRA DE SÁ, 2007; FEARNSSIDE, 2008; GEIST; LAMBIN, 2002; MARGULIS, 2004; MORTON *et al.*, 2006; RIVERO *et al.*, 2009; VERBURG *et al.*, 2014). Então, modelos para avaliar o efeito de políticas de redução do desmatamento utilizam o preço dos produtos agropecuários como controle da área desmatada (ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA, 2012; ASSUNÇÃO *et al.*, 2013; HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013).

Fatores estruturais também são apontados como determinantes do desmatamento. Combes Motel, Pirard e Combes (2008) listam o desenvolvimento econômico e ciclos macroeconômicos, o crescimento demográfico e eventos climáticos. Outros fatores listados na literatura são a expansão da infraestrutura, a estrutura agrária e o aumento da população (GEIST; LAMBIN, 2002;

DE SOUZA, MIZIARA, JUNIOR, 2013; ÂNGELO; PEREIRA DE SÁ, 2007; LAURANCE *et al.*, 2002).

A região amazônica apresenta a rede fluvial mais extensa do país e a malha viária da região é reduzida, com uma pequena fração composta por rodovias pavimentadas (BRASIL/PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2008a). Contudo, a presença de estradas é apontada em diversos trabalhos como determinante do desmatamento, ou por facilitar o acesso da população a áreas anteriormente remotas ou por diminuir o custo de transporte da produção, aumentando a margem de ganho (ÂNGELO; PEREIRA DE SÁ, 2007; CHOMITZ; GREY, 1996; FEARNSSIDE, 2008; GEIST; LAMBIN, 2002; LAURANCE *et al.*, 2002; MARGULIS, 2004; PFAFF *et al.*, 2007; WEINHOLD; REIS, 2008).

O papel de fatores institucionais também foi explorado na literatura. Por exemplo, maior qualidade institucional, como a presença de uma secretaria do meio ambiente, contribui para o controle do desmatamento (DELAZERI, 2014). Andam *et al.* (2008) mostraram que a presença de Unidades de Conservação contribuiu para a redução do desmatamento histórico na Costa Rica.

## 2.2 Políticas de combate ao desmatamento

A importância do bioma Amazônia, juntamente com a importância que questões ambientais ganharam desde o início das conferências climáticas da Organização das Nações Unidas, incentivou o governo brasileiro a programar diversas ações para reduzir o desmatamento na Amazônia Legal (MAY; MILLIKAN; GEBARA, 2011). Neste contexto, a criação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM), instituído em 2004, foi um marco para as políticas de controle do desmatamento na Amazônia (ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA, 2012).

A coordenação do PPCDAM é composta pelos titulares de 15 ministérios, do Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República e da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Sua atuação contempla (i) ordenamento fundiário e territorial; (ii) monitoramento e controle ambiental; (iii) fomento às atividades produtivas sustentáveis. Devido à dinâmica dos fatores que afetam o desmatamento, o PPCDAM passou por três fases desde sua criação. A primeira (2004-2008) teve foco no primeiro eixo de atuação do Plano, com a criação de 250 mil km<sup>2</sup> de Unidade de Conservação e 100 mil km<sup>2</sup> de terras indígenas. Durante a segunda fase, entre 2009 e 2011, foi reforçado o monitoramento de atividades de desmatamento. Neste período, a utilização do Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real na Amazônia (DETER) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais permitiu a ação integrada entre o IBAMA<sup>5</sup>, Polícia Federal, Polícia Rodoviária Federal, Força Nacional de Segurança Pública e o Exército Brasileiro para fiscalização do desmatamento. O principal objetivo da terceira fase, planejada para o período entre 2012 e 2015, é o desenvolvimento sustentável da região (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013).

Em 2007, foi aprovado o decreto presidencial nº 6.321, que impôs ao Ministério do Meio Ambiente a responsabilidade de criar uma lista anual com os municípios considerados de risco para o desmatamento na Amazônia. A seleção dos municípios é feita com base em indicadores do desmatamento municipal (BRASIL/PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2007).

Em 2008, foram estabelecidos três mecanismos para controle do desmatamento na Amazônia. O primeiro, a resolução nº 3.545 do Conselho Monetário Nacional, estabeleceu exigência obrigatória da comprovação de regularidade ambiental para financiamento agropecuário no Bioma Amazônia (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2008). Em maio de 2008, foi lançado o Plano Amazônia Sustentável (PAS) com o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável na Amazônia brasileira. O PAS contempla cinco principais eixos de ação: (i) produção sustentável com tecnologia avançada; (ii) novo padrão de financiamento; (iii) gestão ambiental e ordenamento territorial; (iv) inclusão territorial e cidadania; (v) infraestrutura para o desenvolvimento

---

<sup>5</sup> Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

(BRASIL/PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2008a). Em dezembro de 2008, o Comitê Interministerial sobre Mudanças do Clima oficializou o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Em complemento ao objetivo principal de redução das emissões de gases de efeito estufa, um dos objetivos deste Plano é a redução do desmatamento na Amazônia Legal, tendo como referência a média do desmatamento anual entre 1996 e 2005. O Governo Brasileiro se comprometeu com uma redução de 40%, entre 2006 e 2010, em relação ao período de referência, e duas reduções subsequentes, de 30% cada, nos dois quadriênios seguintes, relativamente aos quadriênios anteriores (BRASIL/COMITÊ INTERMINISTERIAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA, 2008).

O efeito de algumas dessas políticas já foi investigado na literatura. Assunção, Gandour e Rocha (2012) mostraram que o PPCDAm foi efetivo para a redução do desmatamento na Amazônia. Também foi verificado que o aumento do monitoramento da Amazônia e, conseqüentemente, maior frequência de aplicações de multas por desmatamento ilegal reduziram a área desmatada (ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA, 2013; HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013). Por último, a restrição de crédito para alguns municípios, imposta pela resolução nº 3.545, reduziu o desmatamento, principalmente onde a pecuária é principal atividade (ASSUNÇÃO *et al.*, 2013).

### **2.3 O Fundo Amazônia**

O Fundo Amazônia foi instituído pelo decreto nº 6.527, de 1º de agosto de 2008, em concordância com os princípios do PPCDAm e do PAS. O objetivo do Fundo é reduzir as taxas de desmatamento no Brasil, de forma consistente e contínua, e contribuir para a redução da emissão de gases de efeito estufa, por meio de captação de doações e financiamento não reembolsável de projetos. A principal área de abrangência do Fundo é a Amazônia Legal, mas até 20% dos recursos captados podem ser utilizados para apoiar projetos em outros biomas brasileiros ou em áreas com florestas tropicais de outros países (BNDES, 2010). O decreto de criação do Fundo Amazônia define sete áreas temáticas para os projetos apoiados (BRASIL/PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2008b): 1) Gestão de florestas públicas e áreas protegidas; 2) Controle, monitoramento e fiscalização ambiental; 3) Manejo florestal sustentável; 4) Atividades econômicas e sustentáveis a partir do uso sustentável da floresta; 5) Zoneamento ecológico-econômico, ordenamento territorial e regularização fundiária; 6) Conservação e uso sustentável da biodiversidade; 7) Recuperação de áreas desmatadas.

A gestão do Fundo Amazônia é de responsabilidade do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que deve captar recursos, gerir a aplicação dos recursos financeiros, acompanhar e monitorar as iniciativas apoiadas, prestar contas e comunicar resultados. As diretrizes e critérios de aplicação dos recursos são de responsabilidade do Comitê Orientador do Fundo Amazônia (COFA), que possui representantes dos governos federal e estadual e da sociedade civil. A secretaria executiva do COFA é atribuída ao BNDES (BNDES, 2010).

Podem solicitar apoio de projetos os governos federal, estadual e municipal, empresas (públicas ou privadas), o terceiro setor, ONGs ou organizações internacionais. Os projetos devem estar de acordo com as diretrizes impostas pelo COFA, com as políticas operacionais do BNDES, comprovar redução no desmatamento e estar enquadrado em uma ou mais áreas temáticas. Para a contratação do projeto, tanto a instituição requerente e o projeto são analisados, considerando aspectos técnicos, operacionais, jurídicos e institucionais por unidades do BNDES (BNDES, 2010).

Entre 2009 e 2013, as doações feitas ao Fundo Amazônia somaram R\$ 1,68 bilhões. O maior doador é o governo da Noruega, responsável por aproximadamente 98% das doações. O restante foi doado pelo governo alemão e a empresa Petrobrás. A maior parte do apoio foi direcionada a projetos de Monitoramento e Controle (BNDES, 2014). No período 2009-2013, os projetos apoiados totalizaram R\$ 771 milhões.

Os projetos apoiados são acompanhados desde o pedido do apoio até a conclusão com o objetivo de prevenir problemas operacionais de execução. A equipe de gestão do Fundo Amazônia monitora a implementação, execução e declarações financeiras (BNDES, 2010).

### **3 A espacialidade do desmatamento**

Robalino e Pfaff (2012) consideram que a decisão sobre desmatamento é afetada pela decisão da produção agrícola ou conservação de florestas de um vizinho, baseado nos conceitos de complementariedade estratégica e substitutibilidade estratégica descritas por Cooper e John (1988). A complementariedade estratégica na produção agrícola ocorre quando os produtores agem em grupo para ganho na escala de produção, ganhando poder de mercado para compra de insumos ou venda dos produtos e menores custos de transporte, aumentando a área de cultivo e a pressão para a conversão de áreas com vegetação nativa. Por outro lado, em um mercado competitivo pode ocorrer substitutibilidade estratégica sobre decisões da quantidade produzida. Se regiões vizinhas aumentam a produção, a maior oferta pode causar diminuição dos preços locais. Dessa forma, tal aumento ou expectativa desse aumento da oferta diminui o incentivo para aumento da produção em outras localidades. Tal interação entre vizinhos, dada pela complementariedade ou substitutibilidade, colabora para a presença de correlação espacial do desmatamento.

Haining (2003) define quatro categorias de processos espaciais que operam no espaço geográfico: (i) difusão; (ii) dispersão (iii) troca e taxa de transferência; (iv) interação. A difusão ocorre quando um atributo é atribuído pela população e, em algum momento, é possível identificar os indivíduos (ou áreas) que possuem o atributo. Ao contrário da difusão, que ocorre quando o atributo espalha, o processo de dispersão consiste do movimento da população. O terceiro processo é referente aos gastos entre regiões e fluxos de produção. O último processo ocorre quando a renda de uma localidade influencia e é influenciada pela renda de outra localidade.

Sob outra abordagem, Le Sage e Pace (2009) expõem motivações para a utilização de modelos espaciais. Por exemplo, a presença de dependência temporal entre regiões, em que agentes econômicos são influenciados pelas decisões passadas dos agentes de regiões vizinhas. Ainda, o tratamento espacial pode solucionar problemas que surgem ao omitir variáveis relevantes, porém não observáveis como acessibilidade e relações com vizinhos. Outro fator apontado pelos autores é a presença de heterogeneidade espacial, em que a distribuição espacial das regiões influencia os efeitos intrínsecos de cada região. Por último, a presença de externalidades, em que uma característica específica de um vizinho influencia a variável na região, causa processos espaciais que devem ser considerados.

A interação entre vizinhos sobre o processo de produção agrícola descrita por Robalino e Pfaff (2012) ou a heterogeneidade espacial apontada por Le Sage e Pace (2009) são exemplos de processos que sugerem a presença de correlação espacial no desmatamento.

Características regionais influenciam o desmatamento por alterarem a rentabilidade de usos alternativos do solo (BARBIER; BURGESS, 1997; BARBIER; BURGESS, 2001; ANDAM *et al.*, 2008; CHOMITZ; GRAY, 1996; CHOMITZ; THOMAS, 2003; LAURANCE *et al.*, 2002; PFAFF; SANCHEZ-AZOFEIFA, 2004; PFAFF *et al.*, 2007). Portanto, a heterogeneidade das características regionais condiciona a ocorrência do desmatamento e colabora para a presença de correlação espacial. Embora alguns estudos tenham encontrado evidências de dependência espacial no desmatamento da Amazônia brasileira (Hargrave e Kis-Katos, 2013; Rosa *et al.*, 2013), raramente se avalia em que medida as políticas formuladas para combater o desmatamento se correlacionam com esses processos espaciais. Dessa forma, a seguir fazemos uma análise dos padrões espaciais do desmatamento da Amazônia com base em técnicas exploratórias de dados espaciais e discutimos o papel das políticas de controle do desmatamento sobre sua dinâmica espacial.

### 3.1 Dados e métodos

Os dados de desmatamento anual por município são gerados pelo projeto PRODES do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A metodologia do projeto PRODES estima o desmatamento por corte raso na Amazônia a partir de imagens de satélites com resolução de 6,25 hectares. A medição do desmatamento no ano  $t$  ocorre entre 1º agosto do ano  $t-1$  e 31 de julho do ano  $t$  (ano florestal), porque a estação seca, período com maior frequência de imagens sem cobertura de nuvens, ocorre entre junho e setembro (CÂMARA, VALERIANO & VIANEI, 2006). A base de dados do desmatamento é disponibilizada eletronicamente no *site* do INPE (INPE/PRODES, 2015). O INPE não mensura o desmatamento em áreas cobertas por Cerrado, portanto a amostra considerada somou 633 municípios dentre os 760 municípios da Amazônia Legal.

Foram analisados os 760 municípios de nove Estados que compõem a Amazônia Legal brasileira, durante o período entre 2002 e 2013. O início do período considerado foi limitado pela disponibilidade de dados de desmatamento municipal. Apesar de haver dados para períodos anteriores, estes não devem ser comparados com as informações disponíveis para depois de 2002 porque estão agregadas nos dados de 2001 (ROSA, SOUZA JR. & EWERS, 2012).

Para abordar a dinâmica espacial do desmatamento foram utilizadas três variáveis. A primeira representa o desmatamento anual municipal ( $y_{it}$ ), medido em quilômetros quadrados ( $\text{km}^2$ ), que é comumente utilizado para avaliar o nível de desmatamento na região e definir as áreas críticas de degradação ambiental, como o Arco do Desmatamento. A segunda e a terceira variáveis foram construídas na forma de taxas ( $\varphi_{it}$  e  $\zeta_{it}$ ) conforme especificação a seguir:

$$\varphi_{it} = \frac{y_{it}}{s_i} \quad (1) \quad \text{e} \quad \zeta_{it} = \frac{\sum_{t=1}^T y_{it}}{s_i} \quad (2)$$

onde  $\varphi$  é taxa anual de desmatamento,  $\zeta$  é a taxa acumulada de desmatamento,  $y_{it}$  representa o volume de desmatamento municipal em  $\text{km}^2$  e  $s_i$  é a área total em  $\text{km}^2$ . Os subscritos  $i$  e  $t$  são referentes aos municípios e ao período, respectivamente. Os dois índices foram calculados para o período entre 2002 e 2013.

A motivação para utilização de três variáveis é capturar diferentes aspectos para implicações sobre políticas de redução do desmatamento. Por um lado, o desmatamento anual indica regiões que mais contribuem para o desmatamento agregado. Por outro lado, as taxas indicam regiões que sofreram maior degradação florestal – em termos de conversão de áreas com florestas tropicais. Ainda, a utilização da taxa acumulada do desmatamento (Equação 2) é uma tentativa de capturar um comportamento de maximização dos agentes que alteram o uso do solo. Espera-se que esta taxa apresente taxa de crescimento positiva e, à medida que o desmatamento crescesse e áreas florestais se tornassem mais escassas, a taxa de crescimento diminuiria e o índice aproximaria de seu máximo, porque ou não há mais áreas desmatáveis ou toda área florestal remanescente é protegida por lei.

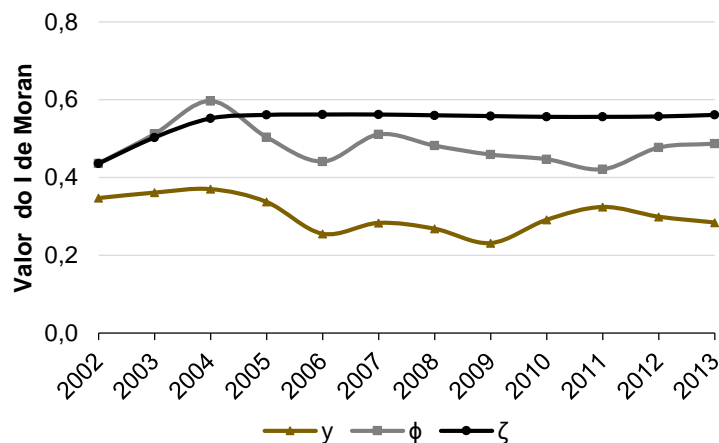
### 3.2 Análise espacial

A dinâmica e distribuição espacial das variáveis descritas foram analisadas por meio do cálculo do índice I de Moran global e local<sup>6</sup>. Os resultados do I de Moran global mostram que há correlação espacial para as três variáveis (FIGURA 2). Valores positivos indicam que regiões com alto (baixo) desmatamento possuem vizinhos com alto (baixo) desmatamento e, portanto, o desmatamento apresenta dependência espacial.

---

<sup>6</sup> Esses índices são bastante conhecidos na literatura e sua fórmula de cálculo não serão apresentadas aqui. Maiores detalhes podem ser obtidos em Anselin (1988, 1995) ou Almeida (2012). Para os cálculos do I de Moran foi utilizada uma matriz de peso espacial baseada em relações de vizinhança por contiguidade do tipo K-Nearest com 6 vizinhos, a qual maximizou o valor do I-Moran.

FIGURA 2: I DE MORAN CALCULADO PARA VARIÁVEIS DE DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL



FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA.

A concentração espacial do desmatamento pode ser interpretada sob diferentes abordagens. Considerando os processos descritos por Haining (2003, p.21), a ocorrência do desmatamento em diferentes níveis nos municípios ao longo do tempo causa o processo de difusão. O comércio de bens agrícolas entre municípios caracteriza o processo de troca e taxa de transferência por conta da correlação entre desmatamento e produção agropecuária, que é uma das principais causas do desmatamento na Amazônia Brasileira (BARONA *et al.*, 2010; MORTON *et al.*, 2006). Ainda considerando a correlação entre produção agropecuária e desmatamento, a interação entre municípios sobre a decisão de produção agropecuária sustenta a existência de dependência espacial, como descrito por Robalino e Pfaff (2012) com os conceitos de complementariedade e substitutibilidade estratégica, pelo processo de interação definido de Haining (2012, p. 21) ou a dependência temporal exposta por Le Sage e Pace (2009).

A heterogeneidade espacial definida por Le Sage e Pace (2009) é outro fator para ocorrência da concentração espacial no desmatamento. Características regionais intrínsecas influenciam o desmatamento na região uma vez que alteram os custos e rentabilidade de usos alternativos do solo (ANDAM *et al.*, 2008; BARBIER; BURGESS, 1997; CHOMITZ; GRAY, 1996; CHOMITZ; THOMAS, 2003; LAURANCE *et al.*, 2002; PFAFF; SANCHEZ-AZOFEIFA, 2004; PFAFF *et al.*, 2007) A declividade do terreno e a vegetação original influenciam os custos de implantação e operacionais, afetando a margem de venda. A pluviosidade e qualidade do solo afetam a produtividade da área, impactando a receita. Por último, a presença de rodovias facilita o acesso de mão de obra e a distribuição do produto, incentivando a produção em regiões com maior malha viária (ÂNGELO E PEREIRA DE SÁ, 2007; CHOMITZ; GREY, 1996; FEARNSSIDE, 2008; GEIST; LAMBIN, 2002; LAURANCE *et al.*, 2002; MARGULIS, 2004; PFAFF *et al.*, 2007; WEINHOLD; REIS, 2008). Portanto, faixas com maior propensão à produção agrícola devem concentrar maiores áreas desmatadas.

As iniciativas adotadas desde 2004, como o PPCDam, o Decreto Presidencial nº 6321 e a Resolução 3545 do Conselho Monetário Nacional, apresentaram impacto na área desmatada (ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA, 2012; ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA, 2013; HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013; ASSUNÇÃO *et al.*, 2013). Esses mecanismos afetaram, principalmente, localidades que apresentavam as maiores áreas contínuas de desmatamento e maiores propriedades privadas, alterando a composição da área desmatada na Amazônia Legal. Entre 2002 e 2009, a contribuição de áreas desmatadas menores que 50 hectares passaram de próximo de 30% para aproximadamente 70% (ROSA, SOUZA JR., EWERS, 2012). Ainda, a contribuição de grandes propriedades para o desmatamento apresentou diminuição entre 2004 e 2011 (GODAR *et al.*, 2014). Entretanto, a concentração espacial do desmatamento se mantém



independente da medida utilizada (FIGURA 2). Tal resultado mostra que políticas de atuação regionalizada possuem potencial para serem efetivas na desfragmentação do desmatamento, principalmente se atuarem em regiões chave.

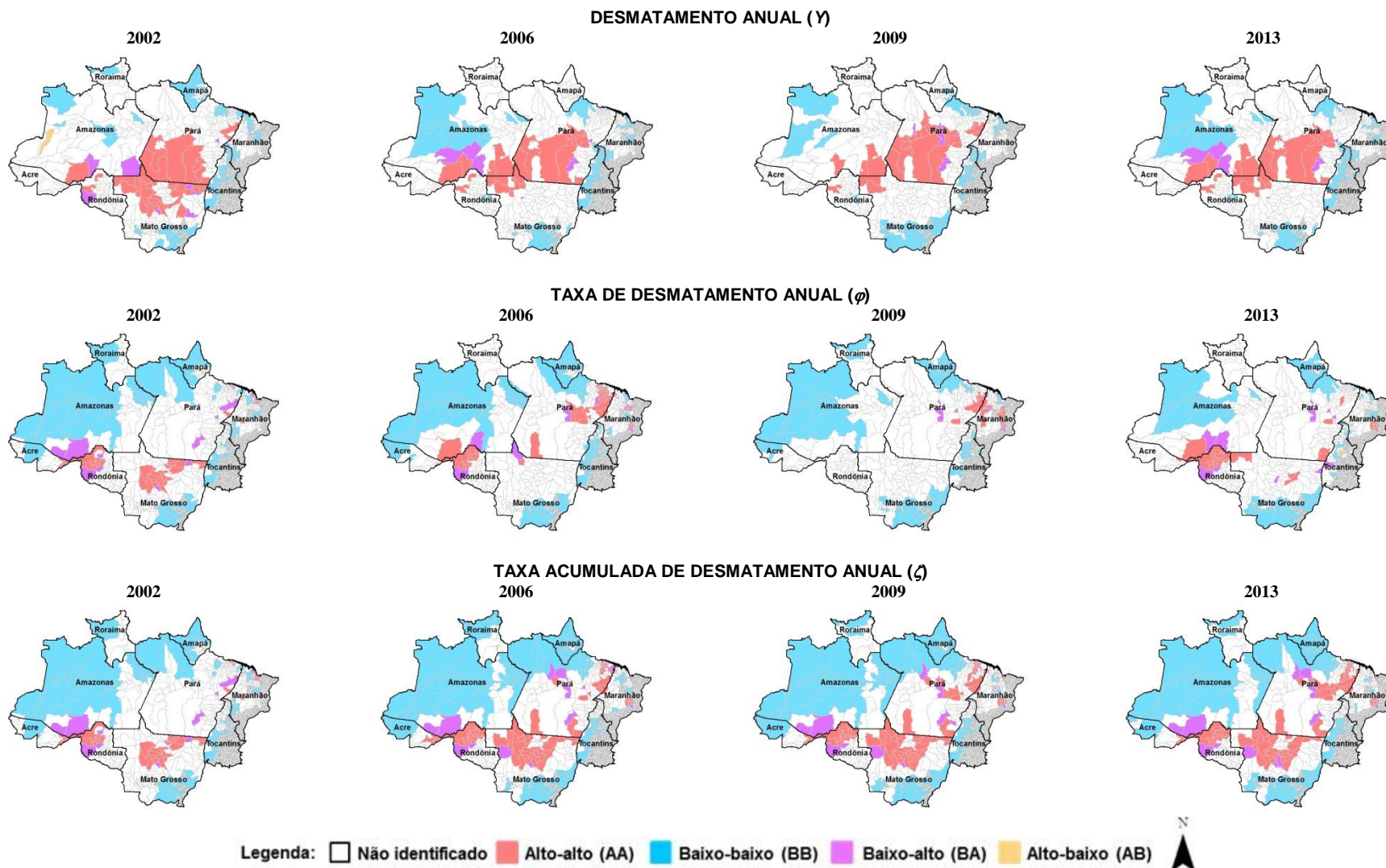
O I de Moran Local permite identificar *clusters* do desmatamento, cujos resultados são mostrados na Figura 3 para cada variável de desmatamento para anos selecionados. Os padrões locais espacialmente homogêneos são definidos pelos polígonos vermelhos (regiões alto-alto – AA) e azuis (regiões baixo-baixo – BB). Os padrões locais espacialmente heterogêneos são definidos pelos polígonos roxos (regiões baixo-alto – BA) e amarelos (regiões alto-baixo – AB). As regiões que não apresentaram desmatamento desde 2002 e, conseqüentemente, não consideradas na amostra, são representadas pelos polígonos cinza. Por último, áreas brancas não apresentaram resultados significativos.

De forma geral, para as três variáveis, os *clusters* baixo-baixo (BB) estão localizados nos estados que apresentam a menor produção agropecuária da região amazônica: Acre, Amapá, Amazonas e Roraima. Tal resultado corrobora que há presença de correlação entre desmatamento e produção agropecuária, como apontado por Barona et al. (2010).

Entretanto, para todas as variáveis aparece uma região BB no sul do estado Mato Grosso, maior produtor agrícola da região. Entre 2002 e 2013, o *cluster* alto-alto (AA) do desmatamento municipal ( $y$ ) deslocou em direção ao norte e deixou de abranger o estado Mato Grosso. A produção de soja e milho neste estado está concentrada no centro-sul e cresce desde 2002, principalmente no centro do estado. Dessa forma, a presença do *cluster* BB no sul do estado indica estabilização da produção nesta região e a movimentação do *cluster* AA para o norte corrobora com o crescimento na região central, podendo indicar uma nova fronteira agrícola na Amazônia Legal associada à movimentação dos produtores para o norte do estado, onde há menor produção historicamente (IBGE/PAM, 2015).

Os mapas do I de Moran Local da taxa de desmatamento municipal ( $\varphi$ ) mostram diminuição da frequência de *clusters* AA. Tal resultado está de acordo com o encontrado por Rosa, Souza Jr. e Ewers (2012), que mostraram diminuição da ocorrência de áreas extensas e contínuas de desmatamento entre 2002 e 2009. A menor frequência de *cluster* AA significa que menos municípios se destacam por grandes áreas desmatadas em relação à média geral em anos recentes. Em 2013, o *cluster* AA da taxa de desmatamento de maior extensão estava localizado na fronteira entre os estados Amazonas e Rondônia. Rondônia foi o estado que apresentou maior relação cabeças de gado por extensão territorial em 2013 (IBGE/PPM, 2015). Ainda, é o estado que apresentou maior desmatamento em relação à área territorial entre 2002 e 2014, de aproximadamente 9,5% (INPE/PRODES, 2015). O padrão espacial da taxa de desmatamento acumulada se mantém ao longo do período analisado e os *clusters* AA estão localizados nas regiões com maior produção agropecuária (IBGE/PAM, 2015; IBGE/PPM, 2015).

FIGURA 3: I DE MORAN LOCAL CALCULADO PARA AS VARIÁVEIS DE DESMATAMENTO



FORNTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA.

A análise espacial local mostra que o desmatamento ocorre em regiões de alta produção agrícola e maior malha viária, como indicado por Ângelo e Pereira de Sá (2007), Morton *et al.* (2006) e Rivero *et al.* (2009). Se produtores respondem à variação de preço, tal resultado sustenta o uso de preços agrícolas para controlar o desmatamento em modelos econométricos para análise de impacto de instrumentos para diminuição do desmatamento, como em Assunção, Gandour e Rocha (2012), Assunção *et al.* (2013) e Hargrave & Kis-Katos (2013).

A localização dos *clusters* AA está de acordo com os resultados encontrados por Rosa *et al.* (2013). Esses autores descreveram a ocorrência de efeito de contágio no desmatamento na Amazônia Brasileira: áreas próximas de regiões desmatadas possuem maior probabilidade de serem desmatadas no futuro, o que colabora para a existência de dependência espacial. Portanto, a observação da distribuição espacial do desmatamento auxilia no planejamento de instrumentos para controle e redução da área desmatada. Também, mostra a necessidade de planejamento territorial para a região por mostrar as regiões mais críticas e, dado o efeito de contágio, as regiões que possuem potencial de alto desmatamento no futuro.

Desde 2004 foram adotados instrumentos regionais para o controle do desmatamento, ou seja, aqueles que cobrem municípios ou fragmentos de unidades federativas da Amazônia Legal. Alguns exemplos desses mecanismos são o Decreto Presidencial nº 6.321<sup>7</sup> e a resolução nº 3.545<sup>8</sup> do Conselho Monetário Nacional. O Fundo Amazônia financiou, entre 2010 e 2013, 34 projetos regionais. A concentração espacial do desmatamento indica que a efetividades desses mecanismos seria a fragmentação das regiões que concentram o desmatamento. Os *clusters* AA do mapa do desmatamento municipal mostram as regiões que demandam a adoção de tais mecanismos.

Os mapas do I de Moran Local da taxa acumulada do desmatamento ( $\zeta$ ) mostram regiões que, historicamente, sofreram maior degradação ambiental (conversão de áreas florestais) e a localização dos *clusters* desta variável é relevante para duas categorias de ações. Em primeiro lugar, essas regiões demandam maior apoio para a recuperação de áreas degradadas. Desde 2009, o Fundo Amazônia apoiou 20 projetos que se enquadravam na categoria Recuperação de Áreas Desmatadas, abrangendo 60 municípios específicos, dentre os quais 26 pertencentes a *clusters* alto-alto da taxa acumulada do desmatamento (FUNDO AMAZÔNIA/CARTEIRA DE PROJETOS, 2015).

Em segundo lugar, ações que valorizem áreas florestais e a produção sustentável, uma vez que esses mecanismos podem reduzir a atratividade de usos alternativos do solo, sendo uma estratégia para o controle do desmatamento (BARBIER; BURGESS; GRANGER, 2010). Isso porque municípios que apresentaram, historicamente, maior desmatamento, devem possuir maior propensão para desmatamento em novas áreas de florestas tropicais por conta de características de infraestrutura e do território (ROSA *et al.*, 2013). Algumas ações já adotadas na região com este objetivo são o fomento à extração sustentável de produtos florestais, fortalecimento da cadeia produtiva de produtos já explorados e financiamento para desenvolvimento de novos produtos por pesquisa. Desde 2009, o Fundo Amazônia apoiou 17 projetos que se enquadram na categoria Manejo Florestal Sustentável e 30 na categoria Atividades Econômicas Desenvolvidas a Partir do Uso Sustentável da Floresta (FUNDO AMAZÔNIA/CARTEIRA DE PROJETOS, 2015). Além disso, os objetivos da terceira fase do PPCDAm, iniciada em 2012, estão alinhados com a promoção da produção sustentável.

---

<sup>7</sup> Aprovado em 21 de dezembro de 2007, o decreto atribui ao Ministério do Meio Ambiente a responsabilidade de formular uma lista anual de municípios de risco, situados no Bioma Amazônia, baseado no desmatamento histórico (BRASIL/PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2007).

<sup>8</sup> Formulada em 29 de fevereiro de 2008, a resolução estabelece a exigência de documentação que comprova regularidade ambiental e outras condicionantes para acesso a financiamento agropecuário no Bioma Amazônia (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2008).

#### 4 Análise de impacto do Fundo Amazônia

Foram estimados modelos em painel e painel espacial, ambos de efeito fixo, com 633 municípios da Amazônia Legal para o período entre 2002 e 2013, totalizando 7.596 observações. O modelo de efeito fixo foi escolhido porque a amostra é formada por todos os municípios da Amazônia Legal e por controlar efeitos não observados, invariantes no tempo e não correlacionados com as variáveis explicativas. Como já comentada, diversos fatores estruturais são apontados na literatura como determinantes do desmatamento, como população, infraestrutura, rodovias, clima. Entretanto, durante o período estudado, tais fatores estruturais exibem pequena variação em nível municipal e são capturadas pelos efeitos fixos de municípios e tempo (ASSUNÇÃO, GANDOUR & ROCHA, 2012).

A seção 4.1 a seguir faz uma discussão sobre os modelos em painel e painel espacial, apresentando também os dados e a especificação dos modelos que serão estimados para analisar o impacto do Fundo Amazônia. Na sequência, a seção 4.2 reporta e analisa os resultados das estimativas.

##### 4.1 Modelos em painel e painel espacial

Dados em painel são compostos por variáveis referentes às mesmas unidades de corte transversal ao longo do tempo e, portanto, apresentam duas dimensões: série temporal e corte transversal (WOOLDRIDGE, 2012). A utilização destes dados apresenta diversas vantagens em relação à utilização de séries temporais ou corte transversal. A presença de duas dimensões permite a agregação de mais informação sobre o fenômeno estudado e eleva o número de graus de liberdade e, conseqüentemente, a eficiência dos estimadores. Além disto, dados em painel apresentam maior variação e menor colinearidade entre as variáveis. Por último, ao trabalhar com modelos de efeitos fixos, as conseqüências sobre as propriedades dos estimadores causadas por omissão de variáveis relevantes são reduzidas, já que há controle dos efeitos não observáveis e invariantes no tempo, desde que estes não estejam relacionados com as outras variáveis explicativas do modelo (ALMEIDA, 2012).

Contudo, se os resíduos do modelo em painel apresentam correlação espacial, os estimadores podem ser viesados e ineficientes, sendo recomendado o uso de modelos em painel espacial. A principal característica de modelos espaciais é a dependência entre os valores observados em uma região e os valores observados nos vizinhos dessa região. Desta forma, o fenômeno analisado apresenta multidirecionalidade, em que os valores observados em diferentes regiões são inter-relacionados (LE SAGE; PACE, 2009). A estimação de modelos que incorporam tal multidirecionalidade apresenta dificuldades, considerando o elevado número de parâmetros que devem ser estimados e, conseqüentemente, a possível falta de graus de liberdade. Para contornar este problema, a solução é agregar os componentes espaciais em apenas uma variável, utilizando o conceito de defasagem espacial que pode ser aplicado com base na especificação de matriz de ponderação espacial (ALMEIDA, 2012).

Modelos espaciais podem ser divididos em duas categorias: alcance global ou local. Na primeira, o impacto sobre a variável dependente é transmitido para todas as regiões da área de estudo. Em modelos com alcance local, o impacto sobre a variável dependente é transmitido somente para os vizinhos mais próximos, *i. e.*, os vizinhos diretos e os vizinhos dos vizinhos.

Dentre os modelos de alcance global estão as especificações denominadas Modelo de Defasagem Espacial (SAR) e Modelo de Erro Autoregressivo Espacial (SEM). A especificação do modelo SAR apresenta a variável dependente defasada espacialmente como regressor e permite a avaliação de dois tipos de efeitos: direto e indireto. A soma dos dois efeitos é o efeito total. O efeito direto mensura o impacto da variável na localidade  $i$  sobre a própria localidade  $i$ , enquanto que os efeitos indiretos informam a influência agregada de todos os transbordamentos espaciais, ou seja, o efeito do valor da variável nas localidades vizinhas na

localidade  $i$  e o efeito do valor da variável da localidade  $i$  em seus vizinhos (ATELLA *et al.*, 2014; LE SAGE; PACE, 2009).

Nos modelos SEM a defasagem espacial é inserida no termo de erro. A interpretação geral destes modelos é que o padrão espacial manifestado no erro ocorre por choques espacialmente correlacionados e não especificados no modelo por falta de medida adequada. É importante ressaltar que esse efeito não especificado não pode estar correlacionado com os regressores do modelo. No modelo SEM a variável dependente é influenciada por choques em qualquer localidade e o alcance do choque é global. A intensidade da propagação do choque é determinada pelo multiplicador espacial e a intensidade diminui à medida que fica mais distante do epicentro, uma vez que o módulo do coeficiente da defasagem espacial é menor que um. Um choque na região  $i$  afeta os vizinhos e os vizinhos dos vizinhos por conta da relação implícita na matriz de ponderação espacial e, eventualmente, voltará a afetar a região  $i$  com intensidade amortecida (ALMEIDA, p. 162, 2012).

Pela incorporação das relações multidirecionais em modelos espaciais, a estimação via Mínimos Quadrados Ordinários pode gerar inconsistência dos parâmetros, dos parâmetros espaciais e dos erros-padrão (LE SAGE e PACE, 2009; ALMEIDA, 2012). Entretanto, modelos com efeito fixo que utilizam painéis espaciais podem ser estimados via Máxima Verossimilhança (ALMEIDA, 2012).

As variáveis utilizadas nos modelos em painel e painel espacial estão listadas na Tabela 1. A estimação em painel foi feita com um modelo de efeitos fixos com erro-padrão robusto por *cluster* e controle de efeitos temporais. A especificação do modelo em painel não espacial é apresentada na equação 3. No caso dos modelos em painel espacial, esse foram estimados assumindo tanto a especificação SAR como SEM. A representação desses modelos é feita nas equações 4 e 5. A estimação dos painéis espaciais foi via Máxima Verossimilhança (MV) com a rotina XSMLE desenvolvida por Belloti, Hughes e Mortari (2013) para o software Stata 10. Foram estimados modelos de efeitos fixos com erros padrão robustos por *cluster* e o indicador do grau de ajuste desses modelos é o valor da função de verossimilhança.

TABELA 1: VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA ESIMACÃO DOS MODELOS NÃO ESPACIAIS E ESPACIAIS

Variável	Descrição	Fonte dos dados
Regressando		
$y_{it}$	Desmatamento municipal	INPE
Regressores		
$\alpha_i$	Efeito fixo dos municípios	-
$\theta_t$	Tendência temporal	-
$Nuvem_{it}$	Área de cobertura de nuvens	INPE
$P_{it}^B$	Preços reais do boi-gordo	SEAB/PR
$P_{it}^A$	Preços reais de bens agrícolas (soja e milho)	SEAB/PR
$I_{it}$	Índice de preços agrícolas elaborado pelo autor	SEAB/PR e IBGE/PAM
$Fundo_{it}$	Variável <i>dummy</i> que assume o valor 1 se há projeto para o município $i$ no ano $t$	Elaboração própria
$W_{ij}$	Matriz de ponderação espacial	Elaboração própria

Nota: Os subscritos  $i$  e  $j$  referem-se aos municípios e o subscrito  $t$  ao período do tempo.

$$y_{it} = \alpha_i + \varphi_t + \beta_1 Nuvem_{it} + \beta_2 P_{it}^B + \beta_3 P_{it}^A + \beta_4 Fundo_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$y_{i,t} = \rho W y_{it} + \alpha_i + \varphi_t + \beta_1 Nuvem_{i,t} + \beta_2 P_{it}^B + \beta_3 P_{it}^A + \beta_4 Fundo_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$y_{it} = \alpha_i + \varphi_t + \beta_1 Nuvem_{it} + \beta_2 P_{it}^B + \beta_3 P_{it}^A + \beta_4 Fundo_{it} + \xi_{it} \quad (5)$$

$$\xi_{it} = \lambda W \xi_{it} + \varepsilon_{it}$$

Os preços do boi-gordo e de bens agrícolas (soja e milho) foram utilizados para controlar condicionantes econômicos do desmatamento municipal. O preço do boi-gordo foi utilizado porque a pecuária é a atividade mais comum em áreas desmatadas (MAY, MILLIKAN & GEBARA, 2011). Os preços da soja e milho foram utilizados porque a área plantada com essas culturas representou 90% da área plantada total na região em 2013 (IBGE/PAM, 2015). Os preços foram coletados para o período entre 2001 e 2013.

A produção agropecuária local afeta os preços agrícolas e do boi-gordo, à medida que há alterações na oferta dos produtos. Dessa forma, os preços agrícolas e do boi-gordo são endógenos à produção agropecuária local (ASSUNÇÃO, GANDOUR & ROCHA, 2012). Para resolver o problema de endogeneidade das variáveis de preço, a estratégia adotada foi baseada em Assunção, Gandour e Rocha (2012) e consistiu em adotar dados de preços de outro estado que podem ser assumidos exógenos no contexto da região Amazônica em estudo. Assim, escolheu-se os preços praticados no estado do Paraná em função da alta correlação com os preços locais endógenos. Os dados foram obtidos da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Paraná (SEAB/PR, 2015). Para a entrada nos modelos, os preços foram anualizados de acordo com o ano florestal do INPE utilizando-se como deflator o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) disponibilizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEADATA, 2015). Para evitar colinearidade, o índice de preços agrícolas corresponde a um índice ponderado dos preços reais da soja e do milho calculado seguindo a fórmula do Índice de Laspeyres (PINDYCK & RUBINFELD, 2006).

O Fundo Amazônia financia projetos com diferentes abrangências territoriais e a primeira contratação de projeto ocorreu em 2010. Para isolar o efeito dos projetos nos municípios que tiveram atuação do Fundo foram considerados projetos com abrangência regional, incluindo aqueles que cobrem partes de estados ou municípios específicos, entre 2010 e 2013. Uma variável *dummy* indica o período de atuação do projeto no município, assumindo o valor um. Para a construção dessa variável foi considerado o ano florestal utilizado pelo INPE. A data de contratação dos projetos é disponibilizada na carteira de projeto do Fundo Amazônia (FUNDO AMAZÔNIA/CARTEIRA DE PROJETOS, 2015).

A seleção da matriz de ponderação espacial ( $W$ ) pode ser abrangente. Dentre as principais conformações geográficas estão as matrizes que consideram a relação de contingência, a distância entre as unidades geográficas ou os  $k$  vizinhos mais próximos. Como citado anteriormente (seção 3.1), a base original do INPE possui 760 municípios, mas foi reduzida para 633 municípios neste estudo pois o INPE não mensura o desmatamento de municípios com Cerrado. Dessa forma, algumas localidades se tornaram “ilhas”, ou seja, não apresentem fronteira física com seus vizinhos. Assim, foi adotada a configuração com  $k$  vizinhos mais próximos, como adotado por Carvalho e Almeida (2010). Foram testadas matrizes considerando entre 2 e 6 vizinhos, por conta da distribuição de frequências da quantidade de vizinhos na região, e adotado o critério sugerido por Almeida (2012), selecionando a configuração que maximizou a dependência espacial. Cabe destacar que Le Sage e Pace (2014) mostram que a correlação entre duas matrizes de  $k$  vizinhos mais próximos é alta considerando números próximos de vizinhos e as inferências dos modelos não sofrem prejuízos se a variação no número de vizinhos é baixa. Logo, a estimação de modelos espaciais é robusta para diferentes configurações de matrizes.

Como a mensuração do desmatamento é obtida por imagem via satélite, foi introduzido no modelo a área de cobertura de nuvens para controlar possível viés. Adicionalmente, apesar do corte de espécies florestais afetar diretamente áreas com vegetação nativa, as imagens de satélite utilizadas pelo INPE possuem resolução de 6,25 hectares e não detectam desbastes

seletivos de espécies florestais (CÂMARA, VALERIANO & VIANEI, 2006s). Portanto, indicadores sobre o mercado de madeira local não foram incluídos no modelo.

Para avaliar a necessidade controlar para efeitos espaciais no modelo de painel, foi testada a presença de correlação espacial nos resíduos da regressão com base no índice I-Moran (Anselin, 1988). Convém destacar que se encontrou evidencia de dependência espacial. Dessa forma, na próxima seção são reportados e analisados somente os resultados dos modelos de painel espacial. Por fim, foi conduzido um teste placebo com a variável *dummy* do Fundo Amazônia para testar a existência de viés de seleção nos resultados do modelo. Essa investigação é relevante na medida em que se espera que municípios com padrões de desmatamento mais intensivos tenham mais chance de ter projetos selecionados pelo Fundo Amazônia.

#### 4.2 Resultados e análises

Foram estimadas as configurações de modelos espaciais SAR e SEM. A matriz de ponderação espacial selecionada foi a com 6 vizinhos mais próximos, que maximizou a dependência espacial, de acordo com a indicação de Almeida (2012).

Os resultados dos modelos SAR e SEM são apresentados na 2. Os dois modelos mostram dependência espacial positiva. Este resultado também foi encontrado para a Amazônia Legal por Hargrave e Kis-Katos (2013) que estimaram um modelo SAR pelo Método dos Momentos Generalizados. Apesar do método de estimação ser diferente do utilizado neste trabalho, a magnitude do efeito espacial dos modelos SAR naquele estudo é semelhante ao encontrado no presente estudo.

Há que se destacar ainda que o valor estimado para o coeficiente de dependência espacial é muito similar nos modelos SAR e SEM, conforme a Tabela 2, como também o ajustamento dos modelos medido pelo score da função de máxima verossimilhança. Consequentemente, os coeficientes estimados e que expressam o efeito total são também muito similares, ou seja, são estatisticamente iguais nos dois modelos. Dessa forma, a análise dos coeficientes realizada a seguir é equivalente para os dois modelos. Essa análise tomará por base os resultados dos coeficientes totais do modelo SAR e do modelo SEM.

Por conta do coeficiente espacial positivo, um aumento (diminuição) do desmatamento propaga um choque global em todas as regiões no mesmo sentido. Portanto, mecanismos para o controle do desmatamento devem considerar as características da região-alvo e as características das localidades próximas. Ainda, a expansão da agropecuária em regiões como o norte do Mato Grosso pode apresentar efeito de transbordamento para regiões próximas. Neste contexto, os projetos regionais do Fundo Amazônia direcionados para áreas onde o fenômeno do desmatamento é mais intenso pode, potencialmente, gerar efeitos de transbordamento espacial, contribuindo para amenizar o desmatamento nos municípios vizinhos.

O coeficiente do preço do boi gordo foi significativo e negativo, resultado também similar ao encontrado por Assunção, Gandour e Rocha (2012). O gado é tanto um bem de consumo quanto de capital e, historicamente, o ciclo de produção apresenta alta periodicidade. Havendo um aumento de preços no curto prazo por conta de um choque na demanda, os produtores de gado tendem a aumentar o abate para suprir a demanda, temporariamente maior, e usufruir de maiores receitas no curto prazo. Por conta do aumento do abate, os estoques de gado devem diminuir, assim como a pressão por novas áreas de pastagem, considerando o custo de obtenção de novos indivíduos e o tempo até o abate. Logo, o efeito negativo do preço do boi sobre o desmatamento encontrado é justificável pelas características do ciclo de consumo e produção<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Foram estimados modelos adicionando a defasagem t-1 do preço do boi entre os regressores. Os coeficientes estimados para essa variável foram positivos nos modelos SAR e SEM, corroborando o efeito cíclico do preço do boi sobre o desmatamento. Os resultados não são apresentados para abreviar espaço.

TABELA 2: RESULTADOS DOS MODELOS EM PAINEL ESPACIAL

Regressor	Modelo SAR	Modelo SEM
$\rho, \lambda$	0,160**	0,154**
<b>Direto</b>		
Fundo Amazônia	-39,273**	
Preço Boi	-0,518**	
Preços Agrícolas	0,538**	
Cobertura de Nuvens	0.000	
<b>Indireto</b>		
Fundo Amazônia	-7,528**	
Preço Boi	-0,099**	
Preços Agrícolas	0,103**	
	(0,012)	
Cobertura de Nuvens	0.000	
<b>Total</b>		
Fundo Amazônia	-46,801**	-39,291**
Preço Boi	-0,616**	-0,632**
Preços Agrícolas	0,641**	0,637**
Cobertura de Nuvens	0.000	0.000
Observações	7.596	7.596
Número de Municípios	633	633
<i>Log-likelihood</i>	-38,964	-38,968
Efeito fixo	Sim	Sim
Efeito de tempo	Sim	Sim

FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA.

NOTAS: \* Significante a 5%. \*\* Significante a 1%.

O coeficiente dos preços agrícolas (preços da soja e milho), apresentam resultados significativos e positivos, que são coerentes com os resultados encontrados por Assunção, Gandour e Rocha (2012) e Hargrave e Kis-Katos (2013). Este resultado mostra que, caso ocorra incentivo para aumento da produção, como um aumento de preços no curto prazo, há aumento da área de cultivo no próximo ciclo de produção. Portanto, a pressão desse efeito sobre o uso do solo implica em aumento do desmatamento.

O efeito estimado do Fundo Amazônia foi negativo e significativo nos dois modelos. Os resultados indicam que a presença de projetos apoiados pelo Fundo diminui o desmatamento está associada a uma redução anual média do desmatamento entre 39 km<sup>2</sup> (modelo SEM) e 47 km<sup>2</sup> (modelo SAR) nos municípios beneficiados pelo Fundo. Esses resultados sugerem evidência para a hipótese que os projetos apoiados pelo Fundo Amazônia auxiliam na redução do desmatamento municipal.

Contudo, como municípios onde o fenômeno do desmatamento ocorre com mais intensidade possuem maior chance de terem projetos apoiados pelo Fundo Amazônia e podem também ser alvos de outras ações de combate ao desmatamento, o resultado observado acima pode conter um efeito de viés de seleção. Para avaliar se tal efeito existe nos resultados da regressão, foi conduzido um teste de efeito placebo para a variável *dummy* do Fundo.

Os procedimentos adotados para o teste placebo foram os seguintes: i) simular a existência do Fundo Amazônia nos respectivos municípios no período anterior a vigência do mesmo, especificando as dummies do Fundo para o 2006-2009; ii) avaliar se existe diferença estatisticamente significativa entre os coeficientes da *dummy* do Fundo obtidos na Tabela 2 e os coeficientes obtido na regressão do teste placebo. Os resultados são reportados na Tabela 3 somente para os coeficientes da variável *dummy* associada ao Fundo Amazônia para abreviar espaço.



TABELA 3: RESULTADOS DO TESTE PLACEBO

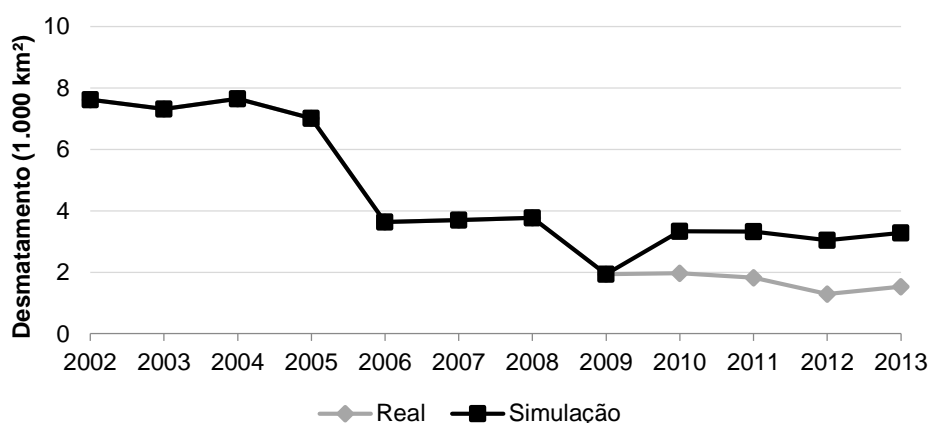
Regressor	SAR	SEM
Fundo Amazônia (Placebo)	-21,466**	-17,323**
Observações	7596	7596
Número de Municípios	633	633
<i>Log-likelihood</i>	-39,022	-39,027
Efeito fixo	Sim	Sim
Efeito de tempo	Sim	Sim
<b>Diferença dos coeficientes</b>	<b>-25,335**</b>	<b>21,968**</b>

FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA.

NOTAS: \* Significante a 5%. \*\* Significante a 1%.

O efeito do Fundo Amazônia no teste placebo foi negativo e estaticamente significativo e os municípios com projetos do Fundo já apresentavam redução do desmatamento. A diferença entre o coeficiente do teste placebo e o da Tabela 2 mostra uma redução significativa do desmatamento associado ao Fundo de 22 km<sup>2</sup> (modelo SEM) a 25 km<sup>2</sup> (modelo SAR), em média. Tal resultado evidencia que o Fundo contribuiu para a aceleração da trajetória de redução do desmatamento. A Figura 4 apresenta uma simulação do desmatamento sem o Fundo utilizando o coeficiente diferencial do Modelo SAR (Tabela 3). O desmatamento evitado nos municípios com projetos do Fundo foi de 6,4 mil km<sup>2</sup> entre 2010 e 2013 (média anual de 1,6 mil km<sup>2</sup>). Na ausência do Fundo, o desmatamento total da região da Amazônia Legal seria 29% maior. Considerando os valores despendidos pelo BNDES para apoio dos projetos utilizados no modelo, o custo médio<sup>10</sup> para a redução do desmatamento foi R\$ 14.182,25 por km<sup>2</sup> evitado.

FIGURA 4: SIMULAÇÃO DA ÁREA DESMATADA SEM A ATUAÇÃO DO FUNDO AMAZÔNIA



FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA.

## 5 Conclusões

Apesar da redução do desmatamento na Amazônia Legal, a dinâmica espacial do desmatamento exibe padrões persistentes com deslocamentos, principalmente do norte do Mato Grosso para o sul do Amazonas e metade sul do Pará. Essa dinâmica ocorre por forças econômicas vinculadas a expansão da fronteira agrícola. O Fundo Amazônia, operante desde

<sup>10</sup> Valores de 2015, corrigidos pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA).

2009, integra o conjunto de ações para controle e redução do desmatamento adotados nos últimos anos. Neste estudo utilizamos modelos em painel espacial para analisar se o Fundo contribuiu para reduzir o desmatamento nos municípios da Amazônia com projetos apoiados.

Verificamos que fatores econômicos ligados a rentabilidade das culturas agrícolas e pecuária (preços) condicionam o processo de desmatamento, como verificado em outros trabalhos. Também, encontramos evidências de que o Fundo contribuiu para reduzir o desmatamento, mesmo com um teste de efeito placebo. O Fundo evitou 6,4 mil km<sup>2</sup> de desmatamento no período 2010-2013. Um exercício de simulação mostrou que na ausência do Fundo o desmatamento na região seria 29% superior ao observado entre 2010 e 2013.

Apesar dessa evidência, os resultados aqui encontrados compõem uma agenda de investigação em andamento e devem ser avaliados de forma cautelosa, pois serão submetidos a testes de consistência com outros métodos de análise de impacto de políticas que lidam mais apropriadamente com efeitos de endogeneidade vinculados a problemas de seleção. Dessa forma, a agenda de investigação em andamento pressupõe a aplicação dos métodos diferenças-em-diferenças e *propensity score* como instrumento de avaliação dos impactos do Fundo Amazônia sobre o desmatamento.

## Referências

- ALMEIDA, E. **Econometria Espacial Aplicada**. 1.ed. Campinas, SP: Alínea, 2012.
- ANDAM, K. S.; FERRARO, P. J.; PFAFF, A.; SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; ROBALINO, J. A. Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 42, p. 16089–16094, 2008.
- ANGELO, H.; DE SÁ, S. P. P. O desflorestamento na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 3, p. 217–227, 2007.
- ANSELIN, L. *Spatial Econometrics: methods and models*. Kluwer Academic, Boston. 1998.
- ANSELIN, L. Local indicators of spatial association-lisa. **Geographical Analysis**, v. 27, n. 2, p. 93–115, 1995.
- ARAUJO, C.; BONJEAN, C. A.; COMBES, J. A.; COMBES MOTEL, P.; REIS, E. J. Property Rights and Deforestation in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v. 68, p. 2461 – 2468. 2009.
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. **Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: Prices or policies?**. Climate Policy Initiative Working Paper, 2012.
- ASSUNÇÃO, J., GANDOUR, C., ROCHA, R. **DETERING Deforestation in the Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement**. Climate Policy Initiative Working Paper, 2013.
- ASSUNÇÃO, J., GANDOUR, C., ROCHA, R.; ROCHA, R. **Does credit affect deforestation? Evidence from a rural credit policy in the Brazilian Amazon**. Climate Policy Initiative Working Paper, 2013.
- ATELLA, V.; BELOTTI, F.; DEPALO, D.; MORTARI, A. P. Measuring spatial effects in the presence of institutional constraints: The case of Italian local health authority expenditure. **Regional Science and Urban Economics**, v. 49, p. 232–241, 2014.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. Resolução n. 3.545. Disponível em: [http://www.bcb.gov.br/pre/normativos/busca/downloadNormativo.asp?arquivo=/Lists/Normativos/Attachments/47956/Res\\_3545\\_v1\\_O.pdf](http://www.bcb.gov.br/pre/normativos/busca/downloadNormativo.asp?arquivo=/Lists/Normativos/Attachments/47956/Res_3545_v1_O.pdf). Acesso em: 13/09/2015. 2008.
- BNDES. **Fundo Amazônia: Relatório de atividades 2010. Rio de Janeiro, RJ: Banco Nacional do Desenvolvimento**. Disponível em: [http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site\\_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/RAFA\\_2010\\_pt.pdf](http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/RAFA_2010_pt.pdf). Acesso: 19/08/2015. 2010.
- BNDES. **Fundo Amazônia: Relatório de atividades 2014. Rio de Janeiro, RJ: Banco Nacional do Desenvolvimento**. Disponível em: [http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site\\_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/RAFA\\_2010\\_pt.pdf](http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/RAFA_2010_pt.pdf). Acesso: 19/08/2015. 2014.
- BARBIER, E. B.; BURGESS, J. C. The economics of tropical deforestation. **Journal of Economic Surveys**, v. 15, n. 3, p. 413–433, 2001.
- BARBIER, E. B.; BURGESS, J. C. The economics of tropical forest land use options. **Land Economics** v. 73, n. 2, p. 174–195, 1997.
- BARBIER, E. B.; BURGESS, J. C.; GRANGER, A. The forest transition: Towards a more comprehensive theoretical framework. **Land Use Policy**, v. 27, n. 2, p. 98–107, 2010.

- BARONA, E.; RAMANKUTTY, N.; HYMAN, G.; COOMES, O. T. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, v. 5, n. 2, 2010.
- BELOTTI, F.; HUGHES, G.; MORTARI, A. P. XSMLE: Stata module for spatial panel data models estimation. Statistical Software Components S457610, Boston College Department of Economics, revisado em 15 de março de 2014, 2013
- BRASIL/COMITÊ INTERMINISTERIAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC – Brasil. Brasília. 2008.
- BRASIL/PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto n. 6.321, de 21 de dezembro de 2007. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/Decreto/D6321.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/Decreto/D6321.htm). Acesso em: 13/09/2015. 2007.
- BRASIL/PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto n. 6.527, de 1º de agosto de 2008. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6527.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6527.htm). Acesso em: 13/09/2015. 2008b.
- BRASIL/PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Plano Amazônia Sustentável: Diretrizes para o desenvolvimento sustentável da Amazônia Brasileira. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2008a.
- CÂMARA, G.; VALERIANO, D.; VIANEI, J. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006.
- CARVALHO, T. S.; ALMEIDA, E. A hipótese da curva de Kuznets ambiental global: Uma perspectiva econométrico-espacial. *Estudos Econômicos*, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 587–615, 2010.
- CHOMITZ, K. M.; GRAY, D. A. Roads, land use, and deforestation: A spatial model applied to Belize. *The World Bank Economic Review*, v. 10, n. 3, p. 487-512, 1996.
- CHOMITZ, K. M.; THOMAS, T. S. Determinants of land use in Amazônia: A fine-scale spatial analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 85, n. 4 p. 1016–1028, 2003.
- COMBES MOTEL, P.; PIRARD, R.; COMBES, J.-L. A methodology to estimate impacts of domestic policies on deforestation: Compensated successful efforts for “avoided deforestation” (REDD). *Ecological Economics*, v. 68, n. 3, p. 680–691, 2009.
- COOPER, R.; JOHN, A. Coordinating coordination failures in Keynesian Models. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 103, n. 3, p. 441-463, 1998.
- DE SOUZA, R. A.; MIZIARA, F.; JUNIOR, P. D. M. Spatial variation of deforestation rates in the Brazilian Amazon: A complex theater for agrarian technology, agrarian structure and governance by surveillance. *Land Use Policy*, v. 30, n. 1 p. 915–924, 2013.
- DELAZERI, L. M. M. **Determinantes do desmatamento nos municípios do Arco Verde – Amazônia Legal: uma abordagem econométrica**. São Paulo, SP: Associação Brasileira de Estudos Regionais Urbanos. Disponível em: <http://www.brsa.org.br/site/encontros-artigos.php?enaber=8>. 2014.
- DENNIS, K.; VAN RIPER, C. J.; WOOD, M. A. Payments for ecosystem services as a potential conservation tool to mitigate deforestation in the Brazilian Amazon. *Applied Biodiversity Perspective*, v. 1, n. 2, p. 1-15, 2011.
- EWERS, R. M.; LAURANCE, W. F.; SOUZA JR, C. M. Temporal fluctuations in Amazonian deforestation rate. *Environmental Conservation*, v. 35, n. 4, p. 303 - 310, 2008.
- FEARNSIDE, P. M. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. *Ecology and Society*, v. 13, n. 1, 2008.
- FUNDO AMAZÔNIA/CARTEIRA DE PROJETOS. Disponível em: [http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/fam/site\\_pt/Esquerdo/Projetos\\_Apoiados/Carteira\\_Projetos](http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/fam/site_pt/Esquerdo/Projetos_Apoiados/Carteira_Projetos). Acesso em: 10/08/2015. 2015.
- GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. Proximate causes and underlying driving forces of tropical. *BioScience*, v. 52, n.2 p. 143–150, 2002.
- GODAR, J., Toby, A. G., Tizado, E. J., Pacheco, P. Actor-specific Contributions to the Deforestation Slowdown in the Brazilian Amazon. *PNAS*, v. 111, n. 43, p. 15591 – 15596, 2014.
- GRAY, David. District house price movements in England and Wales 1997–2007: An exploratory spatial data analysis approach. *Urban Studies*, v. 49, n. 7, p. 1411-1434. 2012
- HAINING, R. P. Spatial data analysis: Theory and practice. 1.ed. Cambridge, UK: **Cambridge University Press**, 2003.
- HARGRAVE, J.; KIS-KATOS, K. Economic causes of deforestation in the Brazilian Amazon: A panel data analysis for the 2000s. *Environmental and Resource Economics*, v. 54, n. 4, p. 471–494, 2013.
- IBGE. Acesso em: 14/09/2015. Site da internet: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/amazonialelegal.shtm?c=2>. 2015.
- IBGE. **Geostatísticas da Vegetação e Cobertura da Terra da Amazônia Legal**. Acesso em: 01/09/2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000454.pdf>. 2002

- IBGE/PAM. **Base de Dados: Pesquisa Agrícola Municipal**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1612&z=t&o=3>. 2015.
- IBGE/PPM. **Base de Dados: Pesquisa Pecuária Municipal**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PP&z=t&o=24>. 2015.
- INPE. **Projeto PRODES: Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Acesso em: 05/5/2015. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>. 2015.
- INPE/PRODES. **Base de Dados: Projeto PRODES**. Acesso em: 01/09/2015. Disponível em: [http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes\\_1988\\_2014.htm](http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2014.htm). 2015.
- IPEA. O Que É? Amazônia Legal. **Desafios do Desenvolvimento**, ano 5, ed. 44, p. 64. 2008.
- IPEADATA. **Base de dados**. Acesso em: 01/03/2015. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/>. 2015.
- KAIMOWITZ, D.; ANGELSEN, A. **Economic models of tropical deforestation: A review**. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research, 1998.
- LAURANCE, W. F.; ALBERNAZ, A. K. M.; SCHROTH, G.; FEARNSIDE, P. M.; BERGEN, S.; VENTICINQUE, E. M.; DA COSTA, C. Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Biogeography**, v. 29, n. 5-6, p. 737-748, 2002.
- LE SAGE, J. P.; PACE, R. K. The biggest myth in spatial econometrics. **Econometrics**, v. 2, n. 4, p. 217-249, 2014.
- LE SAGE, J.; PACE, R. K. **Introduction to Spatial Econometrics**. 1.ed. CRC Press: Statistics: textbooks and monographs, 2009.
- MARGULIS, S. **Causes of deforestation of the Brazilian Amazon**. Washington, D. C.: World Bank Publications, vol. 22, 2004.
- MAY, P. H.; MILLIKAN, B.; GEBARA, M. F. O contexto de REDD+ no Brasil: Determinantes, atores e instituições. Bogor, Indonésia: Center for International Forestry Research, **Publicação Ocasional**, v. 62, 2011.
- Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): 3ª Fase (2012-2015) pelo Uso Sustentável e Conservação da Floresta**. Ministério do Meio Ambiente e Grupo Permanente de Trabalho Interministerial. Brasília: MMA, 2013. 174 p.
- MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O.; ARAI, E.; DEL BON ESPIRITO-SANTO, F.; FREITAS, R.; MORISSETTE, J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 39, p.14637-14641, 2006.
- PFAFF, A. S. P.; SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A. Deforestation pressure and biological reserve planning: a conceptual approach and an illustrative application for Costa Rica. **Resource and Energy Economics**, v. 26, n. 2, p. 237-254, 2004.
- PFAFF, A.; ROBALINO, J.; WALKER, R.; ALDRICH, S.; CALDAS, M.; REIS, E.; PERZ, S.; BOHRER, C.; ARIMA, E.; LAURANCE, W.; KIRBY, K. Road investments, spatial spillovers, and deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Regional Science**, v. 47, n. 1, p. 109-123, 2007.
- PIAZZA, A.; ROY, S. Deforestation and optimal management. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 53, p. 15-27, 2015.
- PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**. 6.ed. São Paulo, SP: Pearson Education, 2006.
- RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova economia**, v. 19, n. 1, p. 41-66, 2009.
- ROBALINO, J. A.; PFAFF, A. Contagious development: Neighbor interactions in deforestation. **Journal of Development Economics**, v. 97, n. 2, p. 427-436, 2012.
- ROSA, I. M. D.; SOUZA JR. C.; EWERS, R. M. Changes in size of deforested patches in the Brazilian Amazon. **Conservation Biology**, v. 26, n. 5, p. 932-937, 2012.
- ROSA, I. M. D.; PURVES, D.; SOUZA JR, C.; EWERS, R. M. Predictive Modelling of Contagious Deforestation in the Brazilian Amazon. **PLOS one**, v. 8, n. 10, 2013.
- SEAB/PR. **Base de Dados**. Acesso em: 15/01/2015. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=234>. 2015
- VERBURG, R.; RODRIGUES FILHO, S.; LINDOSO, D.; DEBORTOLI, N.; LITRE, G.; BURSZTYN, M. The impact of commodity price and conservation policy scenarios on deforestation and agricultural land use in a frontier area within the Amazon. **Land Use Policy**, v. 37, p. 14-26, 2014.
- WEINHOLD, D.; REIS, E. Transportation Costs and the Spatial Distribution of Land Use in the Brazilian Amazon. **Global Environmental Change**, v. 18, p. 54 - 68. 2008.
- WOOLDRIDGE, J. **Introductory econometrics: A modern approach**. 5 ed. Canadá: Cengage Learning, 2012.