

MÁRCIO BALDUINO SARAIVA

**TRANSIÇÃO FLORESTAL NO BIOMA AMAZÔNIA: DINÂMICA E
CONDICIONANTES SOCIOECONÔMICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S243t
2017 Saraiva, Márcio Balduino, 1985-
Transição florestal no bioma Amazônia : dinâmica e
condicionantes socioeconômicos / Márcio Balduino Saraiva. –
Viçosa, MG, 2017.
xi, 80f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Dênis Antônio da Cunha.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Uso da terra - Amazônia - Aspectos econômicos. 2. Uso da terra - Amazônia - Aspectos sociais. 3. Políticas públicas. 4. Vegetação secundária. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Economia Rural. Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada. II. Título.

CDD 22. ed. 333.75098113

MÁRCIO BALDUINO SARAIVA

**TRANSIÇÃO FLORESTAL NO BIOMA AMAZÔNIA: DINÂMICA E
CONDICIONANTES SOCIOECONÔMICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 03 de julho de 2017.



Ian Michael Trotter




Gabrielle Ferreira Pires



Marcelo Dias Paes Ferreira



Alfredo Kingo Oyama Homma
(Coorientador)



Dênis Antônio da Cunha
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por possibilitar concretizar mais essa etapa em minha vida acadêmica.

Agradeço aos meus pais Jorge e Lenir, pelo amor incondicional e por me mostrar a importância de ter e ser uma família. Agradeço ao meu irmão Harley B. Saraiva, por ser o meu grande amigo e estar me apoiando todo o tempo na vida e em meus estudos. Este agradecimento se estende a todos os membros das famílias Balduino e Saraiva.

Agradeço à minha esposa Mariana Paes e à nossa filha Alice P. Saraiva, pelo seu amor incondicional e por estar a todo o momento me apoiando nos estudos e nos desafios da vida. Assim como agradeço à sua família.

Agradeço em especial aos meus amigos John Leno Castro, Lindomar Pegorini Daniel e Marcelo Dias Paes Ferreira, que conheci durante a vida acadêmica e desejo que nossas amizades permaneçam vida afora, assim como agradeço a suas famílias por me acolherem como membros destas.

Em meu agradecimento também se fazem presentes meus amigos da vida acadêmica Cícero Lima, Gustavo Braga, Ian Trotter, Lora Anjos, Marcos Falcão, Marcos Nazareth, Matheus Neves, Tiago Gontijo, Walberti Saith, os quais partilharam bons e árduos momentos comigo.

Agradeço ao meu orientador Dênis Cunha, por seus ensinamentos e apoio durante os estudos e desenvolvimento deste trabalho acadêmico.

Agradeço ao meu coorientador Alfredo Homma, por seus ensinamentos passados ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da Universidade Federal de Viçosa, pelos ensinamentos na vida intelectual e pessoal. Meu agradecimento também se faz a todo o corpo administrativo do DER/UFV, pela amizade, além da extrema competência no atendimento a minhas necessidades.

Agradeço à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro, fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Economia (Agronegócios e Desenvolvimento Regional) da Universidade Federal de Mato Grosso, que me possibilitou concretizar mais essa etapa da vida acadêmica. Além disso, agradeço a todos os docentes das instituições em que estudei - Colégio Municipal Rio Branco, de Visconde do Rio Branco/MG, e Escola Municipal Jayme Fichman, de Duque de Caxias/RJ.

BIBLIOGRAFIA

MÁRCIO BALDUINO SARAIVA, filho de Jorge de Almeida Saraiva e Lenir Balduino Saraiva, nasceu em Duque de Caxias, Rio de Janeiro, em 17 de junho de 1985.

Em fevereiro de 2005, iniciou o curso de Gestão do Agronegócio pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), graduando-se em julho de 2009.

Em fevereiro de 2010 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Economia, Agronegócios e Desenvolvimento Regional, pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), concluindo os requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em fevereiro de 2012.

Em fevereiro de 2012, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), concluindo os requisitos necessários para a obtenção do título de *Doctor Scientiae* em julho de 2017.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações iniciais.....	1
1.2. O problema e sua importância	3
1.3. Hipótese	6
1.4. Objetivos.....	6
1.5. Estrutura do trabalho.....	6
2. CARACTERIZAÇÃO DA AMAZÔNIA LEGAL	7
2.1. Usos da terra na Amazônia Legal	10
2.2. Usos da terra com vegetação secundária no bioma Amazônia.....	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1. Transição florestal e mudança no uso da terra.....	18
3.2. Valor da terra como decisão de uso	22
3.3. Efeitos das falhas de mercado, políticas e institucionais sobre a transição florestal	24
4. METODOLOGIA.....	26
4.1. Modelo de vetores auto-regressivos com dados em painel (PVAR)	26
4.2. Modelos de dados em painel.....	28
4.3. Modelo empírico.....	30
4.4. Descrição das variáveis e fonte dos dados utilizados	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1. Mudanças do uso da terra	39
5.1.1. <i>Análise descritiva das variáveis</i>	39
5.1.2. <i>Mudanças do uso da terra no bioma Amazônia</i>	41
5.2. Determinantes da regeneração florestal no bioma Amazônia.....	47
5.2.1. <i>Análise descritiva das variáveis</i>	47
5.2.2. <i>Modelo base</i>	49
5.2.3. <i>Controlando a endogeneidade das variáveis - Método dos Momentos Generalizados</i>	56
5.2.4. <i>Controlando a endogeneidade das variáveis - método de variáveis instrumentais</i>	62
6. RESUMO E CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS	70
ANEXOS	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Participação das atividades econômicas no valor adicionado bruto (em %), dos estados da Amazônia Legal e Brasil, em 2014	9
Tabela 2 – Tamanho das áreas de uso e cobertura da terra no bioma Amazônia, em km ² , nos anos de 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014.....	12
Tabela 3 – Área plantada ou destinada à colheita das lavouras temporárias e permanentes, em mil hectares, na Amazônia Legal	16
Tabela 4 – Descrição das variáveis e fonte dos dados.....	34
Tabela 5 – Área dos usos da terra e cobertura florestal, de forma agregada (em km ²), e a taxa geométrica de crescimento dos usos da terra, entre 2004 e 2014	40
Tabela 6 – Resultados do modelo de mudança do uso da terra.....	42
Tabela 7 - Estatísticas descritivas das variáveis do modelo determinantes da vegetação secundária	48
Tabela 8 - Determinantes da proporção de vegetação secundária, considerando o valor das multas, estimado por MQG	50
Tabela 9 - Determinantes da proporção de vegetação secundária, considerando o número de multas, estimado por MQG.....	55
Tabela 10 – Determinantes da proporção de vegetação secundária, considerando o valor das multas, estimado por GMM.....	57
Tabela 11 – Determinantes da proporção de vegetação secundária, considerando o número de multas, estimado por GMM.....	60
Tabela 12 - Determinantes da proporção de vegetação secundária, considerando o valor das multas, estimado por variável instrumental.....	63
Tabela 13 - Determinantes da proporção de vegetação secundária, considerando o número de multas, estimado por variável instrumental	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Delimitação das áreas da bacia Amazônica, Amazônia Legal e bioma Amazônia.....	8
Figura 2 – Mapa dos usos e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal, em 2014	12
Figura 3 – Evolução da taxa de desmatamento (km ²) e do rebanho bovino (mil cabeças), na Amazônia Legal, entre 1988 e 2015	14
Figura 4 – Mapa da distribuição espacial da vegetação secundária Amazônia, em 2014	17
Figura 5 - Mudanças de uso da terra da transição florestal	19
Figura 6 – Mudanças projetadas no uso da terra para o município médio	45

RESUMO

SARAIVA, Márcio Balduino, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Transição florestal no bioma Amazônia: dinâmica e condicionantes socioeconômicos.** Orientador: Dênis Antônio da Cunha. Coorientadores: Alfredo Kingo Oyama Homma e Marcel Viana Pires.

A floresta Amazônica é o principal remanescente de floresta tropical do mundo, entretanto suas contribuições para o equilíbrio ambiental estão ameaçados pelo progressivo desmatamento. Os principais indutores do desmatamento recente são o crescimento econômico e a expansão da fronteira agrícola para a região. Outros fatores determinantes do desmatamento são a expansão da pecuária, a expansão da agricultura anual mecanizada, a extração de madeira, os investimentos em infraestrutura e os incentivos fiscais. Até o ano de 2004, o bioma Amazônia passava por acelerado processo de desmatamento, mas, neste mesmo ano, implementou-se o Plano de Ações para a Prevenção e o Controle do Desmatamento da Amazônia Legal (PPCDAm), cujos efeitos provocaram drástica redução nas taxas de desmatamento. Esse plano conta com ações articuladas em três eixos temáticos: ordenamento fundiário, monitoramento e controle ambiental e fomento às atividades produtivas sustentáveis. Aliado à queda no desmatamento, observa-se que, pela implementação do PPCDAm, a área de regeneração florestal com vegetação secundária está em franca expansão no bioma Amazônia. No período de 2004 a 2014, a vegetação secundária foi o uso da terra que mais se expandiu no bioma Amazônia, com aproximadamente 49% do aumento na área total de uso da terra nesse período, tendo sido proveniente do aumento da área de vegetação secundária. Nesse contexto, o presente trabalho teve o objetivo de analisar a dinâmica das mudanças no uso da terra e determinar se as políticas ambientais e os condicionantes socioeconômicos estão influenciando na proporção da área de vegetação secundária no bioma Amazônia. Esse estudo está fundamentado na teoria da Transição Florestal e do processo de mudanças no uso da terra, por considerar que a transição florestal é um fenômeno de longo prazo, em que o declínio da área de floresta primária é acompanhado pela regeneração florestal. O modelo econômico utilizado considera que os agentes econômicos tomam decisão sobre a alocação da terra segundo seu valor de uso. Entretanto o processo de mudanças do uso da terra e a transição florestal podem sofrer interferência de falhas de mercado, políticas e fatores institucionais. De forma analítica, foram utilizados modelos de vetores auto-regressivos, com dados em painel

(PVAR), para identificar o padrão de mudanças no uso da terra e fazer projeções futuras do uso da terra. Além disso, utilizou-se de modelos de dados em painel para determinar o efeito das políticas ambientais e de condicionantes socioeconômicos sobre a proporção de vegetação secundária no bioma Amazônia. Os resultados dos usos da terra até 2050 indicam que a pastagem continuará sendo o principal uso da terra. Além disso, as áreas de vegetação secundária continuarão se expandindo no bioma, indicando que a floresta primária desmatada, no longo prazo, tende a se regenerar. As áreas agrícolas também apresentaram tendência de elevação. Especificamente, em relação à área de vegetação secundária, verifica-se que os preços agrícolas e do extrativismo são importantes determinantes da regeneração florestal do bioma Amazônia. Além disso, verifica-se que as políticas públicas de combate ao desmatamento ilegal pela aplicação de multas têm favorecido o aumento da área de regeneração florestal. Entretanto, a política de concessão de crédito rural a juros subsidiado vem favorecendo a expansão agropecuária sobre as áreas de vegetação secundária.

ABSTRACT

SARAIVA, Márcio Balduino, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Forest transition in the Amazon biome: dynamics and socioeconomic determinants.** Adviser: Dênis Antônio da Cunha. Co-Advisers: Alfredo Kingo Oyama Homma and Marcel Viana Pires.

The Amazon rainforest is the main remnant of tropical rainforest in the world, its contributions to the environmental balance are threatened by the progressive deforestation, however. The main inductors of recent deforestation are the economic growth and the agricultural frontier expansion in the region. Other determining factors of deforestation include expanding livestock, the expansion of mechanized annual agriculture, wood extraction, infrastructure investments, and fiscal incentives. Until 2004, the Amazon biome underwent an accelerated process of deforestation. Although, in the same year, the Action Plan for the Prevention and Control of Legal Amazon Deforestation (PPCDAm) was implemented, its effects caused a drastic reduction in deforestation rates. This plan has actions articulated in three thematic axes: land ordering, environmental monitoring and control, and finally, promotion of sustainable productive activities. In addition to the decline in deforestation, it is observed that since the implementation of the PPCDAm, the forest regeneration area, with secondary vegetation, has been expanding quickly in the Amazon biome. In the period from 2004 to 2014, secondary vegetation was the land use that expanded the most in the Amazon biome, nearly 49% of the increase in the total land use area in that period, resulting from the increase in secondary vegetation area. In this context, the present work had the objective of analyzing the dynamics of changes in land use and determining whether environmental policies and socioeconomic constraints are influencing the proportion of secondary vegetation area in the Amazon biome. This study is based on the theory of Forest Transition and the process of changes in land use, considering that the forest transition is a long-term phenomenon, in which the decline of primary forest area is accompanied by forest regeneration. The economic model used considers that the economic agents make the decision on the allocation of the land from its value in use. However, the process of land use change and forest transition may suffer interference from market failures, policies, and institutional factors. Analytically, self-regressive vector models with panel data (PVAR) were used in order to identify the pattern of changes in land use and to make future projections of land use. Moreover, panel data

models were used to determine the effect of environmental policies and socioeconomic constraints on the proportion of secondary vegetation in the Amazon biome. The results of land uses up to 2050 indicate that pasture will continue to be the main land use. In addition, areas of secondary vegetation will continue to expand in the biome indicating that the deforested primary forest in long term tends to regenerate. Agricultural areas also showed a tendency to increase. Specifically, in relation to the area of secondary vegetation, it is verified that the agricultural and extractivism prices are important determinants of the forest regeneration of the Amazon biome. Furthermore, it can be seen that public policies to combat illegal deforestation through the application of fines have favored an increase in the area of forest regeneration. However, the policy of subsidized rural credit granting favors agricultural expansion over secondary vegetation areas.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

Alterações na cobertura vegetal decorrentes de mudanças do uso da terra e florestas (MUT) geram problemas ambientais em escalas local e global, com impactos sobre a emissão de gases de efeito estufa (GEE), perda de biodiversidade, sedimentação de rios, entre outros (WALKER, 2004). Entre esses efeitos, as emissões de GEE são os principais responsáveis pelo processo de mudanças climáticas.

No Brasil, o setor de MUT é historicamente o principal responsável pelas emissões de GEE, o que o torna estratégico para a política nacional de redução das emissões de GEE. A participação deste setor nas emissões nacionais em 2005 foi de 57,71%, seguido pelo setor da agropecuária com 20,34%. No entanto, as emissões nacionais vêm se reduzindo, influenciadas pela queda nas emissões, que resultam do desmatamento. Assim, em 2012, o setor de MUT passou a contribuir com 14,59% das emissões nacionais de GEE (MCTI, 2014). Parte relevante dessa queda nas emissões foi proveniente da redução do desmatamento primário da Amazônia Legal, mediante políticas de combate ao desmatamento (ASSUNÇÃO et al., 2013; HARGRAVE e KIS-KATOS, 2013; ASSUNÇÃO et al., 2015; FERREIRA e COELHO, 2015). Ademais, as alterações na dinâmica do uso da terra, em que há a regeneração de áreas desmatadas, contribuem para a reabsorção de carbono (POORTER et al., 2016).

A Amazônia Legal é o principal remanescente de floresta tropical do mundo, mas suas contribuições para o equilíbrio ambiental global estão ameaçadas pelo progressivo desmatamento (HADDAD et al., 2015). O desmatamento tem como principais indutores o crescimento econômico e também a expansão da fronteira agrícola para a região. As principais pesquisas na área destacam como fatores determinantes do desmatamento as políticas de colonização (KOHLHEPP, 2002; CASTRO, 2005) e os incentivos fiscais (BECKER, 1998; COSTA, 2005). Nos últimos anos, o desmatamento tem sido associado, principalmente, à expansão da pecuária (BARONA et al., 2010; BOWMAN et al., 2012), expansão da soja (BARONA et al., 2010; HARGRAVE e KIS-KATOS, 2013), expansão das madeireiras (HARGRAVE e KIS-KATOS, 2013) e a investimentos em infraestrutura (PFAFF et al., 2007).

Tendo em vista reduzir as elevadas taxas de desmatamento, foram instituídas diversas políticas de combate ao desmatamento. As principais políticas de combate ao desmatamento são o Plano de Ações para a Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal (PPCDAm) (MMA, 2013), o Projeto de Monitoramento do

Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) (INPE, 2017), entre outros, além do acordo voluntário entre os principais comercializadores de soja, de não comprar soja cultivada em terras desmatadas da Amazônia após 2008, conhecida como moratória da soja (GIBBS et al., 2015).

A área de floresta primária¹ desmatada da Amazônia Legal até 2014 foi de 762,4 mil km², o que representa 18,7% da área total do bioma Amazônia (TERRACLASS, 2014). Essa área desmatada apresenta complexa dinâmica em seu uso e cobertura da terra. Inicialmente, as florestas primárias são desmatadas, tendo seu solo destinado a diferentes usos da terra, principalmente agricultura e pecuária. Em geral, no médio e longo prazo, restrições biofísicas e fatores socioeconômicos induzem as atividades econômicas a ceder espaço para as florestas secundárias² (PERZ e SKOLE, 2003a). Essas florestas secundárias podem surgir em decorrência de estratégia de rotação (pousio), degradação do solo ou abandono, em que a regeneração espontânea origina a vegetação secundária, ou podem ser motivadas pelo reflorestamento. No longo prazo, essas áreas de vegetação secundária podem ser desmatadas e incorporadas novamente ao sistema produtivo. Segundo Salomão et al. (2012), a floresta secundária pode ser dividida em três estágios de sucessão florestal: inicial (capoeirinha), intermediário (capoeira) e avançado (capoeirão).

Apesar de o desmatamento de floresta primária constituir grave problema ambiental, este não é um fenômeno definitivo, pois parte dessas áreas pode se regenerar, inclusive para florestas. As florestas secundárias desempenham importantes papéis, como a fixação de carbono atmosférico e a sustentabilidade³ dos sistemas agrícolas (FEARNSIDE; GUIMARÃES, 1996; GASCÓN; MOUTINHO, 1998; HOUGHTON et al., 2000; JOHNSON et al., 2001; POORTER et al. 2016), proporcionar habitat para apoiar maior biodiversidade em paisagens fragmentadas (SALDARRIAGA et al., 1988; BROWN; LUGO, 1990; LAMB et al., 1997), função social como recurso para a sustentabilidade humana (PERZ; SKOLE, 2003b) e fornecimento local de plantas medicinais (CHAZDON; COE, 1999). Segundo POORTER et al. (2016), os serviços ecossistêmicos oferecidos pela vegetação secundária estão interligados à capacidade de

¹ “Floresta que nunca sofreu derrubada ou corte, sendo remanescente das florestas originais de uma região. Floresta não alterada pela ação do homem” (IBGE, 2004).

² “Floresta em processo de regeneração natural após ter sofrido derrubada ou alteração pela ação do homem ou de fatores naturais” (IBGE, 2004).

³ Os sistemas agrícolas dependem de um período de pousio, com vegetação lenhosa, tendo por finalidade a regeneração da qualidade do solo para as culturas anuais e a pastagem.

resiliência⁴ da biomassa dessa floresta. Essa taxa de recuperação da vegetação secundária varia de acordo com as características do local e uso, tais como: disponibilidade de recursos (pluviosidade e fertilidade do solo), grau de perda de floresta (disponibilidade de sementes) e intensidade de uso anterior do solo.

No Brasil, a área de regeneração constituída de vegetação secundária é o uso da terra que mais vem se expandindo no bioma Amazônia. No período de 2004 a 2014, as áreas de uso da terra no bioma Amazônia aumentaram 148,5 mil km². Nesse mesmo período, o uso da terra com vegetação secundária aumentou em 72,7 mil km², ou seja, 48,9% do aumento ocorrido na área total de uso é proveniente do aumento da área de vegetação secundária (TERRACLASS, 2014).

1.2. O problema e sua importância

A dinâmica do uso da terra na Amazônia Legal tem passado por mudanças nos últimos anos. Observa-se crescente aumento de regeneração da floresta, em que diversos usos da terra têm cedido área para a vegetação secundária. Segundo Barbier et al. (2010), Lambin e Meyfroidt, (2010) e Rudel et al. (2010), esse processo é influenciado por fatores como a urbanização, modernização agrícola, aumento da demanda por produtos florestais e serviços ambientais, políticas governamentais e o abandono de pastagens, o que impõe novos desafios para a sociedade, produtores rurais e poder público. Neste contexto de mudanças, torna-se importante entender a dinâmica do uso da terra e identificar quais classes de uso estão provendo área para a expansão da vegetação secundária. Ademais, torna-se crucial identificar a relação entre as políticas de combate ao desmatamento primário, assim como variáveis socioeconômicas, sobre as áreas de regeneração florestal.

Segundo Mello e Alves (2011), a vegetação secundária da Amazônia Legal resulta de um complexo processo de trajetórias de uso do solo. Esse fato é devido à sucessão secundária fazer parte de um sistema de uso da terra ainda em desenvolvimento. O crescimento da vegetação secundária pode ser motivado como estratégia de rotação (pousio), ou falta de uso da terra. Assim, dependendo do tipo de uso que está originando a vegetação secundária, podem ser obtidos indícios da estratégia estabelecida por quem está explorando essa área.

⁴ Capacidade de recuperação da biomassa após a perturbação (recuperação absoluta) ou a capacidade de retorno ao estado original, antes do desmatamento, da biomassa (recuperação relativa).

Na literatura, há vasto conhecimento sobre o desmatamento da Amazônia brasileira. De forma geral, existem duas correntes de estudo que analisam a cobertura vegetal da Amazônia. Na primeira abordagem, os pesquisadores avaliam os condicionantes do desmatamento, enquanto, na segunda, procuram analisar a dinâmica do uso do solo ao longo do tempo, mas tais estudos não se preocupam com a expansão da vegetação secundária. Um primeiro esforço nesse sentido foi empreendido por Perz e Skole (2003a, b). Os trabalhos recentes que exploram essa temática são de Aguiar et al. (2016), que desenvolveram cenários futuros alternativos da dinâmica da vegetação secundária, e de Pfaff e Walker (2010), que exploram a influência da interdependência regional na transição florestal.

Questões críticas relacionadas à regeneração da floresta no Brasil têm sido negligenciadas, tais como fatores socioeconômicos e ambientais envolvidos nesse processo (SLOAN, 2015). Em grande medida, parte dessa carência de estudos decorre da falta de dados de sensoriamento remoto, com a classificação dos tipos de uso da terra existentes na Amazônia.

Desde 2008, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais vem desenvolvendo o projeto TerraClass, que classifica os usos da terra em 12 categorias, tendo como referência imagens de satélite. Essas informações foram coletadas nos anos 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014 e os usos da terra foram identificados nas classes agricultura anual, pastagem separada em pasto limpo, pasto sujo, regeneração com pasto e pasto com solo exposto, vegetação secundária, mosaico de ocupações, desflorestamento do ano, área urbana, reflorestamento, mineração e outros usos, além da área não observada.

Os dados sobre o uso da terra da Amazônia Legal indicam que, em 2014, a maior parte da área, 63,0%, é destinada a pastagem, distribuída nas seguintes proporções: 49,6% corresponde a pasto limpo; 7,9% refere-se a pasto sujo; e 5,5% à regeneração com pasto. As demais proporções de usos do solo são destinadas à vegetação secundária, com 22,8%, agricultura anual, com 5,9%, além de área urbana, mineração, reflorestamento e área não observada (TERRACLASS, 2014). Esse mesmo relatório sugere que a área de vegetação secundária está se expandindo sobre as áreas de pastagem, que vêm apresentando taxa de crescimento menor que a da área de vegetação secundária.

Dessa forma, considerando as informações disponíveis no projeto TerraClass, este estudo analisou as mudanças do uso da terra e o processo de transição florestal que vem ocorrendo na Amazônia brasileira. Foi utilizada uma versão adaptada do modelo de

Andersen et al., (1997), aprimorada por Mendonça et al., (2012), que permite identificar a dinâmica da transição do uso da terra. Assim, buscou-se determinar um padrão típico dos usos sucessivos da terra após o desmatamento. Foi estudado ainda o impacto das políticas de combate ao desmatamento primário e de outras variáveis socioeconômicas sobre a variação nas áreas de vegetação secundária, no período de 2008 a 2014.

Diante do exposto, este trabalho buscou responder às seguintes questões: Qual é a dinâmica de uso da terra no bioma Amazônia, no período de 2004 a 2014? Quais diferentes usos da terra estão cedendo área para a vegetação secundária? Quais políticas de combate ao desmatamento e fatores socioeconômicos estão influenciando no tamanho da área de vegetação secundária, no período de 2008 a 2014?

Tendo em vista os resultados deste estudo, pretende-se contribuir para o debate da dinâmica do uso da terra da região Amazônica, com enfoque na área de vegetação secundária. Pretende-se ainda fornecer subsídios para os formuladores de políticas públicas traçarem estratégias que incentivem a expansão das áreas de vegetação secundária. Isso poderia contribuir para o atingimento das metas da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Embora a PNMC não trate especificamente da contribuição advinda da regeneração de vegetações secundárias, sabe-se que elas são eficientes para reduzir as concentrações de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Conforme o estudo de Poorter et al. (2016), as florestas secundárias constituem opção viável e de baixo custo para o “sequestro” de carbono.

Além disso, com as informações deste estudo, é possível identificar e estabelecer estratégias para os tipos de uso da terra que fornecem área para a vegetação secundária. Ademais, pela identificação dos fatores socioeconômicos relacionados à expansão da área de vegetação secundária, pode-se incentivar a ampliação dessas áreas, através de mecanismos de política pública. Por fim, pretende-se contribuir com a literatura sobre transição florestal, com enfoque nas áreas de vegetação secundária, que ainda apresenta quantidade restrita de estudos, sobre a dinâmica do uso da terra da maior floresta tropical do mundo.

1.3. Hipótese

A hipótese que norteia este estudo considera que a atual dinâmica do uso da terra no bioma Amazônia faz com que parcela considerável da área desmatada volte a ser ocupada por vegetação secundária. Isso é consequência direta das políticas de combate ao desmatamento de floresta primária, cujos efeitos são transbordados sobre as áreas de vegetação secundária.

1.4. Objetivos

O objetivo principal deste estudo é analisar a dinâmica das mudanças do uso da terra e determinar as políticas ambientais e os condicionantes socioeconômicos que estão influenciando na proporção da área de floresta secundária no bioma Amazônia.

Especificamente, pretende-se:

- a) Identificar a dinâmica de transição florestal entre as classes de uso da terra;
- b) Fazer projeções das futuras alocações do uso da terra; e
- c) Verificar a influência dos determinantes socioeconômicos e das políticas ambientais sobre a expansão da área de floresta secundária.

1.5. Estrutura do trabalho

Esse trabalho está estruturado em outros cinco capítulos além desta introdução. No segundo capítulo, é feita uma breve caracterização da área de estudo, o bioma Amazônia, e o atual cenário de uso da terra. No terceiro, é apresentado o referencial teórico utilizado para a análise, ou seja, a teoria da Transição Florestal, que considera o valor da terra como decisão do uso e o efeito das falhas de mercado, políticas e fatores institucionais sobre a transição florestal. No quarto capítulo, são apresentadas as metodologias utilizadas para responder aos objetivos propostos: modelos de vetores auto-regressivos com dados em painel (PVAR) e modelos de dados em painel. No quinto capítulo, os resultados são apresentados e discutidos. No sexto e último capítulo, são apresentadas as principais conclusões desse estudo.

2. CARACTERIZAÇÃO DA AMAZÔNIA LEGAL

A Amazônia é a maior floresta latifoliada úmida do mundo, estendendo-se por uma vasta região em oito diferentes países da América do Sul. Do conceito de Amazônia, desmembram-se três definições diferentes: bacia Amazônica, Amazônia Legal e bioma Amazônia.

A bacia Amazônica representa o conjunto de recursos hídricos que convergem para o Rio Amazonas. Essa é a maior rede hídrica do planeta, sendo responsável por escoar cerca de um quinto do volume de água doce do mundo. A bacia Amazônica ocupa uma área de aproximadamente 7 milhões de km², o que corresponde a dois quintos do território da América do Sul. Essa bacia está localizada no Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Peru, Suriname e Venezuela. No Brasil, essa bacia está presente nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Roraima (IBGE, 2017). No território brasileiro, está localizada sessenta por cento da bacia Amazônica.

A Amazônia Legal é uma região político-administrativa instituída pelo governo brasileiro, que reúne regiões com idênticos problemas econômicos, políticos e sociais. A Amazônia Legal ocupa uma área de 5,02 milhões de km², englobando nove estados brasileiros, pertencentes à bacia Amazônica, tendo em seu território trechos do bioma Amazônia, assim como outros biomas. Essa área corresponde aos estados da região norte (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima, Rondônia e Tocantins), acrescida da totalidade do estado de Mato Grosso e dos municípios do estado do Maranhão, localizados a oeste do meridiano 44°. A criação da Amazônia Legal tem por finalidade identificar as unidades político-administrativas do Brasil localizadas na área definida como Amazônia Legal, à qual se destina tratamento específico em função de suas características climáticas (IBGE, 2017).

O bioma Amazônia ocupa a maior extensão de terra no Brasil, estendendo-se por 49,29% do território nacional. O bioma Amazônia ocupa cinco unidades da federação (Acre, Amapá, Amazonas, Pará e Roraima), além de ter porções de áreas nos estados de Rondônia (98,8%), Mato Grosso (54%), Maranhão (34%) e Tocantins (9%) (IBGE, 2017).

Esse trabalho tem como objeto de estudo o bioma Amazônia entre as delimitações apresentadas. No entanto, nessa seção de caracterização, algumas informações serão abordadas no âmbito da Amazônia Legal, em virtude da

disponibilidade dos dados. A Figura 1 apresenta a delimitação espacial das áreas referentes às diferentes definições de Amazônia.

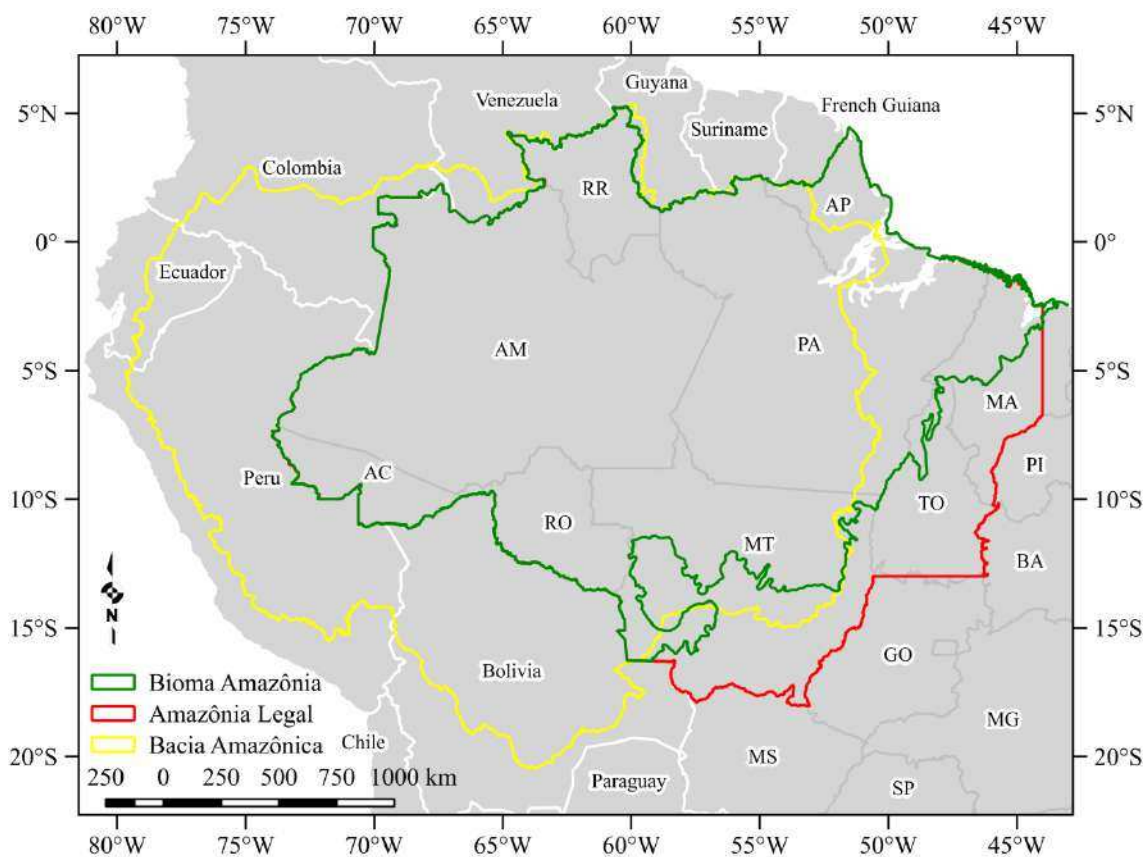


Figura 1 – Delimitação das áreas da bacia Amazônica, Amazônia Legal e bioma Amazônia

Fonte: IBGE e INPE, com dados trabalhados pelo autor.

A Amazônia Legal ocupa 59% do território brasileiro, distribuído entre 771 municípios, em nove estados. Essa região se caracteriza por apresentar grande diversidade natural, econômica, social, cultural e tecnológica. Neste sentido, para caracterizar a região, serão abordadas informações demográficas, econômicas, processo de ocupação da região, fronteira agropecuária e uso da terra.

A população residente na Amazônia Legal, em 2010, era de 24,4 milhões de pessoas (12,78% da população nacional), 72,44% residindo na zona urbana (IBGE, 2015). Entre 2000 e 2010, a região norte se destacou por apresentar a maior taxa de crescimento populacional, em média 2,09% ao ano, com destaque para os estados do Amapá e Roraima. Esse expressivo crescimento populacional é reflexo da nova fronteira agrícola que tem provocado migração para a região. Entretanto, as regiões norte e centro-oeste continuam sendo as menos populosas do país.

Os dados do Produto Interno Bruto (PIB) para os estados da Amazônia Legal fornecem um panorama da importância que cada atividade econômica tem por unidade da federação. No âmbito nacional, as atividades econômicas apresentaram a seguinte participação na composição do PIB de 2014: agropecuária 5,0%, indústria 23,8%, serviços 54,8% e setor público 16,4%. No âmbito da Amazônia Legal, verifica-se que o setor agropecuário apresenta a maior parcela na composição do PIB, em relação à participação nacional, nos estados de Mato Grosso (21,0%), Tocantins (13,9%), Rondônia (12,7%), Pará (11,9%), Acre (10,7%), Maranhão (10,6%) e Amazonas (7,2%) (Tabela 1).

O setor industrial da Amazônia Legal apresenta participação no PIB da região, inferior à média nacional, exceto nos estados do Amazonas (34,5%) e Pará (29,5%). Outrossim, o setor de serviços também apresenta participação na composição do PIB inferior à média nacional. Já o setor público é uma atividade econômica de relevante importância na composição do PIB da região, com participação no PIB superior à média nacional, exceto no estado de Mato Grosso (16,1%).

Tabela 1 - Participação das atividades econômicas no valor adicionado bruto (em %), dos estados da Amazônia Legal e Brasil, em 2014

	AC	AM	AP	MA*	MT	PA	RO	RR	TO	BR
Agropecuária	10,7	7,2	2,2	10,6	21,0	11,9	12,7	4,3	13,9	5,0
Indústria	11,3	34,5	10,5	19,0	17,4	29,5	17,9	11,2	15,8	23,8
Serviços	42,6	38,7	43,1	47,6	45,4	38,0	41,2	38,7	39,1	54,8
Público	35,3	19,6	44,3	22,8	16,1	20,6	28,1	45,8	31,1	16,4

Nota: * Maranhão: municípios a oeste do meridiano de 44° de longitude oeste.

Fonte: IBGE, 2017.

Segundo Aguiar et al. (2007), o processo de ocupação humana da Amazônia brasileira ocorreu de forma heterogênea no espaço e no tempo. Neste contexto, a Amazônia pode ser dividida em três padrões espaciais de ocupação: região sul e leste (arco densamente povoado, onde ocorreu a maioria do desmatamento), região central (onde estão localizadas as novas fronteiras agrícolas) e região ocidental (em sua maioria, áreas pouco antropizada). Essas regiões apresentam níveis diferentes no que se refere ao desmatamento, produção agropecuária e participação econômica.

A densidade demográfica da Amazônia Legal revela a heterogeneidade da ocupação na região. Nas regiões de baixa densidade demográfica, estão localizados povoados rurais dispersos com baixa e alta pressão humana sobre as florestas, além

de povoamentos rurais altamente tecnificados, associados a centros locais. As fronteiras mais remotas da Amazônia estão localizadas ao norte da calha do Rio Amazonas, norte do Pará, noroeste do Amapá e do Amazonas e no sudoeste do Acre e do Amazonas. Essas são regiões de difícil acesso, caracterizadas pela existência de unidades de conservação e terras indígenas. Por outro lado, há povoamentos rurais dispersos que exercem alta pressão sobre as florestas, por sofrer pressão da expansão da fronteira agropecuária. Essas áreas estão situadas na Amazônia central e no oeste de Rondônia. Já os povoamentos rurais altamente tecnificados estão localizados em regiões de intensa expansão da agropecuária, no centro-norte de Mato Grosso (MMA, 2017).

As regiões de baixa a média densidade demográfica estão localizadas nas áreas de várzea, as situadas no médio e baixo Amazonas, no Pará, e no rio Solimões, no Amazonas, assim como os pequenos aglomerados rurais e ao longo dos eixos viários. As regiões de média a alta densidade demográfica são as áreas de povoamento mais antigo da Amazônia oriental, localizadas nos estados do Maranhão, norte de Tocantins e em Rondônia, ao longo do eixo da BR-364. Já as regiões de alta densidade populacional estão localizadas nas capitais dos estados e nas áreas que sofrem sua influência direta (MMA, 2017).

2.1. Usos da terra na Amazônia Legal

A área total da Amazônia Legal é de aproximadamente 5 milhões de km². Em 2014, essa área estava distribuída da seguinte forma: 3.179.056,69 km² (78,33%) de floresta; 762.464,00 km² (18,73%) de desmatamento acumulado de 1988 a 2013; 4.318,60 km² (0,11%) de desmatamento de 2014; 114.913,57 km² (2,82%) de hidrografia; e 953.263,04 km² de áreas denominadas como não floresta ⁵ (TERRACLASS, 2014).

Esse trabalho se restringe a analisar apenas os 762 mil km² referentes ao desmatamento acumulado até 2013, mais o desmatamento ocorrido em 2014, ou seja, as áreas já desmatadas do bioma Amazônia que estão sendo utilizadas em alguma das categorias de uso da terra. Essas áreas foram classificadas em 12 categorias de uso: agricultura anual, área urbana, desmatamento ocorrido no ano, mineração, mosaico de ocupações, outros, pasto com solo exposto, pasto limpo, pasto sujo, reflorestamento,

⁵ Não floresta refere-se a áreas previamente identificadas nas imagens com base no Mapa de Vegetação do IBGE como constituída de vegetação com fisionomia diversa da florestal, como Savana Arbórea-Arbustiva (Cerrado), Savana Gramíneo-Lenhosa (Campo Limpo de Cerrado), Campinarana, etc. A área de não floresta representa 953.262,36km², ou seja, 19,01% da área total da Amazônia Legal.

regeneração com pasto e vegetação secundária, além da área não observada. A Tabela 1A do Anexo apresenta uma caracterização detalhada de cada uma das classes de uso e cobertura da terra.

A Tabela 2⁶ apresenta a evolução do tamanho da área de cada categoria de uso e a cobertura da terra no bioma Amazônia, nos anos de 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014. A Tabela 2A do Anexo apresenta as áreas de uso e cobertura da terra na Amazônia Legal e suas respectivas parcelas de uso.

Os dados do monitoramento do uso da terra mostram a crescente expansão da área de agricultura anual sobre o bioma Amazônia. Por outro lado, em relação à área de mosaico de ocupações, observa-se certa estabilidade em sua área ao longo do tempo, indicando que a agricultura tradicional e familiar tem mantido relativamente estável sua área de ocupação. Outrossim, também se verifica certa estabilidade na área ocupada por reflorestamento de espécies exóticas com finalidade comercial.

A pastagem é o principal uso da terra no bioma Amazônia e ocupa 63% da área total de uso. O pasto limpo é a categoria de uso mais predominante na região e nos últimos anos vem expandindo sua área de ocupação. Por outro lado, as demais categorias de uso com pastagem - pasto sujo, regeneração com pasto e pasto com solo exposto -, consideradas pastagens degradadas, vêm perdendo área para outros usos nos últimos anos. A recuperação dessas áreas de pastagem degradada ou em processo de degradação pode evitar a expansão do desmatamento sobre novas áreas de floresta.

A vegetação secundária é o terceiro tipo de uso mais observado no bioma Amazônia, além de ser a categoria de uso que mais vem se expandindo na região nos últimos anos. Em contrapartida, a taxa de desmatamento de floresta virgem vem se reduzindo consideravelmente nos últimos dez anos. Essas informações evidenciam o início de uma tendência conservacionista da floresta, com a redução do desmatamento de floresta virgem e o aumento das áreas de floresta secundária.

Os outros tipos de uso da terra com área urbana, mineração e outros também apresentaram aumento na participação de suas áreas sobre as áreas de uso da Amazônia. Por fim, em relação à área não observada verifica-se sempre incidência de nuvens durante o sensoriamento remoto, prejudicando a classificação dos usos dessas áreas.

⁶ Os dados estão dispostos na tabela de forma a agrupar por categorias de uso semelhantes: área agrícola (agricultura anual, mosaico de ocupações e reflorestamento), área de pastagem (pasto limpo, pasto sujo, regeneração com pasto e pasto com solo exposto), áreas de vegetação secundária (vegetação secundária), outros uso (área urbana, mineração e outros) e, área de uso não observada no ano (área não observada).

Tabela 2 – Tamanho das áreas de uso e cobertura da terra no bioma Amazônia, em km², nos anos de 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014

Classes de uso	Área (km ²)				
	2004	2008	2010	2012	2014
Agricultura anual	18.354	34.927	39.978	42.346	45.050
Mosaico de ocupações	16.284	24.417	17.963	9.590	16.256
Reflorestamento*	-	-	3.015	3.176	2.922
Pasto limpo	306.039	335.715	339.852	345.420	377.470
Pasto sujo	55.250	62.824	56.077	50.472	60.199
Regeneração com pasto	60.641	48.027	63.165	46.468	42.028
Pasto com solo exposto	106	594	373	43	63
Vegetação secundária	100.674	150.815	165.229	172.190	173.387
Área urbana	2.579	3.818	4.474	5.341	6.010
Mineração	799	731	967	1.049	1.272
Outros	4.637	478	2.731	6.113	7.752
Área não observada	48.566	45.406	45.849	69.132	30.056
Total da área de uso	613.928	707.752	739.673	751.340	762.464

Nota: * A classe reflorestamento começou a ser mapeada a partir do ano de 2010.

Fonte: TERRACLASS/INPE, com dados trabalhados pelo autor.

A Figura 2 apresenta o mapa da distribuição dos usos da terra e a cobertura florestal na Amazônia Legal, no ano de 2014. Esse mapa apresenta a distribuição espacial das 12 categorias de uso da terra, classificadas pelo TerrClass.

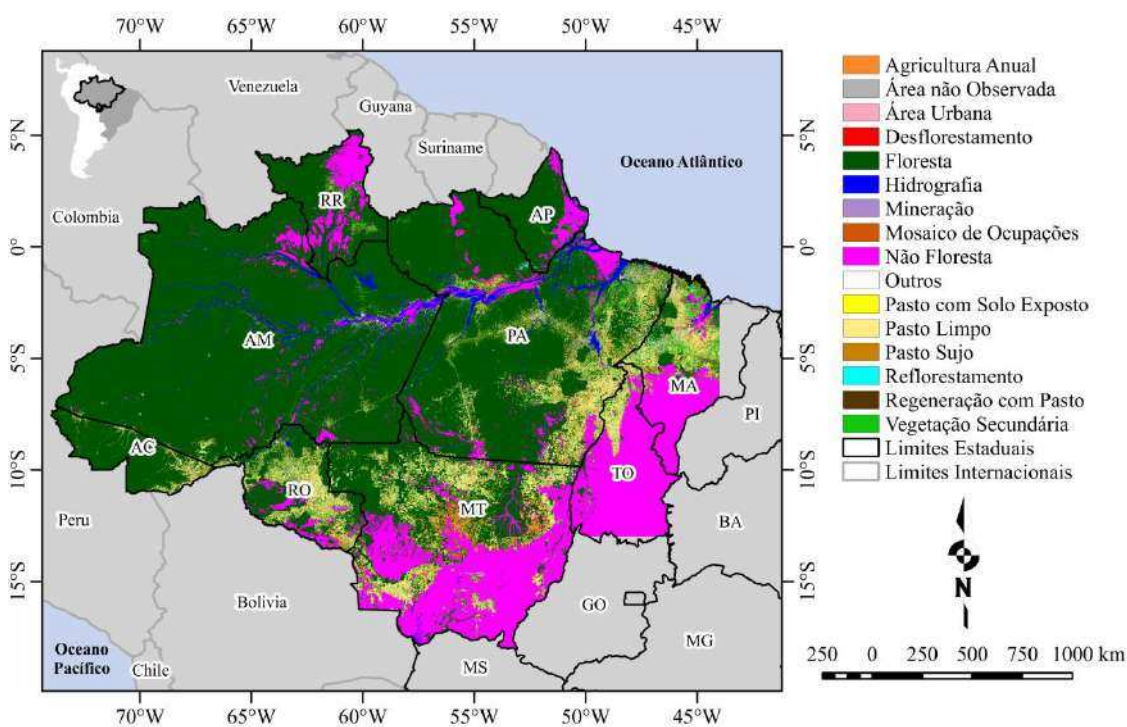


Figura 2 – Mapa dos usos e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal, em 2014

Fonte: TERRACLASS/INPE, com dados trabalhados pelo autor.

A dinâmica tradicional de ocupação da Amazônia Legal vem sendo alterada pela recente expansão da fronteira agrícola, estando essa nova dinâmica de uso da terra diretamente associada à extração de madeira, abertura de pastagens e expansão do cultivo de grãos. Historicamente, a economia da Amazônia estava baseada nas atividades de extrativismo mineral e vegetal, com destaque para o cultivo de seringueira destinada à produção de borracha. Recentemente, o setor agropecuário da região amazônica vem passando por importantes mudanças no que diz respeito à introdução de novas tecnologias, métodos de plantio e tipos de cultivos, o que tem afetado o ambiente natural, a geração de emprego e renda e as condições de vida da população (IBGE, 2017).

A expansão das redes viárias e das cidades que se formam ao seu entorno são um dos elementos centrais que acompanham e induzem o movimento de transformação da região amazônica (IBGE, 2017). Neste contexto, a expansão da fronteira agropecuária tem acompanhado o traçado das principais rodovias que cortam a Amazônia Legal, sendo elas: BR-010, conhecida como Belém-Brasília; BR-158, no trecho do Vale do Araguaia, BR-163; no trecho Cuiabá-Santarém, BR-230, conhecida como rodovia Transamazônica; BR-364, no trecho Cuiabá-Porto Velho; e a rodovia estadual PA-150.

Segundo Ferreira (2011), o processo de desmatamento na Amazônia Legal está associado a fatores de mercado, tais como a variação nos preços das *commodities* agrícola e ou as políticas públicas que incentivam ou combatem o desmatamento. O desmatamento na Amazônia Legal tem origem com o avanço da atividade pecuária para a região, bastante desenvolvida especialmente nos anos de 1970. Já na década de 1990, a agricultura capitalizada surge como novo vetor de ocupação da região, com destaque para o cultivo da soja e do milho.

O rebanho bovino nacional cresceu de 139,6 milhões para 215,2 milhões de cabeças, entre 1988 e 2015. Aproximadamente oitenta por cento deste crescimento ocorreu na Amazônia Legal, cujo rebanho passou de 23,3 milhões (16,7% do total nacional) para 83,7 milhões de cabeças, o equivalente a 38,9% do total nacional. Para atender a expansão da fronteira agropecuária na região, foram incorporados ao processo produtivo 413,9 mil km² de novas áreas de uso, no período entre 1988 a 2015. A taxa média de desmatamento, nesse período, foi de 14,8 mil km² por ano. As maiores taxas de desmatamento ocorreram nos anos de 1995 e 2004, tendo sido registrados 29,1 e 27,8 mil km² de áreas desmatadas, respectivamente.

A Figura 3 apresenta a evolução da taxa de desmatamento e do efetivo rebanho bovino na Amazônia Legal, durante o período de 1988 a 2015. A evolução dos dados indica que havia uma relação positiva entre a expansão do rebanho bovino e a taxa de desmatamento até o ano de 2004. A partir de 2005, com a implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), tendo em vista a prevenção e o combate ao desmatamento, houve acentuada queda na taxa de desmatamento. Essa política provocou uma quebra na relação entre desmatamento e crescimento do rebanho bovino, a partir de 2015.

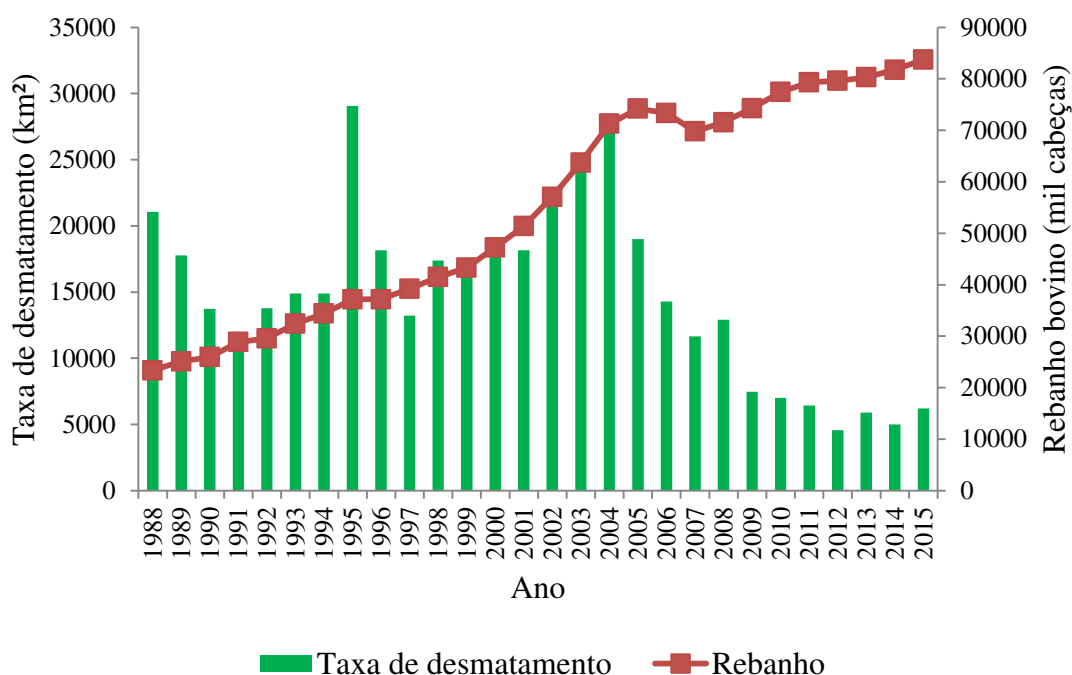


Figura 3 – Evolução da taxa de desmatamento (km²) e do rebanho bovino (mil cabeças), na Amazônia Legal, entre 1988 e 2015

Fonte: INPE e IBGE, com dados trabalhados pelo autor.

A recente expansão da fronteira agrícola na Amazônia Legal se deu com os cultivos de grãos em grande escala, principalmente nas áreas de cerrado, com destaque para o cultivo da soja, milho e algodão. Esses cultivos se caracterizam por serem de ciclo anual, com o emprego de padrões tecnológicos elevados. A Tabela 3 apresenta as áreas plantadas e destinadas à colheita das lavouras temporárias e permanentes, cultivadas na Amazônia Legal, nos últimos vinte e cinco anos. As áreas de lavoura temporária são as que mais vêm se expandindo nesse período, com destaque para os

cultivos de soja, milho e algodão, com aumento de sua área plantada da ordem de 591%, 313% e 881%, respectivamente.

O cultivo da soja predomina nas áreas de cerrado da Amazônia Legal, principalmente nos estados de Mato Grosso, Tocantins e sul do Maranhão. Em Mato Grosso, o cultivo da soja se destaca na região centro-norte, ao longo da BR-163 (Cuiabá-Santarém) e ao longo da BR-364 (Cuiabá-Porto Velho). Por outro lado, fora da área de cerrado, sob o bioma Amazônia, alguns polos de plantio de soja têm destaque no estado do Pará, nas regiões de Santarém, Marabá e Redenção, e no estado de Rondônia ao longo da BR-364 (Cuiabá-Porto Velho).

O cultivo de milho vem ganhando espaço como cultivo de entressafra, alternado com os grandes cultivos mecanizados, nos estados de Mato Grosso e Maranhão. O cultivo do algodão também vem ganhando relevante área na região, principalmente nos estados de Mato Grosso ao longo da BR-364 (Cuiabá-Porto Velho), BR-163 (Cuiabá-Santarém) e BR-070 e no sul do Maranhão, com destaque para cidade de Balsas.

Culturas tradicionais como de mandioca, arroz e feijão também apresentaram aumento em sua área plantada nos últimos vinte e cinco anos, embora em menor proporção se comparado à expansão dos cultivos anuais de grande escala. As demais lavouras temporárias também apresentaram relevante variação em sua área plantada, tais como a cana-de-açúcar e o sorgo, embora ocupem menor área, se comparados aos cultivos agrícolas de grande escala.

A área plantada com lavoura permanente, no geral, vem apresentando queda em sua parcela de área ocupada nos cultivos de café, banana, seringueira, pimenta-do-reino, castanha de caju e guaraná. Por outro lado, alguns cultivos permanentes têm aumentado sua área plantada, tais como cacau, dendê, coco-da-baía, entre outros.

Tabela 3 – Área plantada ou destinada à colheita das lavouras temporárias e permanentes, em mil hectares, na Amazônia Legal

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	Proporção da área em 2015	Variação 1990 a 2015
Soja	1.603,0	2.451,3	3.158,0	6.991,9	7.235,9	11.089,6	57,81	591,81
Milho	1.111,6	1.641,5	1.504,0	1.948,5	2.854,7	4.600,3	23,98	313,85
Mandioca	534,4	692,8	582,6	687,1	689,6	634,4	3,31	18,71
Arroz	1.445,2	1.723,3	1.723,2	1.963,3	998,2	628,6	3,28	-56,50
Algodão	61,1	91,1	259,9	493,3	437,4	599,8	3,13	881,32
Feijão	350,8	370,3	268,3	269,7	333,2	387,0	2,02	10,33
Cana-de-açúcar	97,9	129,7	168,0	252,9	279,6	379,1	1,98	287,05
Sorgo	10,7	18,7	112,1	131,4	99,6	151,7	0,79	1.313,77
Cacau	96,8	93,7	77,7	95,3	121,5	142,1	0,74	46,78
Café	242,3	170,5	253,1	228,8	186,7	104,2	0,54	-56,98
Banana	115,8	132,1	162,0	111,4	92,9	99,7	0,52	-13,92
Dendê	33,2	38,0	38,0	47,0	55,2	86,1	0,45	158,93
Girassol	0,0	0,0	0,0	16,3	40,6	85,5	0,45	-
Seringueira	46,0	27,2	30,8	35,9	30,3	32,6	0,17	-29,17
Melancia	13,1	14,5	16,4	19,8	19,6	27,0	0,14	105,72
Coco-da-baía	14,0	20,6	20,6	32,3	32,1	25,8	0,13	84,25
Abacaxi	3,0	9,3	20,4	22,3	18,9	24,7	0,13	730,22
Laranja	11,9	23,6	21,6	20,2	19,2	21,1	0,11	76,66
Pimenta-do-reino	32,6	21,0	13,8	27,9	18,8	16,2	0,08	-50,16
Cajueiro	15,4	9,4	12,4	10,3	14,3	7,8	0,04	-49,49
Maracujá	6,8	11,2	3,9	5,3	5,1	5,5	0,03	-18,19
Malva	22,4	6,2	4,9	12,6	10,5	5,0	0,03	-77,60
Guaraná	10,6	5,4	6,2	9,1	7,3	4,6	0,02	-56,31
Urucum	2,6	2,4	4,3	3,9	4,6	4,6	0,02	75,84
Limão	1,4	1,6	1,7	2,1	2,5	4,4	0,02	225,30
Mamão	2,4	3,1	3,6	3,3	3,7	3,6	0,02	48,83
Amendoim	0,3	0,4	0,6	9,3	7,4	2,8	0,01	980,84
Palmito	0,0	1,0	1,6	3,3	3,4	2,7	0,01	-
Tomate	0,7	1,2	1,9	2,3	1,8	1,2	0,01	69,75
Outros	17,6	15,1	22,8	18,5	6,7	4,9	0,03	-72,25

Fonte: IBGE, com dados trabalhados pelo autor.

2.2. Usos da terra com vegetação secundária no bioma Amazônia

As áreas de vegetação secundária estão distribuídas de forma heterogênea entre os estados do bioma Amazônia. A Figura 4 mostra a distribuição espacial das áreas de vegetação secundária no ano de 2014, na Amazônia.

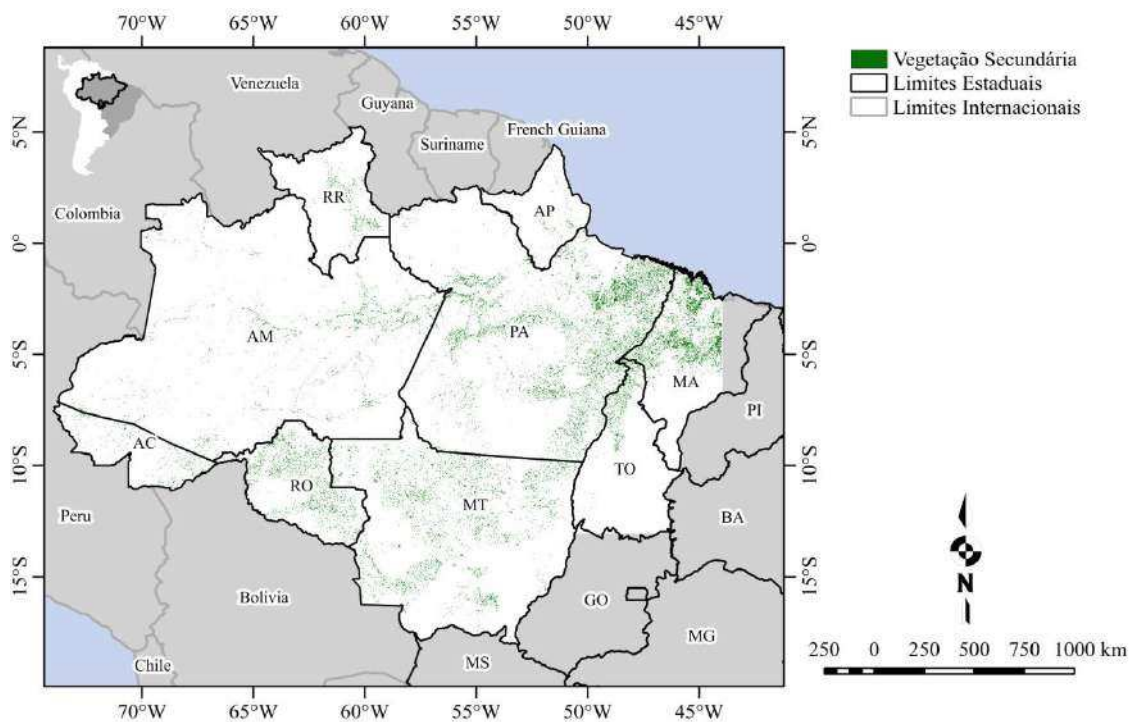


Figura 4 – Mapa da distribuição espacial da vegetação secundária Amazônia, em 2014

Fonte: TERRACLASS/INPE, com dados trabalhados pelo autor.

A vegetação secundária na Amazônia cobria área total de 173 mil km² em 2014 e representava 22,80% de toda a área de uso da região. Essa vegetação está distribuída da seguinte forma entre os estados do bioma Amazônia: Pará tem 63,6 mil km² (37,00%); Mato Grosso, 31,8 mil km² (18,52%); Maranhão, 30,0 mil km² (17,46%); Amazonas, 15,8 mil km² (9,19%); Rondônia, 15,5 mil km² (9,00%); Tocantins, 6,5 mil km² (3,78%), Acre, 3,7 mil km² (2,16%), Roraima, 3,7 mil km² (2,14%), e Amapá tem 1,3 mil km² (0,75%).

O Pará é o estado em que ocorreram os maiores aumentos na área de vegetação secundária nos últimos dez anos. Esse fato decorre de o estado ter a Instituição Normativa nº 08 de 28 de outubro de 2015, conhecida como Instrução Normativa da “Juquira”, que é um novo marco legal que estabelece os parâmetros para a área basal de indivíduos florestais nos municípios paraenses (Pará, 2015). Essa Instrução Normativa estabelece os procedimentos administrativos para a realização de limpeza e obtenção de autorização de supressão a serem feitos nas áreas de vegetação secundária dos imóveis rurais do estado.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentadas as teorias que fundamentam o desenvolvimento do trabalho. Inicialmente, é feita a contextualização da teoria de Transição Florestal e do processo de mudanças no uso da terra. Posteriormente, é apresentada a formulação de um modelo microeconômico de tomada de decisão, em que se determina o padrão geral de mudanças no uso da terra com base nos valores relativos da terra para usos concorrentes. Por fim, discute-se como as falhas de mercado, políticas e fatores institucionais podem favorecer algum tipo de uso da terra sobre o outro, assim como adiar o processo de transição florestal em alguns países ou regiões.

3.1. Transição florestal e mudança no uso da terra

A transição florestal é o período de tempo em que o declínio de longo prazo da área de floresta é substituído pela recuperação florestal (BARBIER et al., 2017). Essa transição se refere às mudanças de longo prazo que ocorrem nas florestas e sociedade em seu entorno. Segundo Mather (1992), a mudança de longo prazo no uso da terra ocorre em duas fases: inicialmente, a cobertura florestal de um país diminui à medida que ele se desenvolve social e economicamente, entretanto, eventualmente essa tendência pode ser revertida e a cobertura florestal pode se expandir.

A teoria de transição florestal considera que as mudanças de longo prazo que ocorrem na cobertura florestal de um país ou região estão associadas ao padrão global de mudanças no uso da terra do mesmo país ou região (Barbier et al., 2010).

Segundo Grainger (1995), a mudança da cobertura florestal pode ser representada por uma curva em forma de “U”, que é gerada pela junção de duas curvas de mudança do uso da terra (Figura 5). A primeira fase se refere ao declínio da área de floresta, denominada de transição nacional de uso da terra. A segunda fase representa a recuperação da área de floresta após a transição, sendo chamada de período de reposição florestal. Esse momento de transição entre as duas fases de uso da terra é conhecido como transição florestal.

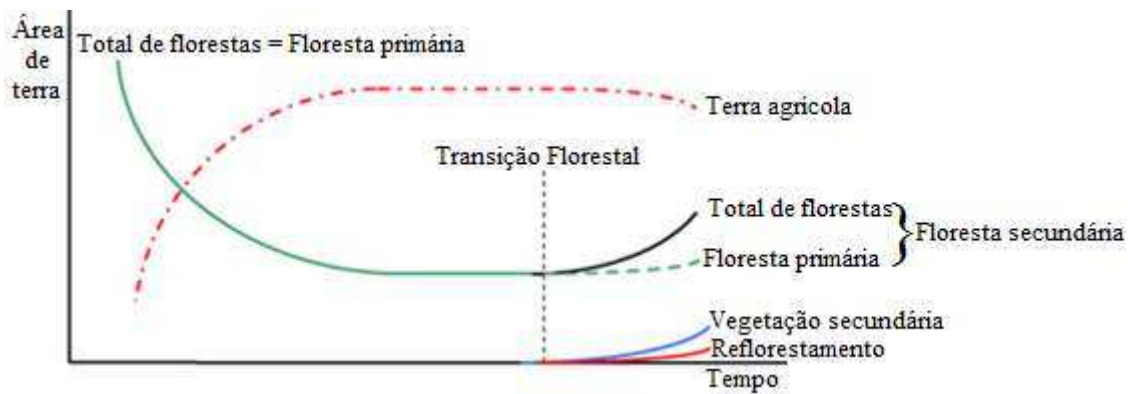


Figura 5 - Mudanças de uso da terra da transição florestal

Fonte: Adaptado de Barbier et al. (2010).

O processo de transição florestal deve ser analisado em duas fases separadamente, pois cada uma envolve processos diferentes de alocação de uso da terra. Em outras palavras, deve-se considerar que fatores diferentes são responsáveis por impulsionar a degradação da floresta em oposição à recuperação florestal.

Segundo Barbier et al. (2010), existe na literatura consenso a respeito das principais mudanças de uso da terra que ocorrem durante cada fase da transição florestal. A fase de transição nacional do uso da terra se caracteriza pelo declínio da cobertura florestal, que resulta da conversão de floresta primária em áreas de uso agropecuário. Nessa fase observa-se relação inversa entre a expansão das áreas agrícola e pecuária e o declínio da cobertura florestal, principalmente pela perda de floresta primária. O declínio da área de floresta é impulsionado, principalmente, pela expansão das áreas de pastagem e agrícola e crescimento da demanda por alimentos e *commodities*.

Na fase de reposição florestal, ao longo do processo de desenvolvimento econômico e social do país ou região são emitidos sinais para o mercado, indicando o aumento na demanda por produtos madeireiros e serviços ecossistêmicos. Nessa fase, há a ascensão da área total de florestas, causada por mudanças no uso da terra, que ocorre pelo abandono das terras agrícolas e pelo estabelecimento de florestas plantadas. A fase de reposição florestal se caracteriza pela redução das áreas ocupadas pela agropecuária, a estabilização da área de floresta primária, além da expansão das áreas de regeneração natural e de floresta plantada. A expansão da floresta secundária é impulsionada, principalmente, pelo aumento da demanda por produtos madeireiros, serviços ecossistêmicos e pelo abandono das terras agrícolas (BARBIER et al., 2010).

O processo de transição florestal pode não coincidir com o ponto de viragem entre as fases de declínio e reposição florestal, em decorrência de falhas de mercado, políticas e fatores institucionais incidentes em cada país ou região. Neste sentido, o momento da transição florestal pode ser adiado por uma série de fatores, tais como cultivo da agricultura de subsistência em terras marginais, falta de sinais de mercado, provocando o adiamento do reflorestamento comercial, entre outros (BARBIER et al., 2010).

A teoria da transição florestal busca explicar como se processa a recuperação florestal após uma profunda mudança social, decorrente do crescimento e desenvolvimento econômico. Trabalhos de Lambin e Meyfroidt (2010) e Sloan (2015) descrevem as quatro principais vias da transição florestal em países tropicais: i) crescimento da economia urbana; ii) globalização; iii) aumento da demanda por produtos florestais e serviços ambientais; e iv) incentivo governamental de reflorestamento.

Segundo Lambin e Meyfroidt (2010), as múltiplas vias de transição florestal podem ser agrupadas em duas forças fundamentais, que influenciam as decisões de uso da terra: i) os *feedbacks* socioecológicos negativos, que surgem em consequência da redução dos bens e serviços fornecidos pelos ecossistemas naturais; e ii) a mudança socioeconômica externa, que afeta o uso da terra de uma lógica de expansão da fronteira agrícola para a recuperação natural dos ecossistemas. As mudanças socioeconômicas são exógenas e podem ser geradas pela urbanização, desenvolvimento econômico e globalização, sendo as principais responsáveis pela regeneração florestal.

Para Rudel et al. (2005) e Mather (2007), a transição florestal é desencadeada por dois mecanismos: o caminho do desenvolvimento econômico e o da escassez de floresta. O primeiro mecanismo pressupõe que o aumento das áreas florestais seja provocado pela recuperação florestal das áreas agrícolas abandonadas após a migração da população rural para as áreas urbanas. Por outro lado, o segundo mecanismo supõe que a transição florestal ocorra em resposta à escassez de produtos florestais e outros serviços ecossistêmicos, ou seja, à medida que os produtos florestais se tornam escassos, ocorre elevação em seus preços, sendo necessário um aumento da cobertura florestal para atender a essa demanda. O caminho do desenvolvimento resulta na regeneração da floresta natural e o caminho da escassez envolve a regeneração artificial por meio do plantio ou reflorestamento.

Outros autores consideram que o nível de cobertura florestal pode flutuar durante o processo de transição florestal. Segundo Mather e Needle (2000), mudanças nas condições econômicas e políticas podem ocasionar períodos de declínio e ascensão descontínuos do nível de cobertura vegetal. Para Grainger (2008), a descoberta de novas áreas mais produtivas e forças do mercado madeireiro levam à expansão de florestas em algumas partes do país, enquanto o desmatamento continua em outras regiões.

A transição florestal é estimulada por vários fatores, que diferem em cada uma de suas fases. Tendo como foco a fase de regeneração florestal, diferentes fatores influenciam na transição florestal, tais como sociais, econômicos, técnicos, biofísicos, e a política governamental. Os fatores mais importantes são: i) densidade populacional rural nativa; ii) extração de madeira; iii) migração rural interna; iv) uso não tradicional da terra, como a agricultura anual e áreas de pastagem; v) modernização econômica; vi) renda da terra e acesso a mercados; vii) regime de propriedade da terra; viii) comércio global; ix) políticas de recuperação florestal; x) pagamento por serviços ambientais; e xi) fertilidade do solo (PERZ; SKOLE, 2003a, b; LAMBIN; MEYFROIDT, 2010; BARBIER, et al., 2010; SLOAN, 2015).

A transição florestal na Amazônia apresenta característica que destoam da teoria por envolver desaceleração da perda florestal relativamente cedo, ou seja, a recuperação florestal ocorre mesmo com altos níveis de cobertura florestal. Esse fato decorre dos impedimentos biofísicos e dos obstáculos sociais da região. Assim, Perz e Skole (2003a) propõem um aperfeiçoamento da teoria de transição florestal, que reconheça a dinâmica de crescimento secundário de curto prazo, assim como as mudanças na cobertura da terra de longo prazo por região, levando em consideração o histórico das forças biofísicas e sociais.

Segundo Perz e Skole (2003a), a transição florestal na Amazônia brasileira ocorre em ciclos periódicos e de curto prazo. A dinâmica de curto prazo envolve o desmatamento de pequenas áreas de floresta para o cultivo agrícola, em ciclos que são executados de cinco a 30 anos. Em seguida, essas áreas são abandonadas, permitindo o crescimento de florestas secundárias. A dinâmica de médio prazo envolve o periódico desmatamento de florestas primárias e secundárias, tendo suas áreas destinadas à nova expansão agrícola. Este é considerado o padrão de desenvolvimento da Amazônia, via ciclos de expansão e recessão econômica, ou de expansão e retração da fronteira agropecuária. A dinâmica de longo prazo envolve a perda simultânea e a substituição

das florestas como processo de desmatamento, aliado a processos antigos de regeneração florestal (PERZ; SKOLE, 2003a).

3.2. Valor da terra como decisão de uso

Os agentes econômicos tomam suas decisões em relação à alocação de uso da terra segundo seu valor relativo de uso. Assim, a cobertura florestal de determinado país ou região apresenta caráter dinâmico, que se transforma ao longo do tempo, influenciado pelo valor de uso da terra, em relação ao valor de seus usos concorrentes.

Barbier et al. (2010) desenvolveram um modelo de decisão econômica das alocações dos usos da terra que ocorrem durante o processo de transição florestal, tendo como base o valor competitivo de uso da terra. Esse modelo pressupõe, na fase de transição nacional, que o declínio da cobertura florestal seja causado pelas decisões dos proprietários de expandir a fronteira agrícola. Por outro lado, no período de reposição florestal, os sinais de mercado gerados pela escassez da madeira em oposição aos benefícios decrescentes do ecossistema podem influenciar a decisão do proprietário em reflorestar, tornando possível a transição florestal. Nesse modelo são incluídos como custo de oportunidade, da conversão agrícola e do desmatamento, os benefícios perdidos pela extração de madeira e os benefícios ambientais da floresta. O modelo de concorrência do uso da terra é formulado como se segue:

$$F_{it} - F_{it-1} = A^D(v_{it}; z_{it}), \quad \partial A^D / \partial v_{it} < 0 \quad (1)$$

em que $F_{it} - F_{it-1}$ é a mudança no estoque de floresta que ocorre durante o período; A^D é a demanda para a conversão de terras florestais para agrícola (ou outros usos); v_{it} é o custo de oportunidade da conversão agrícola; e z_{it} é o vetor de fatores exógenos, da estrutura econômica, que podem afetar o desmatamento.

O modelo de alocação ótima da conversão de terras florestais para agrícola e a derivação da relação ótima, como obtida na equação 1, podem ser encontrados em Barbier e Burgess (1997). A alocação ótima das terras florestais se estabelece quando os benefícios marginais líquidos da produção de madeira e os benefícios ambientais das áreas florestais são iguais aos benefícios marginais da produção agrícola das áreas convertidas.

Segundo Barbier et al. (2010), as decisões dos agentes econômicos em relação a preservar a cobertura florestal ou converter para o uso agrícola também são afetadas

pelas mudanças que ocorrem no uso da terra ao longo do tempo. Neste sentido, é essencial mensurar o custo de oportunidade da conversão do uso da terra, ou seja, busca-se antecipar, para o período da conversão, os benefícios que se pode obter da produção de madeira adicional e ambientais dos terrenos a serem convertidos para o uso agrícola. Este custo de oportunidade pode ser definido como:

$$v_{it} = B'(F_{it}), \quad B'' < 0 \quad (2)$$

em que v_{it} é o custo de oportunidade da conversão do uso da terra; e $B'(F_{it})$ representa os benefícios marginais de produção de madeira adicional e benefícios ambientais. O custo de oportunidade da conversão da terra para agrícola (v_{it}) aumenta à medida que se reduz a área de floresta. Ademais, à medida que a cobertura florestal se torna escassa, os benefícios das florestas marginais podem apresentar retornos decrescentes à escala.

No modelo econômico de tomada de decisão sobre a alocação da terra, considerando seu valor de uso, a alocação eficiente dos terrenos florestais é atingida quando os benefícios marginais líquidos da produção de madeira e os benefícios ambientais de terras reflorestadas se igualam aos benefícios marginais da produção agrícola da área convertida (BARBIER; BURGESS, 1997). Neste sentido, o ponto que precede a transição florestal é atingido quando não há ganhos líquidos da conversão da cobertura florestal em área agrícola, ou seja, os benefícios marginais de ambos os usos de solo são os mesmos.

No mesmo sentido, a fase de reposição florestal também pode ser analisada pela variação dos valores do uso da terra ao longo do tempo. Assim, os agentes econômicos tomam suas decisões de conversão das áreas agrícolas para o reflorestamento comercial ou abandono (dando origem à regeneração florestal), com base no valor de uso relativo da terra (Barbier et al., 2010).

Segundo Barbier e Burgess (1997), o processo de tomada de decisão sobre a conversão da cobertura florestal em áreas agrícolas pode ser afetado por falhas de mercado, políticas e institucionais. Ademais, a alocação eficiente do uso da terra pode não ser atingida, por causa da omissão dos benefícios ambientais, não mercantis, associados à preservação da cobertura florestal. Essas falhas durante o processo de tomada de decisão podem levar a um excesso de conversão agrícola ao longo do tempo. Ademais, a subvalorização dos remanescentes florestais pode ocasionar adiamento da transição florestal de um país ou região.

3.3. Efeitos das falhas de mercado, políticas e institucionais sobre a transição florestal

A cobertura florestal muda ao longo de tempo, uma vez que o valor do uso da terra em relação ao valor de seus usos alternativos se altera com o passar do tempo. Entretanto, os valores competitivos utilizados na decisão de alocação do uso da terra podem ser diferentes de seus valores ótimos, isso se devendo à presença de falhas de mercado, políticas e fatores institucionais que podem contribuir para a conversão excessiva de terras florestais em agrícolas, além de poder provocar o adiamento desnecessário do início da transição florestal no país ou região (Barbier et al., 2010).

Na fase de declínio florestal, diferentes fatores causadores do desmatamento podem provocar falhas de mercado, políticas e institucionais. Entre esses fatores causadores do desmatamento na Amazônia Legal, citam-se: a concessão de crédito rural subsidiado (Binswanger, 1991; Fearnside, 2005); a insegurança dos direitos de propriedade (Alston et al., 2000; Araújo et al., 2009; Oliveira, 2008); e os investimentos em infraestrutura (Pfaff, 1999; Weinhold e Reis, 2008).

A política governamental de concessão de crédito rural a taxas subsidiadas também é considerada uma das causas do desmatamento. Segundo Binswanger (1991), o sistema de crédito rural subsidiado provoca aceleração do desmatamento na Amazônia. Assim, a concessão de crédito rural subsidiado tende a aumentar a demanda por terras, favorecendo a expansão da agropecuária sobre as áreas de floresta. Segundo Fearnside (2005), o crédito rural subsidiado é um importante propulsor do desmatamento na Amazônia brasileira em decorrência da baixa taxa de juros, do longo período de carência do empréstimo e das eventuais anistias em virtude de eventos climáticos.

A insegurança dos direitos de propriedade fundiária provoca distorções de mercado e, conseqüentemente, redução no valor presente das florestas. Neste caso, o desmatamento passa a ser considerado estratégia de gestão de risco, o que promove a conversão das florestas em terras agrícolas. Segundo Araújo et al. (2009), a insegurança nos direitos de propriedade na Amazônia Legal tem contribuído para a elevação nas taxas de desmatamento das florestas virgens.

A disponibilidade de infraestrutura, principalmente de transporte, é considerada importante causador do desmatamento. Segundo Weinhold e Reis (2008), o investimento em infraestrutura de transporte para a expansão das estradas provoca

redução nos custos de transporte, o que tem provocado aumento no desmatamento na Amazônia brasileira.

O governo federal criou em 2004 o Plano de Ação para Preservação e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), com a finalidade de reduzir continuamente o desmatamento e criar condições para se estabelecer um modelo de desenvolvimento sustentável na Amazônia Legal. Esse plano de ações está articulado em quatro eixos temáticos: i) ordenamento fundiário e territorial; ii) monitoramento e controle ambiental; iii) fomento às atividades produtivas sustentáveis; e iv) instrumentos econômicos e normativos.

As políticas recentes de combate ao desmatamento na Amazônia Legal têm sido eficazes para redução nas taxas de desmatamento. As políticas mais efetivas para o combate ao desmatamento ilegal no bioma Amazônia foram: criação de áreas de proteção ambiental oficial (HARGRAVE e KIS-KATOS, 2013); restrição de crédito rural subsidiado para áreas irregulares ou que não cumprem a legislação ambiental (ASSUNÇÃO et al., 2015; FERREIRA e COELHO, 2015); aplicação de multas e combate ao desmatamento ilegal (HARGRAVE e KIS-KATOS, 2013); e embargo à comercialização de produtos provenientes de áreas de desmatamento ilegal (FERREIRA; COELHO, 2015; GIBBS et al, 2015; NEPSTAD et al., 2014). O resultado desses estudos evidencia que as atuais políticas ambientais implementadas na Amazônia Legal têm proporcionado redução no desmatamento. Neste sentido, essas políticas podem estar acelerando a recuperação florestal do bioma Amazônia.

4. METODOLOGIA

Para atender aos objetivos propostos, esse capítulo está dividido em quatro seções, nas quais são apresentados os modelos econométricos a serem estimados. A primeira seção apresenta um modelo de vetores auto-regressivos, com base em dados em painel (PVAR), utilizado para estimar as mudanças do uso da terra no bioma Amazônia. A segunda seção apresenta os modelos de dados em painel utilizados para analisar os determinantes socioeconômicos e as políticas ambientais que estão influenciando a proporção de vegetação secundária em relação à área de uso da terra no bioma Amazônia. Esta seção apresenta ainda os métodos de variáveis instrumentais (VI) e o Método dos Momentos Generalizados (GMM), que são utilizados para controlar a potencial endogeneidade das variáveis. A terceira seção apresenta o modelo empírico dos determinantes da regeneração florestal. Posteriormente, são apresentadas as fontes de dados e a construção e a descrição das variáveis.

4.1. Modelo de vetores auto-regressivos com dados em painel (PVAR)

Os modelos de transição são utilizados para modelar as mudanças dinâmicas que ocorrem com o uso da terra. Para isso, Andersen et al. (1997) desenvolveram o modelo de vetores auto-regressivos com coeficientes aleatórios⁷, estimados com dados em painel (PVAR). Esse modelo de dados em painel é utilizado quando a dimensão de corte transversal (proporção de uso da terra nas categorias desmatamento, agrícola, pasto limpo, pastagem degradada e vegetação secundária por município) é grande e a dimensão de série temporal é muito curta - 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014 - no caso desse estudo. O modelo de transição é aplicado quando é de interesse conhecer os fluxos entre categorias de uso da terra.

O modelo que descreve a dinâmica do uso da terra é estimado por um vetor auto-regressivo, com dados em painel, para os municípios do bioma Amazônia. O modelo é representado por um sistema com p equações:

$$Y_{jt} = \alpha_j \Delta x_{jt} + A_j Y_{j,t-1} \quad (3)$$

em que Y_{jt} é um vetor $px1$, constituído das p parcelas de uso da terra, para o município j , no tempo t ; Δx_{jt} é a terra recentemente desmatada (parcela da área total convertida de

⁷ Os parâmetros de transição para os diferentes municípios ou regiões podem ser distintos. Isso ocorre quando os indivíduos (municípios) são muito heterogêneos.

floresta virgem para terra cultivada, entre o período $t - 1$ e t); e α_j e A_j são os coeficientes de transição, constituídos por um vetor $px1$ e uma matriz pxp , respectivamente. Esse modelo é considerado fechado, uma vez que toda área desmatada se destina a um dos tipos de uso. Para isso, os coeficientes devem atender à seguinte restrição:

$$\begin{aligned} i' \alpha_j &= 1 \\ i' A_j &= i' \end{aligned} \tag{4}$$

em que i é um vetor $px1$ de uns. Tendo em vista essa suposição, a terra recentemente desmatada é igual à diferença entre o total de terras cultivadas no tempo t e o total de terra cultivada no tempo $t - 1$. As características dos dados já impõem restrição (4) ao sistema, o que torna possível eliminar uma das equações do modelo sem perda de informação.

Pela eliminação de uma das linhas do sistema de equações, é possível estimar os coeficientes deste sistema, com $p - 1$ equações:

$$\tilde{Y}_{jt} = \tilde{\alpha}_j \Delta x_{jt} + \tilde{A}_j \tilde{Y}_{j,t-1} \tag{5}$$

Os coeficientes para a última equação desse sistema são calculados pelos resíduos das restrições.

No caso do modelo de coeficiente fixo, em que se assume que todos os coeficientes sejam os mesmos em todos os municípios, o sistema de equações (3) pode ser calculado pelos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Entretanto, se os coeficientes não forem idênticos entre os municípios, então os coeficientes estimados por MQO serão viesados. Para o modelo de coeficientes aleatórios, os coeficientes da restrição (4) são mantidos para cada município, ou seja, os coeficientes não são independentes em todas as equações. Assim, é possível estimar a média e a variância da distribuição de cada coeficiente. O modelo de coeficientes aleatórios está apresentado abaixo:

$$\bar{Y}_{jt} = \bar{\alpha}_j \Delta x_{jt} + \bar{A}_j Y_{j,t-1} + \varepsilon_{jt} \tag{6}$$

em que $\varepsilon_{jt} = (\alpha_j - \bar{\alpha})\Delta x_{jt} + (A_j - \bar{A})Y_{j,t-1}$. Para obter estimativas não viesadas da média de cada coeficiente do modelo de transição, os coeficientes são estimados de forma agrupada para a média⁸ dos municípios. A estimação é desenvolvida em quatro etapas: i) estima-se o modelo por MQO; ii) a variância de cada coeficientes é estimada pela regressão do quadrado dos resíduos de cada equação, uma constante e os regressores; iii) as variâncias estimadas são utilizadas em simulações *bootstrap* para obtenção dos viés; e iv) corrigem-se as estimativas do MQO inicial, subtraindo os vieses estimados.

4.2. Modelos de dados em painel

O modelo de regressão com dados em painel permite determinar o efeito das políticas públicas e dos fatores socioeconômicos sobre a regeneração florestal. Para isso, as variáveis estão dispostas em uma combinação de seção cruzada (município) e séries temporais (anos de 2008, 2010, 2012 e 2014). Segundo Cameron e Trivedi (2005), a grande vantagem dos dados em painel em relação à seção cruzada é a maior precisão na estimativa, resultante do aumento do número de observações pela combinação de vários períodos de tempo para cada indivíduo. Outra vantagem de dados em painel é a possibilidade de uma estimativa consistente do modelo de efeitos fixos, que permite a heterogeneidade individual não observada, que pode estar correlacionada com os regressores. Além disso, os dados em painel permitem aprender mais sobre a dinâmica do comportamento individual.

Conforme Cameron e Trivedi (2005), na equação 7 é apresentado o modelo de regressão com dados em painel utilizado neste trabalho. Esse modelo permite que os coeficientes de intercepto e inclinação variem tanto individual, quanto temporalmente:

$$y_{it} = \alpha_i + x'_{it}\beta_t + u_{it} \quad (7)$$

em que y_{it} é a proporção de vegetação secundária observada no município i , no ano t ; α_i é o efeito individual de cada município que capta a heterogeneidade individual por meio de uma constante associada a um conjunto de variáveis não observadas; β_t é o vetor linha dos parâmetros estimados das variáveis; x'_{it} é o vetor coluna das variáveis do município i no ano t ; e u_{it} é o termo de erro da regressão.

⁸ Esse fato decorre da limitação da série temporal disponível, devido à falta de graus de liberdade.

Os conjuntos de variáveis (x'_{it}) utilizadas nesse modelo são: *intensidade do valor das multas, intensidade do número de multas, densidade de crédito rural, índice de preço agrícola, índice de preço do extrativismo, PIB per capita, PIB agropecuário (proporção), rebanho bovino, intensidade do rebanho bovino e área de assentamento*. A descrição das variáveis e sua construção serão apresentadas a seguir.

Os efeitos individuais (α_i) representam um conjunto de variáveis estruturais de cada município, que não variam ao longo do tempo, tais como: condições edafoclimáticas, condições ambientais, distância do mercado consumidor, entre outras. Tendo em vista a presença da heterogeneidade individual dos municípios em relação à proporção de vegetação secundária, descarta-se o modelo de regressão com dados empilhados, em detrimento dos modelos de efeitos fixos e efeitos aleatórios.

No modelo de efeitos fixos, o intercepto varia para cada município, entretanto permanece constante ao longo do tempo. Nesse modelo, considera-se $\alpha_i = z'_i \alpha$, em que z_i é a heterogeneidade individual, constituída de constante e um conjunto de variáveis não observadas, que são tornadas constantes ao longo do tempo. Além disso, pressupõe-se que a heterogeneidade individual (α_i) esteja correlacionada com as variáveis explicativas (x_{it}). Já no caso do modelo de efeitos aleatórios, pressupõe-se que a heterogeneidade individual não observada ($z'_i \alpha$) não seja correlacionada com as variáveis explicativas (x_{it}). Assim, assume-se que a heterogeneidade individual ($\alpha_i = \alpha_1 + u_i$) esteja aleatoriamente distribuída entre os municípios (Gujarati, 2006).

Breusch e Pagan (1980) desenvolveram um teste tendo como base o multiplicador de Lagrange para o modelo de efeitos aleatórios, com base nos resíduos de MQO. A hipótese nula do teste é $H_0 = \sigma_\alpha^2 = 0$, ou seja, se a hipótese nula for aceita, o modelo de efeitos fixos é preferível ao modelo de efeitos aleatórios.

Segundo Greene (2012), nos modelos de efeitos fixos e aleatórios, supõe-se exogeneidade para as variáveis independentes, ou seja, não há correlação entre as variáveis explicativas e o termo de erro $E[u_{it}|x_{i1}, x_{i2}, \dots] = 0$. Entretanto, há relatos na literatura da presença de potencial endogeneidade entre o termo de erro e as variáveis explicativas multas ambientais (HARGRAVE e KIS-KATOS, 2013), crédito rural (ANGELSEN e KAIMOWITZ, 1999; HARGRAVE e KIS-KATOS, 2013; ASSUNÇÃO et al., 2015), preços agrícolas (BARBIER e BURGESS, 2001; HARGRAVE e KIS-KATOS, 2013), PIB *per capita* (BARBIER e BURGESS, 2001; HARGRAVE e KIS-KATOS, 2013) e áreas de assentamento rural (LAMBIN e

MEYFROIDT, 2010; HARGRAVE e KIS-KATOS, 2013). A presença de endogeneidade entre as variáveis torna os parâmetros estimados pelos métodos de efeitos fixos e aleatórios inconsistentes e viesados (Hsiao, 2014).

Para solucionar o problema da endogeneidade, propõe-se o uso de dois métodos diferentes para estimação do modelo: Método de Momentos Generalizados (GMM), proposto originalmente por Hansen (1982) e desenvolvido por Arellano e Bond (1991), e o método de variáveis instrumentais.

Segundo Cameron e Trivedi (2005), os modelos de regressão com dados em painel restringem a variável dependente a depender apenas do valor contemporâneo dos regressores. Entretanto, o uso de regressores excluídos de outros períodos como instrumento do período atual possibilita uma estimativa mais eficiente. O método de Arellano e Bond (1991) inclui no modelo a variável dependente defasada como instrumento, sendo posteriormente, feita a primeira diferença da equação.

De forma alternativa, utiliza-se o método de variáveis instrumentais para controlar a endogeneidade da variável multa. Para isso, utilizou-se o instrumento proposto por Hargrave e Kis-Katos (2013), que considera como variável instrumental (VI) a *média do valor das multas estaduais* aplicadas pelo IBAMA, com exceção das multas aplicadas no próprio município.

4.3. Modelo empírico

Essa seção apresenta a especificação do modelo empírico dos determinantes do uso da terra sobre o processo de transição florestal, em sua fase de regeneração florestal. Para isso, o modelo empírico foi estruturado utilizando como variável dependente a proporção de vegetação secundária em relação à área de uso. Essa variável é utilizada como *proxy* para o nível de área de uso que está sendo convertida em floresta.

A teoria de transição florestal considera que a cobertura florestal se altera de acordo com o valor de uso da terra em relação ao valor de usos concorrentes. Especificamente, na fase de regeneração florestal, considera-se que a regeneração florestal apresenta uma relação positiva com o valor dos terrenos florestais e negativa em relação ao valor de todos os usos concorrentes (BARBIER et al., 2010). Estudos empíricos que avaliaram o uso da terra utilizam como medida de valor dos terrenos florestais o preço da madeira extrativista e, como medida do valor dos usos agrícolas, o preço da soja e da carne. Neste trabalho, as medidas utilizadas são os índices de preços regionais dos produtos extrativistas e dos agrícolas. Esses índices de preços representam

o valor da produção dos principais produtos extrativistas produzidos no município em relação ao preço dos produtos da região. A construção desses índices será apresentada na próxima seção.

As mudanças que ocorrem na cobertura florestal de um país ou região decorrem de um processo de longo prazo. No período de declínio da cobertura florestal, a abundância de floresta faz com que o valor de retenção das florestas seja menor em relação ao valor das áreas agrícolas. À medida que a economia se desenvolve e a população cresce, há aumento da demanda por alimentos. Assim, a conversão de terras florestais aumenta com a ascensão do preço dos alimentos e a queda do preço da madeira (BARBIER et al., 2010). Entretanto, segundo Hargrave e Kis-Katos (2013), a excessiva conversão agrícola pode reduzir o preço dos produtos agrícolas e florestais locais, por causa do aumento da oferta do produto, resultando em um viés de endogeneidade. Por outro lado, no período de reposição florestal, à medida que a economia se desenvolve ainda mais, aumenta a procura por produtos florestais e serviços ecossistêmicos. Entretanto, a escassez de florestas pode fazer com que o valor das terras florestais ultrapasse o valor das terras agrícolas.

Na formulação do modelo empírico, foram selecionados um conjunto de variáveis de interesse, relacionadas às políticas públicas, e aspectos socioeconômicos. As variáveis utilizadas são: *valor e o número de multas ambientais, crédito rural, PIB per capita, PIB agropecuário (proporção), rebanho bovino, intensidade do rebanho bovino e área de assentamento rural.*

Entre as variáveis de políticas públicas, o valor e o número de multas ambientais são utilizados buscando verificar o efeito da atuação dos órgãos de fiscalização ambiental sobre o combate ao desmatamento ilegal. A estratégia de combate ao desmatamento que tem sido adotada prioriza a atuação dos órgãos de fiscalização sobre os grandes polígonos de desmatamento. Neste sentido, verifica-se dupla causalidade entre o desmatamento ilegal e a atuação dos órgãos ambientais, representados pelo valor e número de multas. Devido a esse fato, consideram-se as variáveis valor e número de multas como potencialmente endógenas.

A política agrícola de concessão de crédito rural a taxas de juros subsidiada visa a promover o desenvolvimento do setor agropecuário, através de financiamento para o custeio e comercialização de produtos agropecuários. Segundo Assunção et al. (2015), existe dupla causalidade entre a concessão de crédito rural e a intensidade de uso da terra, o que sugere potencial endogeneidade dessa variável. Portanto, aumento das

expectativas dos tomadores de decisão sobre o uso da terra provoca aumento na demanda por crédito rural e, conseqüentemente, crescimento nas áreas de uso, através da derrubada de floresta primária ou de vegetação secundária.

As variáveis PIB *per capita* e PIB agropecuário (proporção) também apresentam dupla causalidade com o uso da terra, indicando presença de potencial endogeneidade das variáveis. Na fase de declínio da cobertura florestal, o aumento da atividade econômica do município trará consigo maior pressão sobre as áreas de floresta, assim como a atividade do desmatamento aumentará o valor do PIB do município. Por outro lado, na fase de recomposição florestal, o desenvolvimento da atividade econômica do município promoverá uma recomposição dos remanescentes florestais e da vegetação secundária (HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013). Neste sentido, a elevação no PIB *per capita* da população provoca expansão cobertura florestal. Entretanto, nessa fase, observa-se relação inversa entre o PIB agropecuário (proporção) e a recomposição da cobertura florestal.

A política de reforma agrária, representada pela área de assentamento rural no município, apresenta relação positiva com a área de preservação e recuperação florestal, fato que torna a variável potencialmente endógena. Isso ocorre devido aos objetivos da reforma agrária, que buscam promover a melhor distribuição da terra, pela modificação no regime de posse e uso, com a finalidade de atender aos princípios da justiça social, desenvolvimento rural sustentável e aumento da produção agropecuária (INCRA, 2016).

4.4. Descrição das variáveis e fonte dos dados utilizados

As variáveis utilizadas neste estudo são divididas em dois tipos: de uso da terra e de políticas públicas e socioeconômicas. Na primeira parte do estudo, são utilizadas apenas as variáveis de uso da terra no bioma Amazônia. A escolha dessas variáveis foi feita tomando como referência os estudos de Andersen et al. (1997), Weinhold (1999) e Mendonça et al. (2012).

Para cumprir os objetivos do presente trabalho, foram agregadas as classes de uso da terra propostas pelo TERRACLASS (2014), além da área de floresta, em cinco grupos: i) área agrícola (agricultura anual, mosaico de ocupações e reflorestamento); ii) área de pasto limpo (pasto limpo); iii) área de pastagem degradada (pasto sujo, pasto com solo exposto e regeneração com pasto); iv) área de vegetação secundária (vegetação secundária); e v) desmatamento (variação na área de floresta, entre os períodos).

No modelo de transição do uso da terra, os cinco grupos de variáveis supracitadas foram transformados em suas parcelas de uso da terra em relação à área total de uso, ou seja, as áreas dos usos da terra foram divididas pelo total de área de uso do município. Essa forma de agregação das variáveis já foi utilizada nos trabalhos de Andersen et al. (1997) e Mendonça et al. (2012). As demais áreas⁹ de uso da terra foram excluídas da análise.

Dos 771 municípios da Amazônia Legal, foram retirados os 76 municípios que não tinham em sua área presença do bioma Amazônia, ou seja, municípios em que 100% de sua área total era constituída de não floresta. Assim, a amostra foi constituída de 695 municípios dos nove estados que compõem a Amazônia Legal. Todas as variáveis de uso da terra estão em nível de município para os anos de 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014. O período foi delimitado em função da disponibilidade de dados de sensoriamento espacial com as classificações do tipo de uso da terra.

Na segunda parte do estudo, foram avaliados os fatores determinantes da proporção de vegetação secundária em relação à área de uso. Para isso, foram utilizadas tanto a variável de uso da terra, área de vegetação secundária, quanto as variáveis de políticas públicas e condições socioeconômicas e de mercado. Essas variáveis foram selecionadas considerando o referencial teórico de diversos estudos a respeito das mudanças do uso da terra, transição florestal e determinantes da expansão da vegetação secundária desenvolvidos por Angelsen e Kaimowitz (1999), Barbier e Burgess (2001), Perz e Skole (2003a,b), Barbier et al. (2010), Pfaff e Walker (2010), Hargrave e Kiskatos (2013), Assunção et al. (2014), Assunção et al. (2015) e Ferreira e Coelho (2015). A Tabela 4 apresenta as variáveis, sua descrição e as fontes dos dados.

⁹ Demais áreas: desmatamento ocorrido nos anos de 2008, 2010, 2012 e 2014, não floresta, hidrografia, área não observada, área urbana, mineração e outros.

Tabela 4 – Descrição das variáveis e fonte dos dados

Variável	Fonte	Descrição
Uso da terra		
Área agrícola	INPE	Área agrícola, em km ²
Área de pasto limpo	INPE	Área de pasto limpo, em km ²
Área de pastagem degradada	INPE	Área de pastagem degradada, em km ²
Área de vegetação secundária	INPE	Área de vegetação secundária, em km ²
Área de desmatamento	INPE	Variação da área de floresta primária, em km ²
ln Proporção da área de vegetação secundária em relação a área de uso	INPE	Área de vegetação secundária em relação à área de uso, em %
Políticas públicas		
ln Intensidade de multas	IBAMA	Valor das multas por área de floresta primária desmatada, em reais por km ²
ln Intensidade do número de multas	IBAMA	Número de multas por área de floresta primária desmatada, em unidades por km ²
ln Densidade de crédito rural	BCB	Valor do crédito rural concedido, pela área de uso do município, em reais por km ²
Condições socioeconômicas e de mercado		
Índice de preço agrícola	IBGE	Índice de preços dos produtos agrícolas, em relação aos preços da região, variando de 0 a 100
Índice de preço do extrativismo	IBGE	Índice de preços dos produtos do extrativismo, em relação aos preços da região, variando de 0 a 100
ln PIB <i>per capita</i>	IBGE	Valor do PIB por habitante, em mil reais por habitante
PIB Agropecuário (proporção)	IBGE	Valor Adicionado Bruto da agropecuária em relação ao PIB, em %
ln Rebanho bovino	IBGE	Número de bovinos, em unidades
ln Intensidade do rebanho bovino	IBGE	Número de bovinos por área de pastagem, em unidades por km ²
ln Área de assentamento	INCRA	Área total ocupada por assentamento rural, no município, em km ²

Fonte: BCB; IBAMA; IBGE; INCRA; INPE.

Algumas variáveis foram linearizadas e expressas em logaritmo natural: *Intensidade de multas*, *Intensidade do número de multas*, *Densidade de crédito rural*, *PIB per capita*, *Rebanho bovino*, *Intensidade do rebanho bovino* e *Área de assentamento*. Antes de aplicar o logaritmo natural, adicionou-se o valor um a todas as variáveis¹⁰ que podem assumir valor zero, da seguinte forma: $\ln(1 + x)$. Por outro lado,

¹⁰ Área de assentamento.

as variáveis¹¹ que foram normalizadas e cuja variável do denominador pode assumir valor zero foram transformadas da seguinte forma: $\ln(1 + x/(1 + y))$.

A variável dependente área de vegetação secundária foi obtida de dados de sensoriamento remoto que mensuram o estoque de vegetação secundária nos períodos entre o mês de agosto de dois anos atrás e julho do ano corrente¹². Essa variável foi transformada para captar a proporção de vegetação secundária em relação à área de uso¹³ da terra do município. Assim, buscou-se identificar os fatores causadores da alteração na proporção da área de vegetação secundária em relação à área de uso da terra no município, entre os anos de 2008, 2010, 2012 e 2014. A *proporção da área de vegetação secundária* em relação à área de uso foi calculada pela seguinte equação:

$$\ln \text{ Prop. veg. secundária} = \ln \left(\frac{\text{Área de vegetação secundária}}{\text{Área de uso}} * 100 \right) \quad (8)$$

em que *Área de vegetação secundária* é a área total de vegetação secundária no município; e *Área de uso* é a área total de uso no município, sendo todas as variáveis expressas em km².

As demais variáveis foram transformadas para se enquadrar à janela temporal da variável dependente. As variáveis com disponibilidade mensal¹⁴ foram recalculadas em quatro períodos: de agosto de 2006 a julho de 2008; de agosto de 2008 a julho de 2010; de agosto de 2010 a julho de 2012; e de agosto de 2012 a julho de 2014. As variáveis com disponibilidade anual¹⁵ foram agregadas em quatro períodos: de 2006 a 2007; de 2008 a 2009; de 2010 a 2011; e de 2012 a 2013.

As principais políticas adotadas pelo governo nos últimos anos para reduzir as taxas de desmatamento na Amazônia Legal referem-se a sistemas de monitoramento mais eficazes, em que o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) age intervindo nessas áreas de desmatamento ilegal, e aos mecanismos de restrição de crédito rural subsidiado (AGUIAR et al., 2016).

¹¹ Intensidade do valor das multas, Intensidade do número de multas e Densidade de crédito rural.

¹² agosto de 2007 a julho de 2008; agosto de 2009 a julho de 2010; agosto de 2011 a julho de 2012; e agosto de 2013 a julho de 2014.

¹³ Área de uso do município corresponde à área total do município subtraídas as áreas de floresta, hidrografia e não floresta do município.

¹⁴ Valor e quantidade de autuações ambientais.

¹⁵ Crédito rural, Índice de preços agrícola e do extrativismo, PIB per capita, Proporção do valor adicionado bruto da agropecuária, Rebanho bovino e População.

As autuações ambientais representam todos os tipos de autuações efetuadas pelo IBAMA, mensuradas tanto em valor das autuações, quanto no número de autuações em nível municipal. Para captar a intensidade de atuação da política ambiental no município, as variáveis foram transformadas em *intensidade do valor das multas* e *intensidade do número de multas*, ao dividir o valor das multas e o número de multas, pela área de desmatamento. As informações sobre as autuações ambientais foram obtidas em consultas nos autos de infração ambiental, cadastrados no banco de dados do Sistema de Cadastro, Arrecadação e Fiscalização (SICAFI), disponíveis no site do IBAMA.

A *intensidade do valor das multas* aplicadas pelos IBAMA foi calculada pela seguinte equação:

$$\text{Intensidade do valor das multas} = \ln \frac{(1+\text{valor das multas})}{(1+\text{área de desmatamento})} \quad (9)$$

em que *valor das multas* é o valor das multas registradas pelo IBAMA no município em reais; e a *área de desmatamento* é a diferença entre a área de floresta no período t e $t - 1$ em km².

A *intensidade do número de multas* foi obtida pela seguinte fórmula:

$$\text{Intensidade do número de multas} = \ln \frac{(1+\text{número de multas})}{(1+\text{área de desmatamento})} \quad (10)$$

em que o *número de multas* é o número de multas aplicadas pelo IBAMA no município; e *área de desmatamento* é obtida conforme a equação anterior.

O crédito rural refere-se a financiamentos concedidos a produtores e cooperativas, destinados à atividade agrícola e pecuária, com a finalidade de custeio, investimento e comercialização. O crédito rural foi transformado na variável *densidade de crédito rural*, ao dividir o valor de crédito rural pela área de uso¹⁶ da terra:

$$\text{Densidade de crédito rural} = \ln \frac{(1+\text{valor do crédito rural})}{(1+\text{área de uso})} \quad (11)$$

¹⁶ Área de uso do município corresponde à área total do município subtraídas a área de floresta virgem e a área de hidrografia.

em que o *valor do crédito rural* é o valor concedido de crédito rural, por município, em reais; *área de uso* é a área de uso da terra no município em km². As informações sobre o crédito rural foram coletadas no Anuário Estatístico do Crédito Rural, disponível no site do Banco Central do Brasil (BCB).

Os índices de preços agrícolas e de produtos extrativistas consideram os preços regionais, construídos conforme proposto por Ferreira (2015). Esses índices de preços são utilizados com a finalidade de representar os preços dos principais produtos agrícolas e extrativistas da região Amazônica. Para isso, foram utilizados os dados do IBGE das pesquisas anuais Produção Agrícola Municipal e Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura.

O *índice de preço agrícola* é constituído de 17 produtos agrícolas (abacaxi, algodão, arroz, banana, borracha, cacau, café, cana-de-açúcar, coco-da-baía, dendê, feijão, laranja, mandioca, melancia, milho, pimenta do reino e soja), que correspondeu a 98,4% do valor da produção agrícola da Amazônia Legal em 2006. O *índice de preço do extrativismo* é constituído dos três principais produtos extrativistas (carvão vegetal, lenha e madeira) presentes em todos os municípios da Amazônia Legal e que em 2006, representavam 86,7% do valor da produção extrativa da região.

Os valores da produção de cada produto foram deflacionados com base no Índice Geral de Preços de Disponibilidade Interna (IGP-DI). Os preços reais dos produtos foram obtidos, dividindo o valor da produção de cada produto nos anos de 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013 pela sua quantidade produzida no mesmo período. A fórmula para o cálculo do índice de preços regional (IPR) dos produtos agrícolas e dos produtos do extrativismo para cada município é dada por:

$$IPR = \frac{\sum_{j=1}^n q_{ij} p_{ij}}{\sum q_{ij} \bar{p}_j} \quad (12)$$

em que i são os municípios; j são os 17 produtos agrícolas ou os três produtos florestais extrativistas; q_{ij} é a quantidade produzida de j no município i ; p_{ij} é o preço real médio do produto j no município i ; e \bar{p}_j é o preço médio do produto j na Amazônia Legal.

O Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* refere-se à divisão do PIB do município pelo tamanho da população municipal. O *PIB per capita* é calculado conforme a equação abaixo:

$$PIB \text{ per capita} = \ln \frac{PIB}{\text{tamanho da população}} \quad (13)$$

em que *PIB* é o Produto Interno Bruto do município em mil reais; e *tamanho da população* é o número de habitantes residentes no município.

O *PIB agropecuário (proporção)* é obtido pela divisão do Valor Adicionado Bruto (VAB) da agropecuária pelo PIB do município:

$$PIB \text{ agropecuário (proporção)} = \ln \frac{\text{Valor Adicionado Bruto agropecuário}}{PIB} \quad (14)$$

em que o *Valor Adicionado Bruto agropecuário* é o VAB a preços correntes da agropecuária em mil reais; e *PIB* é o Produto Interno Bruto do município, a preços correntes, em mil reais.

A *intensidade do rebanho bovino* refere-se ao número de bovinos em relação à área total de pastagem em km². A intensidade do rebanho bovino é calculada da seguinte forma:

$$\ln \text{Intensidade do rebanho bovino} = \frac{\text{número de bovinos}}{\text{área total de pastagem}} \quad (15)$$

em que o *número de bovinos* é o número de cabeças de bovinos; e *área total de pastagem* é a área total de pasto limpo, pasto sujo, regeneração com pasto e pasto com solo exposto. As variáveis PIB, VAB, população e rebanho bovino foram obtidas no site do IBGE.

A variável *assentamento* rural refere-se à área total ocupada por assentamentos rurais da reforma agrária em cada município. A área de assentamento é obtida da seguinte forma:

$$\ln \text{Assentamento} = \ln(1 + \text{área do assentamento}) \quad (16)$$

em que a *área do assentamento* é a área total ocupada por assentamentos rurais no município, por ano, em km². Os dados sobre a área ocupada pelos assentamentos rurais foram obtidos no Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os principais resultados da pesquisa. Para isso, o capítulo está dividido em duas seções principais. Na primeira seção, busca-se identificar o padrão de mudanças no uso da terra do bioma Amazônia e a destinação das novas áreas desmatadas.

Na segunda seção, analisa-se, especificamente, o uso da terra com vegetação secundária, procurando averiguar que os fatores socioeconômicos, condições de mercado e políticas públicas estão influenciando na proporção da vegetação secundária presente no bioma Amazônia. Além disso, o modelo é reestimado buscando-se controlar a potencial endogeneidade presente entre as variáveis.

5.1. Mudanças do uso da terra

A seção de mudanças do uso da terra está dividida em duas subseções. Inicialmente, é feita uma análise descritiva das alterações ocorridas nas áreas de uso da terra e cobertura florestal, no bioma Amazônia, durante os últimos dez anos. Na segunda subseção, busca-se identificar o padrão de mudanças no uso da terra e da cobertura florestal dos municípios. Ademais, tendo em vista a identificação do padrão de uso da terra, são feitas projeções das futuras alocações do uso da terra, considerando um cenário “*business-as-usual*” (BAU).

5.1.1. Análise descritiva das variáveis

Os usos da terra no bioma Amazônia foram agregados em cinco tipos: agrícola, pasto limpo, pastagem degradada, vegetação secundária e desmatamento (variação na área de floresta). A amostra foi constituída por 695 municípios, tendo sido excluídos os municípios da Amazônia Legal que não têm em sua área presença do bioma Amazônia. Os dados referem-se aos anos de 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014. A Tabela 5 apresenta as áreas de uso da terra e cobertura florestal do bioma Amazônia.

Tabela 5 – Área dos usos da terra e cobertura florestal, de forma agregada (em km²), e a taxa geométrica de crescimento dos usos da terra, entre 2004 e 2014

Ano	Agrícola	Pasto limpo	Pastagem degradada	Vegetação secundária	Floresta primária
2004	34.638	306.039	115.997	100.674	3.287.188
2008	59.344	335.715	111.445	150.815	3.213.287
2010	60.956	339.852	119.615	165.229	3.198.270
2012	55.112	345.420	96.983	172.190	3.188.806
2014	64.228	377.470	102.290	173.387	3.179.057
TGC ¹⁷ (%)	12,31	4,58**	-3,83	12,97*	-0,74**

Nota: **Significativo a 5%; *Significativo a 10%.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Pode-se observar que a área agrícola está em franca expansão na região, tendo sua área aumentado em 29,6 mil km² nos últimos dez anos. Entretanto, o maior aumento da área agrícola se concentrou nos quatro primeiros anos, acréscimo de 24,7 mil km², entre 2004 e 2008. Segundo Ferreira e Coelho (2015), o aumento da área agrícola nesse período decorre do aumento do preço das commodities agrícolas. Por outro lado, a partir de 2008, a políticas de concessão de crédito rural tornaram-se mais restritivas, sendo necessário comprovar estar cumprindo a legislação ambiental para obter crédito agropecuário.

A área total de pastagem também tem aumentado nos últimos anos, tendo sido agregados à sua área 57,7 mil km² nos últimos dez anos, um aumento de 13,68%. Ao desmembrar a área de pastagem, verifica-se que, nos últimos dez anos, a área de pasto limpo aumentou em 71,4 mil km² e, em sentido contrário, a área de pastagem degradada apresentou retração de 13,7 mil km². A área de pasto limpo tem crescido a uma taxa média de 2,49% a cada dois anos. Segundo Merry e Soares-Filho (2017), o processo de intensificação da pecuária na Amazônia brasileira resulta de investimentos de conservação (reduções de capital e subsídios), ao invés de se intensificar para produzir resultados de conservação (conter o desmatamento e atender a demanda de carne bovina).

Em sentido contrário, a área de floresta apresentou redução de 108,1 mil km² nos últimos dez anos, uma queda de 3,29% em sua área. A taxa média de redução da floresta foi de 0,74% a cada dois anos. Essa área de floresta desmatada teve como

¹⁷ A taxa geométrica de crescimento (TGC) é calculada pela equação $TGC = (ANTLogb - 1) \times 100$. O parâmetro b é obtido de uma regressão linear de tendência $Log(Y) = a + bT$, em que a é uma constante; b é o coeficiente; T é a tendência; e Y é a variável a ser analisada.

destino a incorporação à área de uso de agricultura, pastagem, vegetação secundária ou outros usos.

A vegetação secundária foi o uso da terra que mais cresceu nos últimos dez anos, tendo a sua área aumentada em 72,7 mil km² nesse período, um acréscimo de 72,23%. A taxa média de crescimento da vegetação secundária foi de 12,97% a cada dois anos. A vegetação secundária tem por característica ser uma área de não uso, por não se desenvolverem atividades produtivas que degradem sua área. Assim, verifica-se que no período analisado, tanto as áreas de uso, agricultura e pecuária, têm se expandido na região, assim como a área de não uso, vegetação secundária.

Ao analisar as mudanças ocorridas nos usos da terra, entre 2004 e 2014, verifica-se que a área de uso no bioma Amazônia aumentou em 148,5 mil km², Tabela 2, e, nesse mesmo período, a área de regeneração florestal por vegetação secundária aumentou em 72,7 mil km². Essas mudanças no uso da terra indicam que, no período da análise, o aumento da área de regeneração florestal correspondeu a 48,9% do aumento da área total de uso. Com base nesses dados, pode-se afirmar que, embora ainda esteja havendo desmatamento na área de floresta primária do bioma Amazônia, ao longo do tempo observa-se que as áreas de uso da terra estão voltando a se regenerar.

Segundo Jakovac et al. (2015), a atual intensificação do uso da terra na Amazônia está provocando perda da resiliência da floresta secundária, podendo, em última instância, impulsionar o sistema para um estado de sucessão com menor potencial para fornecer serviços ecossistêmicos. Esse cenário de intensificação requer a adaptação das práticas de gestão do uso do solo necessárias para garantir a resiliência dos sistemas de cultivo.

5.1.2. Mudanças do uso da terra no bioma Amazônia

A análise das mudanças do uso da terra no bioma Amazônia entre os anos de 2004 a 2014 foi feita segundo um modelo econométrico de vetores auto-regressivos, com dados em painel. Os erros-padrão foram estimados por *bootstrap*, de modo a corrigir problemas de heterocedasticidade e autocorrelação, conforme proposto por Cameron e Trivedi (2005). Nesse modelo, estima-se uma equação para cada tipo de uso da terra (Tabela 6).

Tabela 6 – Resultados do modelo de mudança do uso da terra

	Coeficientes do modelo					R ²
	Desmatamento _t	Agricultura _{t-1}	Pasto limpo _{t-1}	Pastagem degradada _{t-1}	Vegetação secundária _{t-1}	
Agricultura _t	0,2934*** (0,0329)	0,7420*** (0,0365)	0,0139*** (0,0040)	0,0119 (0,0128)	0,0118 (0,0097)	0,6065
Pasto limpo _t	0,1963*** (0,0323)	-0,0954*** (0,0180)	0,8712*** (0,0095)	0,2803*** (0,0266)	0,0765*** (0,0157)	0,9371
Pastagem degradada _t	0,2077*** (0,0303)	0,0792*** (0,0197)	0,1090*** (0,0089)	0,4742*** (0,0260)	0,1078*** (0,0160)	0,6853
Vegetação secundária _t	0,3025*** (0,0361)	0,2743*** (0,0336)	0,0060 (0,0052)	0,2336*** (0,0182)	0,8038*** (0,0167)	0,8886

Nota: Os valores entre parênteses referem-se aos erros-padrão estimados. ***significativo a 1%; **significativo a 5%; *significativo a 10%.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os coeficientes das equações de mudanças do uso da terra foram estatisticamente significativos, exceto a pastagem degradada e a vegetação secundária passada, determinando a atual área agrícola e a área de pasto limpo passado, determinando a atual vegetação secundária. As equações de uso da terra obtiveram como coeficientes de determinação (R²) 0,6065, 0,9371, 0,6853 e 0,8886, respectivamente, indicando bom ajustamento do modelo.

Os coeficientes da variável desmatamento são interpretados como coeficientes de transição. Nesse sentido, representam a destinação de uso da terra que foi dada para as áreas recentemente desmatadas: 29,34% foram destinados à agricultura; 19,63%, a pasto limpo; 20,77%, à pastagem degradada; e 30,25%, à vegetação secundária (Tabela 6). Os resultados obtidos no modelo de transição são corroborados por Margulis (2003) e Rivero et al. (2009), que identificam como principais atividades econômicas causadoras do desmatamento da Amazônia a pecuária, a extração de madeira e a agricultura. O resultado condiz ainda com estudos que confirmam que o desmatamento é predominantemente resultado da expansão das pastagens (RIVERO et al., 2009; BARONA et al., 2010; DIAS et al., 2016).

Seguindo o mesmo raciocínio da variável desmatamento, a Tabela 6 mostra que, entre 2004 e 2014, a área agrícola que permaneceu na mesma categoria de uso foi de 74,20%. Além disso, 1,39% da área de pasto limpo foi realocada para uso agrícola.

Os resultados sobre as mudanças no uso da área agrícola mostram que a ocorrência desse tipo de uso persiste no tempo, ou seja, municípios com alto percentual

de áreas de lavoura tendem a permanecer com alto percentual desse tipo de atividade. Nos últimos anos, verifica-se franca expansão da agricultura mecanizada sobre as áreas de uso da Amazônia, para a produção de grãos (MORTON et al., 2008; MACEDO et al., 2012). Esse fato mostra a ocorrência de intensificação agrícola, com aumento da produtividade dos cultivos por área, através do processo de mecanização e uso de fertilizantes e calcário. Ademais, segundo Macedo et al. (2012), no sul da Amazônia Legal, verifica-se que a expansão da área de produção de soja ocorreu em mais de dois terços sobre as áreas de pastagem previamente desmatadas. Segundo Dias et al. (2016), a produção de soja na Amazônia aumentou 25 vezes entre 1990 e 2012, enquanto as áreas plantadas aumentaram de 0,2 para 2,4 milhões de hectares e a produtividade cresceu cerca de 70%.

Os usos da terra das áreas de pasto limpo se alteram da seguinte forma: 9,54% da área de pastagem foi substituída por agricultura; 87,12% da área de pastagem permaneceu na mesma categoria de uso; 28,03% da área de pastagem degradada tornou-se pasto limpo; e 7,65% da área de vegetação secundária transformou-se em área de pastagem (Tabela 6). Os resultados sobre a ocorrência de áreas de pastagem também persistem ao longo do tempo, indicando que os municípios com alto percentual de áreas de pastagem tendem a permanecer com elevado percentual de pastagem. Ademais, Dias et al. (2016) identificaram que, entre 1990 e 2012, a área de pastagem no bioma Amazônia cresceu aproximadamente 70%, passando de 21,5 para 37,7 milhões de hectares.

As áreas de pastagem degradada durante o período da análise se alteraram da seguinte forma: 7,92% da área agrícola se tornou pastagem degradada; 10,90% da área de pasto limpo se transformou em pastagem degradada; 47,42% da área de pastagem degradada permaneceu na mesma categoria de uso; e 10,78% da área de vegetação secundária foi substituída por pastagem degradada (Tabela 6).

Os resultados obtidos evidenciam a relevante parcela de pasto limpo que permaneceu inalterada, além do avanço das áreas de pastagem sobre as áreas que estavam abandonadas com vegetação secundária. Segundo Dias-Filho (2011) e Bowman et al. (2012), a produção animal na fronteira agrícola da Amazônia tem como desafio sua modernização, com o aumento da eficiência de produção por meio de tecnologias mais intensivas de manejo da pastagem. Esse processo de modernização deve ter por base o aumento da produtividade pelo melhoramento das pastagens e aproveitamento das áreas já desmatadas que estão abandonadas ou subutilizadas. Os

dados do TerraClass utilizados neste estudo confirmam esse processo de modernização, em que está havendo aumento das áreas de pasto limpo, aliado à redução nas áreas de pasto sujo e regeneração com pasto. Outra evidência é o crescimento da produtividade, de 0,69 para 1,56 cabeças por hectare de gado, no período de 1990 a 2012 (DIAS et al., 2016).

Por fim, em relação às mudanças observadas no uso da terra com vegetação secundária, em média 27,43% da área de agricultura se transformou em área de vegetação secundária; 23,36% da área de pastagem degradada se tornou vegetação secundária; e 80,38% das áreas de vegetação secundária permaneceram na mesma categoria de uso. As áreas de vegetação secundária que permaneceram inalteradas indicam que relevante parcela das áreas anteriormente perturbadas pelo desmatamento estão se regenerando. A destinação das áreas de uso para vegetação secundária, motivada pelo pousio ou abandono, apresenta dinâmicas diferentes dependendo do anterior uso do solo. Segundo Pedroso Júnior et al. (2008), a forma de uso do solo influencia a composição de espécies de florestas secundárias por muitas décadas. Segundo Mesquita et al. (2001), durante o processo de sucessão florestal, o retorno das florestas primárias ocorre mais rapidamente quando o desmatamento não é seguido pelo uso como pastagem antes do abandono.

A Figura 6 apresenta as projeções da média das mudanças do uso da terra para os municípios do bioma Amazônia. Essas projeções no uso da terra até o ano de 2050 foram obtidas com base na matriz de transição, considerando a taxa média de desmatamento do período de 2004 a 2014. Para isso, utilizou-se uma taxa de desmatamento de 11.090 km² por ano. As previsões foram projetadas tendo em vista o histórico da conversão florestal e das mudanças do uso da terra, pressupondo que as práticas de uso permanecem inalteradas, ou seja, num cenário do tipo “*business-as-usual*” (ANDERSEN et al., 1997; AGUIAR et al., 2016).

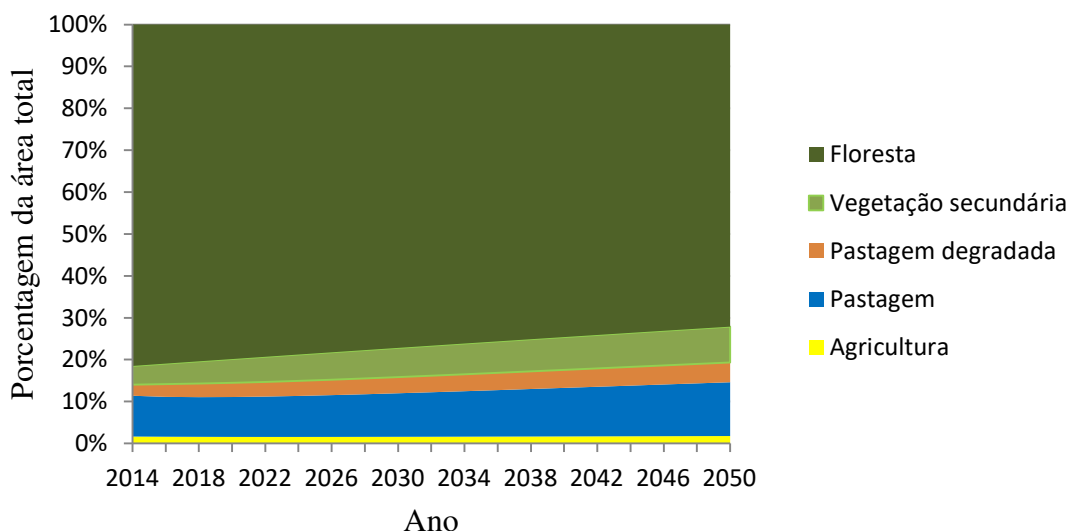


Figura 6 – Mudanças projetadas no uso da terra para o município médio

Fonte: Resultado da pesquisa.

As projeções das mudanças no uso da terra do bioma Amazônia mostram que a área de pasto limpo crescerá, em média, 31,82% até o ano de 2050. Assim, a pastagem continuará sendo a principal destinação dos usos da terra, no longo prazo. Segundo Dias et al. (2016), a área total de pastagem na Amazônia vem aumentando, assim como vem crescendo rapidamente a taxa média de estocagem de bovinos, a partir dos anos 2000, nos estados do Acre, Maranhão, Mato Grosso, Rondônia e Pará, seguindo principalmente o curso dos rios e estradas da região norte.

Os resultados desta pesquisa coincidem com aqueles obtidos por Andersen et al. (1997), em que a pastagem era considerada uma categoria de uso da terra “absorvente” em longo prazo, com base na dinâmica do uso do período entre 1975 a 1985. Entretanto, esse resultado diverge do obtido por Mendonça et al. (2012), que não identifica indício de que a pecuária seja o principal causador do desmatamento no período entre 1970 e 1995.

As áreas de pastagem degradada também apresentam tendência de elevação da ordem de 78,78% no período de 2014 a 2050. Assim, verifica-se que as áreas de pastagem degradada continuaram a representar importante parcela da área de uso, assim como as áreas de pasto limpo. Segundo Dias-Filho (2011), cerca de 70 milhões de hectares de pastagens nas regiões centro-oeste e norte estariam degradados ou em processo de degradação. Segundo o mesmo autor, a recuperação dessas áreas possibilitaria elevar consideravelmente a produção de carne e leite dessas regiões sem

necessidade de desmatar novas áreas de floresta. Além disso, o aumento da produtividade das pastagens degradadas permitiria que parte das áreas atualmente com pastagem nessas regiões fosse convertida para outros fins agrícolas, florestais ou de preservação.

As mudanças do uso da terra indicam tendência de elevação, em média, de 91,27% das áreas de vegetação secundária entre 2014 e 2050, ou seja, dada a dinâmica atual do uso da terra, no longo prazo os usos da terra voltam a se regenerar em floresta. Esses resultados revelam nova tendência presente na atual mudança do uso da terra da Amazônia brasileira e são condizentes com os resultados de Aguiar et al. (2016). Embora o referido estudo não busque quantificar explicitamente a regeneração florestal na Amazônia, seus resultados indicam um grande processo de regeneração em áreas previamente desmatadas, considerando um cenário de sustentabilidade, ou seja, condições institucionais e políticas favorecendo a diminuição da degradação da floresta e a não remoção periódica da vegetação secundária. Por outro lado, o estudo de Andersen et al. (1997) identificou que mudanças no uso da terra no período de suas análises geravam projeções de declínio da área de vegetação secundária no longo prazo. Mendonça et al. (2012) também não identificaram tendência de elevação das áreas de vegetação secundária.

A área agrícola apresentou ligeira tendência de alta, em média de 7,22%, em suas projeções futuras, até o ano de 2050. Entretanto, essa projeção pode estar subestimada devido à pequena parcela da área de uso ocupada pela área agrícola (8,4%) em relação à área de pastagem (63,0%), no período da análise. Deve-se lembrar que a partir dos anos 2000 observa-se mudança na dinâmica do uso da terra provocada pela acelerada expansão da agricultura mecanizada, principalmente para produção de grãos, sobre o bioma Amazônia (MORTON et al. 2008; MACEDO et al. 2012).

Os resultados de Andersen et al. (1997) contrariam os obtidos nessa análise, indicando que, ao longo do tempo, as áreas agrícolas estariam perdendo área para a expansão da pastagem. Por outro lado, para Mendonça et al. (2012), a agricultura e a pecuária são atividades concorrentes e disputam área entre si. Segundo Dias et al. (2016), as áreas agrícolas e de pastagem vêm aumentando nas fronteiras agrícolas da Amazônia e Cerrado, em detrimento dessas produções nas regiões sul, sudeste e nordeste.

Por fim, a área de floresta do bioma Amazônia deve ter uma queda de 11,50% em sua cobertura florestal até o ano de 2050. Em contrapartida, verifica-se que a

vegetação secundária apresenta a maior tendência de elevação, entre os usos da terra da região, da ordem de 91,27% até 2050. Neste contexto, pode-se concluir que, embora continue havendo desmatamento das áreas de floresta virgem, a área de vegetação secundária, no longo prazo, continuará sendo a principal categoria de uso da terra “absorvente” em relação aos demais, com base na dinâmica de uso do período entre 2004 a 2014.

5.2. Determinantes da regeneração florestal no bioma Amazônia

A presente seção, que trata dos determinantes da regeneração florestal, está dividida em quatro subseções. Inicialmente, é feita uma análise descritiva das variáveis de uso da terra, socioeconômicas, condições de mercado e políticas públicas. Na segunda subseção, é apresentado o modelo base, em que são analisados que fatores socioeconômicos, condições de mercado e políticas públicas têm influenciado a regeneração florestal no bioma Amazônia. Nas subseções posteriores, os determinantes da regeneração florestal são identificados, controlando-se a potencial endogeneidade das variáveis. Para isso, na terceira subseção, o modelo é estimado pelo Método de Momentos Generalizados (GMM), que permite tratar a endogeneidade do conjunto de variáveis ao mesmo tempo. Na quarta subseção, estima-se o modelo pelo método de variáveis instrumentais, com a finalidade de controlar apenas a endogeneidade da política ambiental de combate ao desmatamento, representada pela variável *multa*.

5.2.1. Análise descritiva das variáveis

Inicialmente, faz-se uma breve apresentação das estatísticas descritivas dos dados utilizados nesse estudo (Tabela 7). Os dados correspondem às médias municipais para os anos de 2008, 2010, 2012 e 2014 (2.780 observações). A seguir, são apresentadas as interpretações das estatísticas descritivas das variáveis. As variáveis que estão em logaritmo natural foram transformadas, aplicando o anti-log¹⁸, em variável em nível, para facilitar a sua interpretação.

¹⁸ O inverso da função logaritmo para base e : $y = ANTLogx = e^x$.

Tabela 7 - Estatísticas descritivas das variáveis do modelo determinantes da vegetação secundária

Variável	Média	Desvio padrão	Coefficiente variação	Mínimo	Máximo
ln Veg. secundária (proporção)	3,0891	0,7870	0,2548	-4,9632	4,5714
ln Densidade crédito rural	8,5969	1,7544	0,2041	0,0000	16,1431
ln Intensidade valor multas	9,3260	5,2057	0,5582	0,0000	19,1842
ln Intensidade número multas	1,2169	1,1171	0,9180	0,0000	6,4216
Índice preço agrícola	2,4836	1,6925	0,6815	0,3946	15,1871
Índice preço extrativismo	22,1426	18,2793	0,8255	1,9978	55,4945
ln Rebanho bovino	10,4984	1,7913	0,1706	2,4849	14,6408
Intensidade rebanho bovino	5,2956	1,4940	0,2821	1,1191	18,4653
ln PIB <i>per capita</i>	2,1226	0,6626	0,3122	0,6688	4,9726
PIB agropecuário (proporção)	0,2452	0,1448	0,5905	0,0009	0,8373
ln Assentamento	10,0599	2,0323	0,2020	3,2809	15,1191
ln Instrumento multas estadual	19,0513	2,5901	0,1360	10,5385	29,9579
ln Instrumento nº multas estadual	6,7190	2,3462	0,3492	-0,5809	17,6316

Fonte: Resultados da pesquisa.

A área de vegetação secundária representa, em média, 21,96% da área de uso do bioma Amazônia. A proporção de vegetação secundária em relação à área de uso está distribuída de forma heterogênea entre os estados do bioma: Acre tem 20,34% de vegetação secundária; Amazonas, 55,42%; Amapá, 39,24%; Maranhão, 17,17%; Mato Grosso, 14,57%; Pará, 26,94%; Rondônia, 16,26%; Roraima, 31,55%; e Tocantins tem 24,26%.

As políticas públicas consideradas nesse estudo são relativas à concessão de crédito rural por parte do governo federal, destinado à agricultura e pecuária, e à política de fiscalização e combate ao desmatamento ilegal feito pelo IBAMA. O valor médio da *densidade de crédito rural* nos municípios foi de 5,415 mil reais por km² de área de uso. No período da análise, houve municípios que não tiveram a concessão de crédito rural. Em relação à fiscalização do desmatamento ilegal, a *intensidade do valor das multas*, ou seja, valor médio das multas aplicadas pelo IBAMA, foi de 11,226 mil reais por km² de área desmatada. A *intensidade do número de multas*, ou seja, a quantidade média de multas e autuações feitas pelo IBAMA foi de 3,38 multas por km² de área desmatada.

As variáveis de mercado são representadas pelo índice de preço regional dos produtos agrícolas e extrativistas. O *índice de preço dos produtos agrícolas* obteve valor médio de 9,32, ou seja, a razão entre o valor médio da produção agrícola dos municípios e o valor médio da produção, aos preços médios da região, é de 9,32. O

índice de preço dos produtos extrativistas, que é representado pela razão entre o valor médio da produção dos produtos extrativos do município e o valor médio da produção da região, gerou um valor médio de 22,14.

Os condicionantes socioeconômicos utilizados nessa análise são: tamanho do *rebanho bovino*, *intensidade de bovinos* por área de pastagem, *PIB per capita*, *PIB agropecuário (proporção)* e a *área de assentamento* rural da reforma agrária. O *PIB per capita* médio dos municípios é de 8,353 mil reais anuais. O valor adicionado bruto do setor agropecuário, denominado *PIB agropecuário (proporção)*, representa, em média, 24,52% do PIB da região. O *rebanho bovino* tem, em média, 36,257 mil bovinos por município. A *intensidade do rebanho bovino* na região é, em média, de 199,45 cabeças por km² de pastagem, ou 1,99 cabeças por hectare. Os *assentamentos* rurais da reforma agrária têm, em média, 23,386 mil hectares. As variáveis utilizadas como instrumentos são a *intensidade do valor das multas estadual* e a *intensidade do número de multas no estado*.

5.2.2. Modelo base

Antes de iniciar a estimação do modelo, foram feitos diferentes testes para decidir pelo método de estimação mais adequado. Para isso, foi feito o teste de *Breusch e Pagan* do multiplicador de Lagrange para decidir entre o modelo de efeitos fixos e o de efeitos aleatórios, conforme proposto por Breusch e Pagan (1980). O valor da estatística de teste foi 1.032,91, com *p-valor* de 0,00, indicando que a hipótese nula é rejeitada, ou seja, o modelo de efeitos aleatórios é o mais indicado para a estimação do conjunto de dados. Os coeficientes do modelo de efeitos aleatórios serão estimados pelo método de Mínimos Quadrados Generalizados (MQG).

No modelo base, foram estimados diferentes modelos de dados em painel, com efeitos aleatórios. Inicialmente, são consideradas como variáveis de política pública a *densidade de crédito rural* e a *intensidade do valor das multas* ambientais. Em um modelo alternativo, substitui-se a variável *intensidade do valor das multas* pela variável *intensidade do número de multas*, com a finalidade de verificar a influência do nível de atuação da fiscalização ambiental sobre a área de desmatamento ilegal.

A Tabela 8 apresenta o modelo dos determinantes da *proporção de vegetação secundária* sobre a área de uso do município, utilizando como determinante a *intensidade do valor das multas*. Nesse primeiro modelo, a estimação é dividida em quatro diferentes cenários: nas colunas (1) e (2), são considerados todos os municípios,

e nas colunas (3) e (4), a estimação é feita para uma amostra restrita, que leva em conta apenas os municípios que apresentam mais de 10% da área de floresta primária preservada. Procurou-se, com esse procedimento, verificar se a maior densidade de floresta influencia nos coeficientes estimados. Adicionalmente, os modelos foram estimados desconsiderando os efeitos temporais nas colunas (1) e (3) e controlando os efeitos fixos de ano nas colunas (2) e (4).

Tabela 8 - Determinantes da proporção de vegetação secundária, considerando o valor das multas, estimado por MQG

Variável	Coeficiente			
	Todos (1)	Todos (2)	>10% (3)	>10% (4)
ln Densidade crédito rural	-0,0352*** (0,0082)	-0,0526*** (0,0087)	-0,0282*** (0,0076)	-0,0371*** (0,0076)
ln Intensidade multas	0,0030 (0,0030)	0,0055* (0,0030)	0,0064*** (0,0023)	0,0058** (0,0023)
Índice preços agrícola	-0,0053 (0,0106)	-0,0054 (0,0102)	-0,0051 (0,0101)	-0,0062 (0,0100)
Índice preços extrativismo	0,0025** (0,0010)	0,0026** (0,0011)	0,0004 (0,0009)	0,0002 (0,0009)
ln Rebanho bovino	-0,1693*** (0,0158)	-0,1500*** (0,0161)	-0,1736*** (0,0159)	-0,1602*** (0,0159)
Intensidade rebanho bovino	0,0213 (0,0260)	0,0236 (0,0259)	0,0560*** (0,0169)	0,0509*** (0,0173)
ln PIB <i>per capita</i>	0,0834* (0,0402)	-0,0504 (0,0366)	-0,0079 (0,0363)	-0,1070*** (0,0365)
PIB agropecuário (proporção)	0,0066 (0,1252)	-0,1337 (0,1277)	0,0055 (0,1148)	-0,1017 (0,1196)
ln Assentamento	0,0852*** (0,0128)	0,0744*** (0,0126)	0,0695*** (0,0108)	0,0574*** (0,0113)
Constante	3,9744*** (0,2355)	4,1813*** (0,2292)	4,2003*** (0,2138)	4,4320*** (0,2203)
Efeito fixo ano	Não	Sim	Não	Sim
Nº observações	2077	2077	1693	1693
R ²	0,2629	0,2822	0,3500	0,3673

Nota: Todos os modelos são estimados por MQG: colunas (1) e (2) constituem-se de todos os municípios, colunas (3) e (4) incluem apenas municípios com mais de 10% de floresta primária. Os erros padrão robustos são apresentados entre parênteses. *** significativo a 1%; ** significativo a 5%; * significativo a 10%.

Fonte: Resultados da pesquisa.

A política pública de concessão de crédito rural a taxas de juros subsidiada, representada pela *densidade de crédito rural*, apresentou relação negativa com a

proporção de vegetação secundária presente no município. Os coeficientes estimados variaram entre -0,0282 e -0,0526 para as diferentes especificações, considerando todos os municípios e para os municípios com mais de 10% de floresta. Assim, um aumento de 1% na densidade de crédito rural concedido aos produtores provoca redução, em média, de 0,0282% a 0,0526% na proporção de área de vegetação secundária.

Como indicado na literatura, a concessão de créditos a taxas subsidiadas de juros provoca distorções no mercado por gerar alterações no valor dos usos competitivos da terra e, conseqüentemente, favorecer a expansão excessiva das áreas agrícolas e pecuárias (BARBIER et al. 2010). Entretanto, a partir de 2008, a concessão de crédito rural ficou condicionada à prova de que a área está em conformidade com as regulamentações ambientais, o que tem contribuído para a redução no desmatamento da floresta primária (ASSUNÇÃO et al. 2015). Nesse sentido, a redução do desmatamento de floresta primária favoreceu a expansão das áreas agrícolas sobre as áreas de vegetação secundária e de pastagem degradada. Nas regiões em que os produtores rurais utilizam maiores montantes de crédito rural por área de uso, há mais pressão sobre as áreas de vegetação secundária, causando sua redução. Ao filtrar a amostra para os municípios com maior presença de floresta primária, acima de 10% da área de uso, verifica-se redução na magnitude dos coeficientes estimados.

A política ambiental de conservação destinada a prevenir e controlar o desmatamento ilegal, representada pela *intensidade do valor das multas*, apresenta relação positiva com a *proporção de vegetação secundária*. Os coeficientes estimados estão entre 0,0055 e 0,0064 nas especificações com todos os municípios e naqueles com mais de 10% de floresta. Esse resultado indica que, quando a intensidade de multas aplicadas pelo IBAMA aumenta em 1%, a proporção de área de vegetação secundária presente no município se eleva, em média, entre 0,0055% e 0,0064%. O resultado evidencia que a política ambiental implementada pelo IBAMA está sendo eficiente no combate ao desmatamento ilegal e tem favorecido a regeneração florestal. Assim como observado por Hargrave e Kis-Katos (2013), Assunção et al. (2015) e Ferreira e Coelho (2015), a política de combate ao desmatamento ilegal contribuiu para a redução do desmatamento de floresta primária. Do mesmo modo, identifica-se que essa política de combate ao desmatamento ilegal também favoreceu o aumento das áreas de vegetação secundária. Ao restringir a amostra para os municípios com mais de 10% de floresta, verifica-se elevação na magnitude dos coeficientes, indicando que a atuação da política

ambiental nos municípios com maiores remanescentes florestais favorece o aumento da proporção de vegetação secundária no município.

O *índice de preços do extrativismo* apresenta relação positiva com a *proporção de vegetação secundária*, quando considerados todos os municípios. Os coeficientes estimados variam entre 0,0025 e 0,0026 para a especificação com todos os municípios. Essa estimação indica que o aumento de um ponto no índice de preço do extrativismo provoca aumento, em média, de 0,25% a 0,26% na proporção de vegetação secundária. Assim como descrito na literatura por Barbier et al. (2010), a relativa escassez de floresta resulta em sinais sobre os preços dos produtos extrativos e em pressões de mercado para a conservação da floresta. Para os municípios com mais de 10% de área de floresta preservada, os coeficientes do índice de preços do extrativismo não foram significativos. Isso indica que a abundância relativa de floresta virgem faz com que o preço dos produtos de extrativismo não tenha efeito sobre a quantidade de floresta secundária.

O tamanho do *rebanho bovino* mostrou relação negativa com a *proporção da área de vegetação secundária*, em que os coeficientes estimados estão entre -0,1500 e -0,1736 para as duas especificações. Assim, quando o número de bovinos aumenta em 1%, a proporção de vegetação secundária se reduz, em média, entre 0,1500% e 0,1736%. Esse fato mostra a pressão imposta pelo rebanho bovino sobre as áreas de vegetação secundária, reduzindo sua participação nos municípios com maiores rebanhos bovinos. Assim, comprova-se que os valores do uso da terra com a pastagem destinada à pecuária são superiores ao valor de abandonar a terra para regeneração natural. Segundo Fontes e Palmer (2017), o aumento do preço da carne bovina tende a reduzir a cobertura florestal primária, mas, principalmente, de vegetação secundária, em favor do aumento da área de pastagem, pois a limpeza de florestas secundárias para o uso necessita de níveis mais baixos de mão de obra e capital. Segundo Pfaff e Walker (2010), a região amazônica vem emergindo como principal região produtora de gado brasileiro em resposta às demandas globais. Além disso, a concorrência por área tem provocado o deslocamento da pecuária da região sul para o norte, sendo esta área substituída por atividades que proporcionam maior rentabilidade por área cultivada.

A *intensidade do rebanho bovino* por área de pastagem apresentou relação positiva com a *proporção de vegetação secundária*, ou seja, quanto maior a densidade de bovino por área de pastagem, maiores são as áreas de vegetação secundária, para os municípios com mais de 10% de floresta preservada. Assim, o aumento da

intensificação de um bovino por km² de pastagem provoca aumento, em média, de 0,0509% a 0,0560% na proporção da área de vegetação secundária. A modernização da pecuária, representada pela intensificação, ocasiona o abandono de terras marginais, que apresentam menores produtividades, em favor da expansão da pecuária sobre áreas mais produtivas. Além disso, os pecuaristas investem mais em tecnologias nas regiões onde os direitos de propriedade sobre o uso da terra são bem definidos. Esse fato aumenta a segurança dos pecuaristas sobre os investimentos feitos.

Segundo Pfaff e Walker (2010), a intensificação da pecuária na Amazônia tem aumentado nos últimos anos, entretanto prever as implicações de tal desenvolvimento requer cuidado, pois pode existir um *trade-off* entre intensificação da pecuária e a conservação florestal. A teoria da transição florestal indica que a intensificação promove benefícios para a regeneração florestal, entretanto, se as novas tecnologias gerarem rendas mais elevadas, pode-se promover o desmatamento. Além disso, os ganhos de produtividade costumam ocorrer nas áreas já estabelecidas, não ocorrendo de forma universal na Amazônia. Nas fronteiras ativas de desmatamento, devido à abundância de terra, os pecuaristas costumam utilizar abordagens primitivas para o manejo da pastagem. No entanto, para Merry e Soares-Filho (2017), o processo de intensificação da pecuária na Amazônia resulta de investimentos de conservação, promovidos pelas reduções de capital e subsídios.

O *PIB per capita* indicou relação contraditória entre as diferentes especificações. No modelo que considera todos os municípios, o *PIB per capita* apresenta relação positiva com a *proporção de área de vegetação secundária*. Por outro lado, na especificação restrita para os municípios com mais de 10% de floresta, o *PIB per capita* tem relação negativa com a proporção de vegetação secundária. Segundo Barbier et al. (2017), a relação observada entre o desenvolvimento econômico e o desmatamento é, muitas vezes, consistente com a hipótese da curva de Kuznets ambiental, sugerindo relação em forma de “U” invertido entre renda *per capita* e degradação ambiental. Entretanto, segundo Oliveira et al. (2011), na Amazônia brasileira, a relação entre crescimento econômico e desmatamento pode ser expressa no formato de “N” invertido. Esse fato indica que, após a fase de crescimento econômico com degradação ambiental, há perspectiva de redução do desmatamento em níveis mais altos de renda. A maior parte dos municípios da Amazônia está na fase ascendente dessa relação de crescimento econômico associado a aumento do desmatamento.

A área de *assentamento* apresentou relação positiva com a *proporção de vegetação secundária* do município, ou seja, quanto maior as áreas de assentamento rural do município, maiores serão as áreas de vegetação secundária. Os coeficientes estimados estiveram entre 0,0574 e 0,0852 para as diferentes especificações. Sendo assim, o aumento de 1% na área de assentamento rural provoca aumento, em média, de 0,0574% a 0,0852% na proporção de vegetação secundária. Esse fato é indicativo de que a política de assentamento favorece o aumento na proporção de área de vegetação secundária. Segundo Pacheco (2009), a política de reforma agrária desenvolvida na Amazônia Legal tem implicações heterogêneas sobre o uso da terra e o desmatamento, pois seus impactos estão relacionados às condições socioeconômicas preexistentes na região. Observa-se que a reforma agrária tem levado a baixas taxas de desmatamento em regiões dominadas por pequenos agricultores, em contrapartida, tem gerado maior conversão florestal nas regiões dominadas pelo uso extensivo da terra, principalmente impulsionado pela pecuária.

O *índice de preços agrícola* e o *PIB agropecuário (proporção)* não apresentaram significância estatística para explicar a proporção de vegetação secundária no município para ambas as especificações estimadas.

Alternativamente, na Tabela 9, estimou-se o modelo de determinantes da área de vegetação secundária, substituindo a variável explicativa *ln intensidade do valor de multas* pela variável *ln intensidade do número de multas*. Essa nova estimação visa a verificar se a intensidade da atuação do IBAMA, em número de multas aplicadas por área desmatada no município, promove algum impacto diferente sobre a área de vegetação secundária. Assim, busca-se verificar se maior atuação do IBAMA sobre o desmatamento ilegal tem influência sobre a *proporção de vegetação secundária* municipal.

Tabela 9 - Determinantes da proporção de vegetação secundária, considerando o número de multas, estimado por MQG

Variável	Coeficiente			
	Todos (1)	Todos (2)	>10% (3)	>10% (4)
ln Densidade crédito rural	-0,0359*** (0,0081)	-0,0529*** (0,0085)	-0,0306*** (0,0074)	-0,0386*** (0,0075)
ln Intensidade número multas	0,0120 (0,0133)	0,0103 (0,0134)	0,0388*** (0,0114)	0,0252** (0,0110)
Índice preços agrícola	-0,0050 (0,0106)	-0,0053 (0,0103)	-0,0040 (0,0100)	-0,0056 (0,0100)
Índice preços extrativismo	0,0024** (0,0010)	0,0025** (0,0011)	0,0001 (0,0009)	0,0000 (0,0009)
ln Rebanho bovino	-0,1672*** (0,0154)	-0,1470*** (0,0157)	-0,1688*** (0,0154)	-0,1567*** (0,0155)
Intensidade rebanho bovino	0,0203 (0,0262)	0,0233 (0,0260)	0,0518*** (0,0171)	0,0491*** (0,0174)
ln PIB <i>per capita</i>	0,0836** (0,0403)	-0,0435 (0,0364)	-0,0156 (0,0365)	-0,1054*** (0,0367)
PIB agropecuário (proporção)	0,0099 (0,1248)	-0,1415 (0,1281)	0,0244 (0,1154)	-0,0908 (0,1205)
ln Assentamento	0,0865*** (0,0128)	0,0773*** (0,0128)	0,0713*** (0,0107)	0,0599*** (0,0112)
Constante	3,9641*** (0,2361)	4,1551*** (0,2303)	4,2038*** (0,2129)	4,4215*** (0,2193)
Efeito fixo ano	Não	Sim	Não	Sim
Nº observações	2077	2077	1693	1693
R ²	0,2612	0,2788	0,3491	0,3663

Nota: Todos os modelos são estimados por MQG: colunas (1) e (2) constituem-se de todos os municípios, colunas (3) e (4) incluem apenas municípios com mais de 10% de floresta primária. Os erros padrão robusto são apresentados entre parênteses. *** significativo a 1%; ** significativo a 5%; * significativo a 10%.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

De modo geral, os resultados obtidos nesse modelo se assemelham, no que se refere à magnitude e à significância estatística dos parâmetros, aos obtidos, considerando como determinante a *intensidade do valor das multas*. As principais alterações nessa estimação se referem a uma ligeira alteração na magnitude de alguns parâmetros, além de o parâmetro da *intensidade do número de multas* deixar de apresentar significância estatística, quando considerados todos os municípios.

A *intensidade do número de multas* apresentou relação positiva com a *proporção de vegetação secundária*. O resultado indica que o aumento de 1% na intensidade do número de multas provoca elevação, em média, de 0,0252% a 0,0388%

na proporção de vegetação secundária, para os municípios com mais de 10% de floresta preservada.

Ao comparar os parâmetros estimados nesse modelo com o anterior para as variáveis *intensidades do valor das multas e do número de multas*, verifica-se elevação na magnitude dos parâmetros *intensidade do número de multas*. Esse resultado indica que a intensidade da aplicação de multas sobre a área de desmatamento ilegal promove maior regeneração florestal, se comparado com o valor das multas aplicadas. Assim, maior atuação da política ambiental na aplicação de multas por área de desmatamento favorece o desenvolvimento das áreas de vegetação secundária. Embora a legislação ambiental brasileira seja rigorosa e a atuação do IBAMA no combate a infrações ambientais seja intensa, menos de 1% do valor das multas aplicadas pelo órgão são efetivamente pagas (IBAMA, 2017).

5.2.3. Controlando a endogeneidade das variáveis - Método dos Momentos Generalizados

Na literatura não há evidência concreta da presença de endogeneidade entre as variáveis consideradas na teoria de transição florestal. Entretanto, diversos trabalhos relatam presença de potencial endogeneidade entre a variável dependente e as variáveis explicativas *crédito rural, valor das multas, número de multas, preço dos produtos extrativistas, PIB per capita, PIB agropecuário e área de assentamento*. Assim, nessa subseção e na próxima, os modelos anteriores foram reestimados, buscando tratar essa possível endogeneidade presente entre as variáveis.

Nessa seção, o modelo de determinantes da proporção de vegetação secundária foi estimado pelo Método de Momentos Generalizados (GMM). Assim, a potencial endogeneidade presente no modelo é tratada, utilizando, como variável instrumental, a segunda defasagem das variáveis endógenas. A vantagem da estimação pelo método GMM, em relação ao de variáveis instrumentais, refere-se à possibilidade de se tratar a endogeneidade do conjunto de variáveis explicativas ao mesmo tempo.

Na Tabela 10, nas colunas de (1) a (3), são estimadas as especificações para a amostra irrestrita, considerando todos os municípios, e nas colunas de (4) a (6), os modelos são estimados para amostra restrita de municípios com mais de 10% de floresta preservada. Nessa nova estimação, o modelo é estimado adicionando como variável de controle a *vegetação secundária defasada*. O modelo é estimado para especificações mais restritas nas colunas (1) e (4) e, nas demais colunas do modelo, é estimado

adicionando como variáveis de controle o *PIB agropecuário* e a área de *assentamento* rural. Nas colunas (1), (2), (4) e (5) consideram-se como variáveis endógenas *ln densidade crédito rural*, *ln intensidade valor das multas*, *índice de preço do extrativismo* e *ln PIB per capita*. Nas colunas (3) e (6), consideram-se como variáveis endógenas, além das variáveis supracitadas, *PIB agropecuário (proporção)* e *ln assentamento*.

Tabela 10 – Determinantes da proporção de vegetação secundária, considerando o valor das multas, estimado por GMM

Variável	Coeficiente					
	Todos (1)	Todos (2)	Todos (3)	>10% (4)	>10% (5)	>10% (6)
I. In Veg. sec. (proporção)	0,4565*** (0,0821)	0,4807*** (0,1192)	0,4674*** (0,1134)	0,1076 (0,1109)	0,1115 (0,0882)	0,1370 (0,1049)
ln Densidade crédito rural	-0,0297 (0,0390)	-0,0282 (0,0745)	-0,0289 (0,0541)	0,0465 (0,0518)	0,0560 (0,0439)	0,0314 (0,0394)
ln Intensidade multas	0,0135 (0,0235)	0,0089 (0,0364)	-0,0034 (0,0243)	-0,0326 (0,0366)	-0,0033 (0,0153)	-0,0111 (0,0169)
Índice Preços Agrícola	-0,0549** (0,0251)	-0,0097 (0,0343)	-0,0478* (0,0279)	-0,0839* (0,0444)	-0,0404 (0,0281)	-0,0546* (0,0286)
Índice Preços Extrativismo	0,0022 (0,0083)	-0,0158 (0,0127)	0,0056 (0,0117)	0,0183* (0,0111)	0,0010 (0,0054)	0,0051 (0,0073)
ln Rebanho bovino	-0,0347 (0,0426)	0,0076 (0,0521)	0,0060 (0,0537)	-0,0101 (0,0480)	-0,0271 (0,0364)	-0,0244 (0,0402)
Intensidade rebanho bovino	-0,0267 (0,0349)	-0,0433 (0,0622)	-0,0238 (0,0486)	0,0268 (0,0377)	0,0195 (0,0326)	0,0226 (0,0315)
ln PIB <i>per capita</i>	0,4941 (0,6519)	-2,6955** (1,1419)	-0,5613 (0,6500)	1,9335* (1,0213)	0,4980 (0,8282)	0,4561 (0,4928)
PIB agropecuário (proporção)		1,7164 (1,1523)	3,6956* (1,9984)		-0,2644 (0,7481)	0,9698 (1,3718)
ln Assentamento		0,1574 (0,1497)	0,5319 (0,4449)		0,1057 (0,1120)	0,6057* (0,3208)
Efeito fixo ano	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Nº observações	1251	1030	1030	1022	844	844
Teste Sargan (p-valor)	0,0000	0,3231	0,1053	0,6444	0,0877	0,3078

Nota: Todos os modelos são estimados por GMM. Nas colunas (1), (3), (4) e (6), constituem variáveis exógenas: Índice de preços agrícolas, ln Rebanho bovino, Intensidade rebanho bovino. Nas colunas (2) e (5), constituem variáveis exógenas, além das variáveis supracitadas, PIB Agropecuário (proporção) e ln Assentamento. Nas colunas (1), (2), (4) e (5), consideram-se variáveis endógenas: ln Densidade crédito rural, ln Intensidade valor das multas, Índice de preço do extrativismo, ln PIB *per capita*. Nas colunas (3) e (6) consideram-se variáveis endógenas, além das variáveis supracitadas, o PIB agropecuário (proporção), ln Assentamento. Os erros padrão robustos são apresentados entre parênteses. *** significativo a 1%; ** significativo a 5%; * significativo a 10%.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Inicialmente, é feito o teste de Sargan para testar a validade conjunta dos instrumentos. Pelos resultados do teste, a hipótese nula de que a correlação entre os erros e os instrumentos seja zero não foi rejeitada, exceto para a especificação da coluna (1), ao nível de 5% de significância. Assim, pode-se concluir que os instrumentos utilizados são válidos e robustos.

O resultado da variável dependente defasada indica que a *proporção da área de vegetação secundária* no período atual é positivamente relacionada com a *proporção de vegetação secundária no período anterior*, quando são considerados todos os municípios. Os coeficientes estimados variaram entre 0,4674 e 0,4807 para a especificação, considerando todos os municípios. Esses resultados indicam que um aumento de 1% na proporção de vegetação secundária no ano anterior levaria a um aumento, em média, entre 0,4674% e 0,4807% na proporção de área de vegetação secundária no ano atual. Esse resultado confirma os resultados obtidos na primeira parte desse estudo, sobre as mudanças no uso da terra, que mostram que a área de vegetação secundária persiste no tempo. Assim, os municípios que apresentam alto percentual de vegetação secundária tendem a permanecer com altas proporções dessa vegetação ao longo do tempo.

Ao tratar a endogeneidade das variáveis, verifica-se que o parâmetro do *índice de preço agrícola* torna-se significativo. O *índice de preço agrícola* está negativamente relacionado com a *proporção de área de vegetação secundária*. Os coeficientes estimados variam entre -0,0478 a -0,0839 nas diferentes especificações. Esses resultados indicam que o aumento de um ponto no índice de preço agrícola provoca redução, em média, entre 4,78% e 8,39% na proporção de vegetação secundária. Assim, quanto maior o preço dos produtos agrícolas, maior será a pressão para a substituição da vegetação secundária por área agrícola. Segundo Barbier e Burgess (1997), os preços agrícolas são utilizados no processo de tomada de decisão sobre a alocação ótima da conversão de terras florestais em agrícola. Assim, quanto maior o índice de preço dos produtos agrícolas, maior será a expansão das áreas agrícolas sobre as áreas de floresta primária e secundária.

O parâmetro do *índice de preço do extrativismo* é significativo apenas para uma especificação mais enxuta, em que o índice responde endogenamente à regeneração florestal. O *índice de preço do extrativismo* apresenta relação positiva com a *proporção de vegetação secundária*. Os resultados indicam que o aumento de um ponto no *índice de preço do extrativismo* provoca aumento de 1,83% na *proporção de vegetação*

secundária. Isso mostra tendência de preservação da vegetação secundária quando se aumenta o preço dos produtos extrativos. Segundo Barbier e Burgess (1997), o valor dos produtos do extrativismo, em oposição aos benefícios decrescentes do ecossistema, influencia na decisão do proprietário de reflorestar a área desmatada.

A Tabela 11 mostra o modelo de determinantes da *proporção de vegetação secundária*, considerando o *número de multas* estimado por GMM. Os modelos são estimados considerando a especificação de amostra irrestrita nas colunas de (1) a (3) e as especificações para a amostra restrita nas colunas de (4) a (6). O modelo é estimado adicionando como variável de controle a *vegetação secundária defasada*. O modelo é estimado para especificações mais restritas nas colunas (1) e (4) e nas demais colunas adicionam-se como variáveis de controle o *PIB agropecuário (proporção)* e a *área de assentamento rural*. Nas colunas (1), (2), (4) e (5), consideram-se como variáveis endógenas *ln densidade crédito rural*, *ln intensidade número de multas*, *índice de preço do extrativismo* e *ln PIB per capita*. Ademais, nas colunas (3) e (6), consideram-se como variáveis endógenas, além das variáveis supracitadas, *PIB agropecuário (proporção)* e *ln assentamento*.

Tabela 11 – Determinantes da proporção de vegetação secundária, considerando o número de multas, estimado por GMM

Variável	Coeficiente					
	Todos (1)	Todos (2)	Todos (3)	>10% (4)	>10% (5)	>10% (6)
l. ln Veg. sec. (proporção)	0,4201*** (0,1023)	0,4422*** (0,1301)	0,3926*** (0,1171)	0,0641 (0,0786)	0,1594 (0,1046)	0,0608 (0,0922)
ln Densidade crédito rural	-0,1017 (0,0658)	-0,1283 (0,0993)	-0,0944 (0,0632)	0,0697 (0,0559)	-0,0032 (0,0622)	0,0185 (0,0457)
ln Intensidade nº multas	0,2248* (0,1391)	0,1923 (0,1470)	0,1164 (0,1019)	-0,1459 (0,1150)	0,0461 (0,0864)	-0,0192 (0,0722)
Índice preços agrícola	-0,0156 (0,0412)	0,0099 (0,0458)	-0,0178 (0,0320)	-0,0629 (0,0418)	0,0021 (0,0280)	-0,0326 (0,0306)
Índice preços extrativismo	-0,0142 (0,0127)	-0,0278* (0,0149)	-0,0148 (0,0144)	0,0088 (0,0091)	-0,0144* (0,0078)	-0,0057 (0,0087)
ln Rebanho bovino	-0,0455 (0,0488)	-0,0342 (0,0603)	-0,0114 (0,0498)	-0,0330 (0,0377)	-0,0610* (0,0335)	-0,0413 (0,0349)
Intensidade rebanho bovino	-0,0367 (0,0466)	-0,0598 (0,0676)	-0,0435 (0,0557)	0,0284 (0,0349)	0,0118 (0,0408)	0,0238 (0,0328)
ln PIB <i>per capita</i>	-1,2128 (1,0484)	-3,7988*** (1,4535)	-1,4847** (0,7049)	0,7913 (0,8104)	-1,5347* (0,9067)	-0,0904 (0,4487)
PIB agropecuário (proporção)		2,5609* (1,4707)	1,2157 (2,2394)		1,0046 (0,8876)	0,0059 (1,4184)
ln Assentamento		0,0939 (0,1609)	0,6826 (0,5552)		0,0810 (0,1100)	0,5837** (0,2886)
Efeito fixo ano	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Nº observações	1251	1030	1030	1022	844	844
Teste Sargan (p-valor)	0,0160	0,8858	0,1515	0,1063	0,1084	0,0500

Nota: Todos os modelos são estimados por GMM. Nas colunas (1), (3), (4) e (6), são variáveis exógenas: Índice de preços agrícolas, ln Rebanho bovino, Intensidade rebanho bovino. Nas colunas (2) e (5), são variáveis exógenas, além das variáveis supracitadas, PIB Agropecuário (proporção) e ln Assentamento. Nas colunas (1), (2), (4) e (5), consideram-se variáveis endógenas: ln Densidade crédito rural, ln Intensidade do número das multas, Índice de preço do extrativismo, ln PIB *per capita*. Nas colunas (3) e (6), consideram-se variáveis endógenas, além das variáveis supracitadas, PIB agropecuário (proporção), ln Assentamento. Os erros padrão robustos são apresentados entre parênteses. *** significativo a 1%; ** significativo a 5%; * significativo a 10%.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Pelo teste de Sargan, a hipótese nula de que a correlação entre os erros e os instrumentos seja zero não é rejeitada, exceto para a especificação da coluna (1) ao nível de 5% de significância. Esses resultados comprovam a validade e a robustez dos instrumentos utilizados.

A variável *proporção de vegetação secundária defasada* está positivamente relacionada com a *proporção de vegetação secundária contemporânea*. Os parâmetros estimados variam entre 0,3926 e 0,4422 para a especificação, considerando todos os

municípios. Esses resultados indicam que o aumento de 1% na proporção de vegetação secundária no ano anterior levaria ao aumento, em média, entre 0,3926% e 0,4422% na proporção de vegetação secundária no ano presente. Tendo como referência esses resultados, conclui-se que a área de vegetação secundária persiste no tempo, ou seja, os municípios que apresentam elevada cobertura de regeneração florestal tendem a permanecer com altas proporções dessa vegetação.

A *intensidade do número de multas* apresenta relação positiva com a *proporção de vegetação secundária*, indicando que o aumento de 1% na intensidade do número de multas provoca uma elevação, em média, de 0,2248% na proporção de vegetação secundária, quando considerados todos os municípios. O parâmetro da intensidade do número de multas foi significativo, em relação ao modelo base, ao controlar a endogeneidade da variável.

O *índice de preço do extrativismo* está negativamente relacionado com a *proporção de vegetação secundária*, quando esta variável é considerada endógena. Os coeficientes estimados estão entre -0,0144 e -0,0278 nas diferentes especificações. Esses resultados indicam que o aumento de um ponto no índice de preço do extrativismo provoca redução, em média, entre 1,44% e 2,78% na proporção de vegetação secundária. Esse resultado indica uma relação inconclusiva entre o índice de preço do extrativismo e a proporção de vegetação secundária. Segundo Barbier e Burgess (1997), a decisão de reflorestar é influenciada pela comparação entre o valor da madeira escassa em oposição aos benefícios decrescentes do ecossistema. Entretanto, embora haja uma rígida legislação ambiental que impõe restrições à extração de madeira, o bioma Amazônia ainda não passa por escassez de madeira.

O tamanho do *rebanho bovino* apresenta relação negativa com a *proporção de vegetação secundária*, em que o parâmetro estimado foi de -0,0610, para amostra restrita aos municípios com mais de 10% de floresta preservada. Esse resultado indica que o aumento de 1% no tamanho do rebanho bovino reduz a proporção de vegetação secundária, em média, 0,0610%. Isso mostra que o tamanho do rebanho bovino exerce pressão sobre as áreas de vegetação secundária.

De modo geral, verifica-se que o controle da potencial endogeneidade das variáveis pelo Método dos Momentos Generalizados possibilitou identificar a importância do valor de uso da terra, bem como a influência das políticas públicas e outros condicionantes socioeconômicos na decisão de uso da terra, como vegetação secundária. Os resultados indicam que uso da terra com vegetação secundária persiste

ao longo do tempo, ou seja, municípios com elevada taxa de regeneração florestal tendem a preservar essas áreas. Os resultados da pesquisa também evidenciam que os agentes econômicos tomam como base o valor de uso relativo da terra, representado pelo índice de preços agrícola, e do extrativismo, em suas decisões sobre a alocação do uso da terra. Assim, o aumento dos preços agrícolas estimula os agentes econômicos a expandir as áreas agrícolas sobre a floresta secundária. Por outro lado, a elevação dos preços dos produtos extrativistas estimula a preservação das áreas de vegetação secundária. Os resultados também evidenciam que as políticas ambientais, representadas pelo número de multas aplicadas pelo IBAMA, têm sido eficientes no combate ao desmatamento ilegal, bem como têm favorecido a regeneração florestal na região. Por fim, identificou-se que a pecuária exerce importante pressão sobre as áreas de vegetação secundária.

5.2.4. Controlando a endogeneidade das variáveis - método de variáveis instrumentais

Nessa seção, o modelo de determinantes da proporção de vegetação secundária foi estimado pelo método de variáveis instrumentais para tratar a potencial endogeneidade presente na variável *intensidade do valor das multas e intensidade do número de multas*. Para isso, utilizou-se o instrumento proposto por Hargrave e Kis-Katos (2013), que considera como variável instrumental a *média do valor das multas estaduais* aplicadas pelo IBAMA, com exceção das multas aplicadas no próprio município.

A Tabela 12 apresenta os modelos dos determinantes da proporção de vegetação secundária no bioma Amazônia, estimados por variável instrumental (VI). As estimativas por variável instrumental, em seu primeiro estágio, estão apresentadas nas colunas (2) e (5), em que, pelo F-estatístico, verifica-se que o instrumento está fortemente correlacionado com a variável endógena *intensidade do valor das multas*, confirmando a validade do instrumento. Os coeficientes importantes para a análise são apresentados nas colunas (3) e (6) e representam o segundo estágio das variáveis instrumentais, após o tratamento da endogeneidade. Para servir como base de comparação, são apresentados nas colunas (1) e (4) os coeficientes estimados por Mínimos Quadrados Generalizados, desconsiderando a potencial endogeneidade presente entre as variáveis.

Tabela 12 - Determinantes da proporção de vegetação secundária, considerando o valor das multas, estimado por variável instrumental

Variável	Coeficiente					
	Todos	Todos	Todos	>10%	>10%	>10%
	MQG	VI 1º Estágio	VI 2º Estágio	MQG	VI 1º Estágio	VI 2º Estágio
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ln Intensidade multas	0,0055* (0,0030)		0,0492*** (0,0179)	0,0058** (0,0023)		0,0185 (0,0145)
ln Densidade crédito rural	-0,0526*** (0,0087)	0,0497 (0,0935)	-0,0253** (0,0101)	-0,0371*** (0,0076)	0,0708 (0,0917)	-0,0204** (0,0092)
Índice preços agrícola	-0,0054 (0,0102)	0,0334 (0,1680)	-0,0208 (0,0181)	-0,0062 (0,0100)	-0,0188 (0,1674)	-0,0260 (0,0166)
Índice preços extrativismo	0,0026** (0,0011)	-0,0207* (0,0115)	0,0008 (0,0013)	0,0002 (0,0009)	-0,0259** (0,0116)	0,0004 (0,0012)
ln Rebanho bovino	-0,1500*** (0,0161)	0,8397*** (0,2544)	-0,0475 (0,0306)	-0,1602*** (0,0159)	0,8424*** (0,2390)	-0,0624** (0,0260)
Intensidade rebanho bovino	0,0236 (0,0259)	0,2072 (0,1762)	-0,0439** (0,0193)	0,0509*** (0,0173)	0,1362 (0,1794)	0,0189 (0,0180)
ln PIB <i>per capita</i>	-0,0504 (0,0366)	0,6341 (0,5348)	-0,0484 (0,0578)	-0,1070*** (0,0365)	0,5200 (0,5262)	-0,0472 (0,0523)
PIB agropecuário (proporção)	-0,1337 (0,1277)	-2,4727 (1,7203)	-0,1315 (0,1893)	-0,1017 (0,1196)	-1,8701 (1,7167)	-0,1554 (0,1716)
ln Assentamento	0,0744*** (0,0126)	0,2648 (0,2860)	0,0031 (0,0311)	0,0574*** (0,0113)	0,2646 (0,2656)	0,0097 (0,0266)
Instrumento multas		0,4366*** (0,0729)			0,5220*** (0,0761)	
Constante	4,1813*** (0,2292)	-12,0310** (4,8290)	3,6452*** (0,4940)	4,4320*** (0,2203)	-12,7205*** (4,4994)	3,7247*** (0,4193)
Efeito fixo ano	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Nº observações	2077	1827	1827	1693	1597	1597
Teste F para instrumentos		F(12,1815) = 4,99***			F(12,1585) = 5,48***	
R ²	0,2822	0,0526		0,3673	0,2428	

Nota: Todos os modelos são estimados por MQG, com variável instrumental (VI): colunas (2) e (5) constituem a regressão por VI, 1º estágio e, colunas (3) e (6) constituem a regressão de VI, 2º estágio. As colunas (1) e (4) referem-se à estimação por MQG, desconsiderando a presença de endogeneidade. Os erros padrão robustos são apresentados entre parênteses. *** significativo a 1%; ** significativo a 5%; * significativo a 10%.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

A intensidade do valor das multas apresenta relação positiva com a proporção de vegetação secundária na especificação com todos os municípios. O resultado indica que, quando a intensidade do valor das multas aumenta em 1%, a proporção de vegetação secundária se eleva, em média, 0,0492%. O parâmetro da intensidade do

valor das multas apresentou expressivo aumento em sua magnitude após o tratamento da endogeneidade. Esse fato indica que, ao se implementar o instrumento *intensidade do valor das multas estaduais*, é gerado aumento no efeito do valor das multas sobre a proporção de vegetação secundária, quando considerados todos os municípios. Por outro lado, o parâmetro estimado para a variável não apresentou significância estatística para amostra restrita aos municípios com mais de 10% de floresta preservada.

A *densidade de crédito rural* apresentou redução na magnitude de seus parâmetros estimados para as especificações, considerando todos os municípios, assim como ao considerar apenas municípios com mais de 10% de floresta. O *rebanho bovino* foi outra variável que apresentou redução na magnitude de seus parâmetros para amostra restrita aos municípios com mais de 10% de floresta preservada.

Outras variáveis deixam de apresentar relação com a *proporção de vegetação secundária*, sendo elas o *índice de preço do extrativismo*, o *PIB per capita* e a *área de assentamento rural*.

Alternativamente, na Tabela 13, são apresentadas as estimativas por variáveis instrumentais dos condicionantes da *proporção de vegetação secundária*, quando considerado o *número de multas*. As estimações por variáveis instrumentais, primeiro estágio, são apresentadas nas colunas (2) e (5). Pelo F-estatístico, confirma-se a validade dos instrumentos utilizados por apresentarem forte correlação com a variável endógena *intensidade do número de multas*. Os coeficientes da estimação de variáveis instrumentais, em seu segundo estágio, são apresentados nas colunas (3) e (6). Nas colunas (1) e (4), são apresentadas os coeficientes estimados por Mínimos Quadrados Generalizados, desconsiderando a possível endogeneidade dos dados.

Tabela 13 - Determinantes da proporção de vegetação secundária, considerando o número de multas, estimado por variável instrumental

Variável	Coeficiente					
	Todos	Todos	Todos	>10%	>10%	>10%
	MQG	VI	VI	MQG	VI	VI
	1º Estágio	2º Estágio		1º Estágio	2º Estágio	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ln Intensidade nº multas	0,0103 (0,0134)		0,0031 (0,0315)	0,0252** (0,0110)		-0,0319 (0,0294)
ln Densidade crédito rural	-0,0529*** (0,0085)	0,0554*** (0,0168)	-0,0449*** (0,0096)	-0,0386*** (0,0075)	0,0521*** (0,0166)	-0,0356*** (0,0093)
Índice preços agrícola	-0,0053 (0,0103)	-0,0457** (0,0215)	-0,0137 (0,0120)	-0,0056 (0,0100)	-0,0523** (0,0230)	-0,0102 (0,0127)
Índice preços extrativismo	0,0025** (0,0011)	-0,0026 (0,0019)	0,0016 (0,0010)	0,0000 (0,0009)	-0,0023 (0,0019)	0,0003 (0,0011)
ln Rebanho bovino	-0,1470*** (0,0157)	0,0493* (0,0256)	-0,1381*** (0,0142)	-0,1567*** (0,0155)	0,0619** (0,0255)	-0,1448*** (0,0138)
Intensidade rebanho bovino	0,0233 (0,0260)	0,0386 (0,0257)	0,0138 (0,0144)	0,0491*** (0,0174)	0,0064 (0,0264)	0,0402*** (0,0145)
ln PIB <i>per capita</i>	-0,0435 (0,0364)	0,2711*** (0,0646)	-0,0697* (0,0366)	-0,1054*** (0,0367)	0,2584*** (0,0666)	-0,1103*** (0,0370)
PIB agropecuário (proporção)	-0,1415 (0,1281)	-1,3522*** (0,2405)	-0,0883 (0,1383)	-0,0908 (0,1205)	-1,3138*** (0,2476)	-0,1257 (0,1385)
ln Assentamento	0,0773*** (0,0128)	0,1077*** (0,0227)	0,0590*** (0,0123)	0,0599*** (0,0112)	0,0988*** (0,0241)	0,0592*** (0,0130)
Instrumento nº multas		0,2285*** (0,0130)			0,2598*** (0,0139)	
Constante	4,1551*** (0,2303)	-2,7432*** (0,4074)	4,3614*** (0,2138)	4,4215*** (0,2193)	-2,7202*** (0,4257)	4,3950*** (0,2234)
Efeito fixo ano	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Nº observações	2077	1827	1827	1693	1597	1597
Teste F para instrumentos		F(12,1815) = 20,50***			F(12,1585) = 21,92***	
R ²	0,2788	0,3294		0,3663	0,3669	

Nota: Todos os modelos são estimados por MQG, com variável instrumental (VI): colunas (2) e (5) constituem a regressão por VI, 1º estágio, e colunas (3) e (6) constituem a regressão de VI, 2º estágio. As colunas (1) e (4) referem-se à estimação por MQG, desconsiderando a presença de endogeneidade. Os erros padrão robustos são apresentados entre parênteses. *** significativo a 1%; ** significativo a 5%; * significativo a 10%.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

A variável *intensidade do número de multas* passa a não apresentar relação com a *proporção de vegetação secundária*, quando considerados os municípios com mais de 10% de floresta. Ao fazer o tratamento da *intensidade do número de multas* pelo instrumento *intensidade do número de multas estaduais*, deixa de existir o efeito do

número de multas sobre a proporção de vegetação secundária, quando considerada a amostra dos municípios com mais de 10% de floresta preservada.

A variável *densidade de crédito rural* teve redução na magnitude de seus parâmetros estimados para as amostras irrestrita e restrita. Outra alteração que cabe destaque refere-se à variável *índice de preços do extrativismo*, que passa a não apresentar relação estatística com a *proporção de vegetação secundária*, quando considerados todos os municípios.

O *PIB per capita*, quando considerados todos os municípios, passa a apresentar significância estatística. Assim, o *PIB per capita* apresenta relação positiva com a *proporção de vegetação secundária*.

Em síntese, os resultados dos modelos de determinantes da vegetação secundária, ao controlar a endogeneidade por variáveis instrumentais, identificaram que tanto as políticas públicas de autuação sobre o desmatamento e de concessão de crédito rural como a atividade pecuária exercem importante influência sobre as áreas de vegetação secundária. A política ambiental de autuação sobre o desmatamento ilegal, pela aplicação de multas, tem favorecido o aumento das áreas de regeneração florestal. Por outro lado, a política de concessão de crédito rural a taxas subsidiadas tem provocado distorções no mercado por gerar alterações no valor de uso da terra e favorecer a expansão da agropecuária sobre as áreas em regeneração. Do mesmo modo, os resultados indicam que a pecuária continua a exercer importante pressão sobre as áreas de vegetação secundária.

6. RESUMO E CONCLUSÕES

O bioma Amazônia apresenta complexa dinâmica na alocação dos usos da terra e da cobertura florestal. Embora nos últimos anos o desmatamento da Amazônia venha sendo foco intenso de debate e da formulação de políticas públicas, observa-se que 22,8% da área desmatada, entre 1988 e 2014, está em processo de regeneração, com crescimento de vegetação secundária. Portanto, embora o desmatamento de floresta primária constitua grave problema ambiental, esse fenômeno pode ser amenizado se, na dinâmica de alocação de usos da terra, parte considerável da área desmatada volte a se regenerar.

Diante do acelerado processo de desmatamento da Amazônia, em 2004 o governo federal implantou o Plano de Ações para a Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal (PPCDAm), constituído de um conjunto de ações de combate ao desmatamento. Com a implantação desse plano de ações, verifica-se drástica redução na taxa de desmatamento da região. Aliado a esse fato, observa-se que a vegetação secundária vem sendo o uso da que mais tem se expandido no bioma Amazônia. No período entre 2004 e 2014, as áreas de uso no bioma Amazônia aumentaram em 148,5 mil km². Nesse período, a área de vegetação secundária aumentou em 72,7 mil km², ou seja, 48,9% do aumento da área total de uso foi proveniente do aumento da regeneração florestal.

Neste sentido, o presente estudo procurou analisar a dinâmica das mudanças no uso da terra e da cobertura florestal do bioma Amazônia. Além disso, buscou-se identificar o efeito das políticas ambientais e dos condicionantes socioeconômicos sobre a proporção de vegetação secundária da região. Partiu-se da pressuposição de que a atual dinâmica do uso da terra tem possibilitado que considerável parte da área previamente desmatada volte a se regenerar. Além disso, pressupõe-se que as políticas de combate ao desmatamento ilegal estejam tendo seus efeitos transbordados para as áreas de regeneração florestal.

Esse estudo está fundamentado na visão teórica de que a transição florestal é um processo de longo prazo, em que o declínio da área de floresta primária é substituído pela regeneração florestal. Esse fenômeno é tratado por um modelo microeconômico de tomada de decisão sobre a alocação ótima do uso da terra, segundo seu valor de uso. Entretanto, esse processo de tomada de decisão sobre as mudanças no uso da terra e o momento da transição florestal podem sofrer interferência de falhas de mercado, políticas e fatores institucionais.

Metodologicamente, utilizou-se o modelo de vetores auto-regressivos, com dados em painel (PVAR), que permitiu identificar o padrão de mudanças no uso da terra e, tendo-o como referência, estimar projeções futuras do uso da terra. Além disso, foram utilizados modelos de dados em painel, que permitiram identificar o efeito das políticas públicas e dos condicionantes socioeconômicos sobre a área de regeneração florestal. Ademais, esses modelos foram estimados pelo Método de Momentos Generalizados e por variáveis instrumentais para controlar a potencial endogeneidade das variáveis.

Inicialmente, pelo modelo de mudanças do uso da terra, identificou-se que a pastagem continuará sendo o principal uso da terra no bioma Amazônia. Além disso, verificou-se que as áreas de vegetação secundária continuarão aumentando, ou seja, as áreas de floresta primária desmatadas, no longo prazo, voltarão a se regenerar. Ademais, verifica-se tendência de elevação da área agrícola.

Ao tratar especificamente das áreas de vegetação secundária, verifica-se que os determinantes da *proporção de vegetação secundária* do bioma Amazônia são *densidade de crédito rural, intensidade do valor das multas e do número de multas, índice de preço do extrativismo, tamanho do rebanho bovino, intensidade de rebanho bovino, PIB per capita* e *área de assentamento*. Esses resultados mostram que, embora a concessão de crédito rural a juros subsidiados esteja condicionada ao atendimento da legislação ambiental, esse crédito tende a aumentar a demanda por terras em áreas de vegetação secundária. Já a política de combate ao desmatamento ilegal feita pelo IBAMA tem provocado efeitos positivos, tanto no aumento das áreas de floresta primária, quanto em floresta secundária. Ademais, o rebanho bovino ainda provoca importante pressão sobre as áreas de regeneração florestal.

Ao controlar a potencial endogeneidade das variáveis por GMM, obtêm-se, como condicionantes da *proporção de vegetação secundária*, os fatores *proporção de vegetação secundária defasada, intensidade do número de multas, índice de preços agrícolas, índice de preços do extrativismo, tamanho do rebanho bovino, PIB per capita, PIB agropecuário (proporção)* e *área de assentamento*. As estimativas sobre a proporção de área de vegetação secundária defasada confirmam os resultados obtidos no modelo de mudanças do uso da terra, em que a área de vegetação secundária persiste ao longo do tempo. O índice de preços agrícola foi estatisticamente significativo, indicando que aumentos em tais preços reduzem as áreas de vegetação secundária.

O modelo dos determinantes da regeneração florestal também foi estimado pelo método de variável instrumental para controlar a potencial endogeneidade da variável

multa. Nesse caso, verificou-se aumento na magnitude do parâmetro *valor das multas*, indicando que o efeito da referida variável poderia estar sendo subestimado nos modelos anteriores.

De modo geral, os resultados obtidos permitem concluir que há tendência de elevação das áreas de vegetação secundária do bioma Amazônia, assim como da área agrícola. Os resultados também permitem afirmar que as áreas de pastagem continuarão sendo o principal uso da terra na região.

Em relação aos determinantes da regeneração florestal, as variáveis que provocam maior efeito sobre as áreas de vegetação secundária são a política de combate ao desmatamento ilegal através da aplicação de multas, a concessão de crédito rural, bem como os preços agrícolas e do extrativismo, o tamanho e a intensidade do rebanho bovino.

REFERÊNCIAS

- 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, 2007.
- AGUIAR, A.P.D.; VIEIRA, I.C.G.; ASSIS, T.O.; DALLA-NORA, E.L.; TOLEDO, P.M.; SANTOS-JUNIOR, R.A.O.; BATISTELLA, M.; COELHO, A.S.; SAVAGET, E.K.; ARAGÃO, L.E.O.C.; NOBRE, C.A.; OMETTO, J.P.H. **Land use change emission scenarios: anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon.** *Global Change Biology*, v. 22, n. 5, 2016.
- ALSTON, L.J.; LIBECAP, G.D.; MUELLER, B. **Land reform policies, the sources of violent conflict, and implications for deforestation in the Brazilian Amazon.** *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 39, n. 2, 2000.
- ANDERSEN, L.E.; GRANGER, C.W.J.; REIS, E.J. **A random coefficient VAR transition model of the changes in land use in the Brazilian Amazon.** *Revista de Econometria: Rio de Janeiro* v.17, n.1, 1997.
- ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, D. **Rethinking the causes of deforestation: lessons from economic models.** *World Bank Research Observer*, v. 14, n. 1, 1999.
- ARAÚJO, C.; BONJEAN, C.A.; COMBES, J.L.; MOTEL, P.C.; REIS, E.J. **Property rights and deforestation in the Brazilian Amazon.** *Ecological Economics*, v. 68, n. 8–9, 2009.
- ARELLANO, M.; BOND, S. **Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations.** *Review of Economic Studies*, n. 58, 1991.
- ASSUNÇÃO, J.J.; GANDOUR, C.C.; ROCHA, R.C.B. **DETERring deforestation in the Brazilian Amazon: environmental monitoring and law enforcement.** Climate Policy Initiative, 2013. Disponível em: <<http://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2013/05/DETERring-Deforestation-in-the-Brazilian-Amazon-Environmental-Monitoring-and-Law-Enforcement-Technical-Paper.pdf>>. Acesso em: dez. 2014.
- ASSUNÇÃO, J.J.; GANDOUR, C.C.; ROCHA, R.C.B. **Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: prices or policies?** *Environment and Development Economics*, v. 20, n. 6, 2015.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL - BCB. **Anuário estatístico do crédito rural.** Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?RELRURAL>>. Acesso em: mar. 2016.
- BARBIER, E.B.; BURGESS, J.C. **Economic analysis of tropical forest land use options.** *Land Economics*, v. 73, n. 2, p. 174–195, 1997.
- 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.; GRAINGER, A. **The forest transition: towards a more comprehensive theoretical framework**. *Land Use Policy*, v. 27, n. 2, p. 98–107, 2010.
- BARBIER, E.B.; DELACOTE, P.; WOLFERSBERGER, J. **The economic analysis of the forest transition: a review**. *Journal of Forest Economics*. v. 27, 2017.
- 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.
- BECKER, B.K. **Amazônia**. São Paulo: Editora Ática, 1998.
- BINSWANGER, H.P. **Brazilian policies that encourage deforestation in the Amazon**. *World Development*. v. 19, n. 7, 1991.
- BOWMAN, M.S.; SOARES-FILHO, B.S.; MERRY, F.D.; NEPSTAD, D.C.; RODRIGUES, H.; ALMEIDA, O.T. **Persistence of cattle ranching in the Brazilian Amazon: a spatial analysis of the rationale for beef production**. *Land Use Policy*, v. 29, n. 3, 2012.
- BREUSCH, T.S.; PAGAN, A.R. **The lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics**. *Review of Economic Studies*, v. 47, 1980.
- BROWN, S.; LUGO, A.E. **Tropical secondary forests**. *Journal of Tropical Ecology*, v. 6, p. 1–32, 1990.
- CAMERON, A.C.; TRIVEDI, P.K. **Microeconometrics: methods and applications**. Cambridge University Press, 2005.
- CASTRO, E. **Dinâmica socioeconômica e desmatamento na Amazônia**. *Novos Cadernos NAEA*, Belém, v. 8, n. 2, 2005.
- CHAZDON, R.L.; COE, F.G. **Ethnobotany of woody species in second growth, old growth, and selectively logged forests of northeastern Costa Rica**. *Conservation Biology*, v. 13, n. 6, p. 1312-1322, 1999.
- COSTA, F.A. **Questão agrária e macropolíticas para a Amazônia**. São Paulo: Estudos Avançados, v. 19, n. 53, 2005.
- DIAS, L.C.P.; PIMENTA, F.M.; SANTOS, A.B.; COSTA, M.H.; LADLE, R.J. **Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture**. *Global Change Biology*, v. 22, n. 8, 2016.
- DIAS-FILHO, M.B. **Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira**. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, p. 243-252, 2011.
- FEARNSIDE, P.M.; GUIMARAES, W.M. **Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia**. *Forest Ecology and Management*, v. 80, n. 1-3, p. 35–46, 1996.
- FEARNSIDE, P.M. **Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences**. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, 2005.

FERREIRA, M.D.P. **Impactos dos preços das commodities e das políticas governamentais sobre o desmatamento na Amazônia Legal**. 2011. 90f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

FERREIRA, M.D.P. **Climate change, farm size and land use in Brazilian Legal Amazon**. 2015. 92f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

FERREIRA, M.D.P.; COELHO, A.B. **Desmatamento recente nos estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais**. Piracicaba-SP: Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 53, n. 1, 2015.

FONTES, F.; PALMER, C. **Was von Thünen right? Cattle intensification and deforestation in Brazil**. Disponível em: <<http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2017/01/Working-paper-261-Fontes-Palmer-1.pdf>>. Acesso em: jun. 2017.

GASCÓN, C.; MOUTINHO, P. **Floresta Amazônica: dinâmica, regeneração e manejo**. Manaus: INPA, 1998.

GIBBS, H.K.; RAUSCH, L.; MUNGER, J.; SCHELLY, I.; MORTON, D.C.; NOOJIPADY, P.; SOARES-FILHO, B.; BARRETO, P.; MICOL, L.; WALKER, N.F. **Brazil's Soy Moratorium**. Science, v. 347, n. 6220, 2015.

GRAINGER, A. **The forest transition: an alternative approach**. Area, v. 27, n. 3, p. 242–251, 1995.

GRAINGER, A. **The bigger picture – tropical forest change in context, concept and practice**. In: NAGENDRA, H.; SOUTHWORTH, J. Reforesting Landscapes: linking pattern and process. Berlin: Springer, 2008.

GREENE, W.H. **Econometric analysis**. 7 ed. Pearson, 2012.

GUJARATI, D.N. **Econometria básica**. 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

HADDAD, N.M.; BRUDVIG, L.A.; CLOBERT, J.; DAVIES, K.F.; GONZALEZ, A.; HOLT, R.D.; et al. **Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems**. Science Advances, v. 1, n. 2, 2015.

HANSEN, L.P. **Large sample properties of generalized method of moments estimators**. Econometrica, v. 50, n. 4, 1982.

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.

HOUGHTON, R.A.; SKOLE, D.L.; NOBRE, C.A.; HACKLER, J.L.; LAWRENCE, K.T.; CHOMENTOWSKI, W.H. **Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon**. Letters to Nature, v. 403, n. 6767, p. 301-304, 2000.

HSIAO, C. **Analysis of panel data**. Econometric Society Monographs. 3 ed. USA: Cambridge University Press, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Autuações ambientais e embargos**. Disponível em: <<https://servicos.ibama.gov.br/ctf/publico/areasembargadas/ConsultaPublicaAreasEmbargadas.php>>. Acesso em: jan. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Relatório de gestão do exercício de 2014**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/relatorios_de_gestao/relatorio_de_gestao_d_o_ibama_exercicio_2014.pdf>. Acesso em: fev. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Vocabulário básico de recursos naturais e meio ambiente**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativas de população**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2008/default.shtm>>. Acesso em: jun. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa pecuária municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PP&z=t&o=24>>. Acesso em: mar. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp>>. Acesso em: jun. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=VS&z=t&o=29>>. Acesso em: mar. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Fronteira agrícola: Amazônia Legal**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15976-fronteira-agricola-amazonia-legal.html>>. Acesso em: jun. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Geociências - Áreas especiais: Amazônia Legal**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/amazonialegal.shtm?c=2>>. Acesso em: jan. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produto interno bruto dos municípios**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/PIBMun/default.asp>>. Acesso em: mar. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA. **Painel dos assentamentos - PAs na Amazônia Legal**. Disponível em: <<http://painel.incra.gov.br/sistemas/index.php>>. Acesso em: mar. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Projeto de monitoramento do desmatamento na Amazônia Legal por satélite (PRODES)**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em: mar. 2017.

JAKOVAC, C.C.; PEÑA-CLAROS, M.; KUYPER, T.W.; BONGERS, F. **Loss of secondary-forest resilience by land-use intensification in the Amazon**. *Journal of Ecology*, v. 103, n. 1, 2015.

JOHNSON, C.M.; VIEIRA, I.C.G.; ZARIN, D.J.; FRIZANO, J.; JOHNSON, A.H. **Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazonia**. *Forest Ecology and Management*, v. 147, n. 2-3, p. 245–252, 2001.

KOHLHEPP, G. **Conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia brasileira**. São Paulo: Estudos Avançados, v. 16, n. 45, 2002.

LAMB, D.; PARROTA, J.; KEENAN, R.; TUCKER, N. **Rejoining habitat remnants: restoring degraded rainforest lands**. In: LAURANCE, W.F.; BIERREGAARD JR., R.O. *Tropical Forest Remnants*. Chicago, IL: University of Chicago Press, p. 366–385, 1997.

LAMBIN, E.F.; MEYFROIDT, P. **Land use transitions: socio-ecological feedback versus socio-economic change**. *Land Use Policy*, v. 27, n. 2, 2010.

MACEDO, M.N.; DEFRIES, R.S.; MORTON, D.C.; STICKLER, C.M.; GALFORD, G.L.; SHIMABUKURO, Y.E. **Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s**. *PNAS*, v. 109, n. 4, 2012.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia brasileira**. Brasília: Banco Mundial, 2003.

MATHER, A.S. **The forest transition**. *Area*, v. 24, n. 4, 1992.

MATHER, A.S. **Recent Asian forest transitions in relation to forest-transition theory**. *International Forestry Review*, v. 9, n. 1, p. 491–501, 2007.

MATHER, A.S.; NEEDLE, C.L. **The relationships of population and forest trends**. *Geographical Journal*, v. 166, p. 2–13, 2000.

MELLO, A.Y.I.; ALVES, D.S. **Secondary vegetation dynamics in the Brazilian Amazon based on thematic mapper imagery**. *Remote Sensing Letters*, v. 2, n. 3, 2011.

MENDONÇA, M.J.; LOUREIRO, P.R.A.; SACHSIDA, A. **The dynamics of land-use in Brazilian Amazon**. *Ecological Economics*, v. 84, 2012.

MERRY, F.; SOARES-FILHO, B. **Will intensification of beef production deliver conservation outcomes in the Brazilian Amazon?** *Elementa: Science of the Anthropocene*, v. 5, n. 24, 2017.

MESQUITA, R.C.G.; ICKES, K.; GANADE, G.; WILLIAMSON, G.B. **Alternative successional pathways in the Amazon Basin**. *Journal of Ecology*, v. 89, n. 4, 2001.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - MCTI. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília: MCTI, 2014. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0235/235580.pdf>. Acesso em: mai. 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): 3ª fase (2012-2015)** pelo uso sustentável e conservação da floresta. Brasília: MMA, 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Macrozoneamento ecológico-econômico da Amazônia Legal**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/zoneamento-territorial/macrozee-da-amazonia-legal>>. Acesso em: jun. 2017.

MORTON, D.C.; DEFRIES, R.S.; RANDERSON, J.T.; GIGLIO, L.; SCHROEDER, W.; VAN DER WERF, G.R. **Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazonia**. *Global Change Biology*, v. 14, n. 10, 2008.

NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; STICKLER, C.; ALENCAR, A.; AZEVEDO, A.; SWETTE, B.; BEZERRA, T.; DIGIANO, M.; SHIMADA, J.; MOTTA, R.S.; ARMIJO, E.; CASTELLO, L.; BRANDO, P.; HANSEN, M.C.; MCGRATH-HORN, M.; CARVALHO, O.; HESS, L. **Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains**. *Science*, v. 344, n. 6188, 2014.

OLIVEIRA, J.A.P. **Property rights, land conflicts and deforestation in the Eastern Amazon**. *Forest Policy and Economics*, v. 10, n. 5, 2008.

OLIVEIRA, R.C.; ALMEIDA, E.; FREGUGLIA, R.S.; BARRETO, R.C.S. **Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: uma análise da curva de Kuznets ambiental para a Amazônia legal**. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 49, n. 3, 2011.

PACHECO, P. **Agrarian reform in the Brazilian Amazon: its implications for land distribution and deforestation**. *World Development*, v. 37, n. 8, 2009.

PARÁ (ESTADO). **INSTRUÇÃO NORMATIVA nº 08**, de 28 de outubro de 2015. Diário Oficial do Estado do Pará, DOE 33.003, Belém-PA, 2015.

PEDROSO JÚNIOR, N.N.; MURRIETA, R.S.S.; ADAMS, C. **A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação**. Belém-PA: Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Humanas, v. 3, n. 2, 2008.

PERZ, S.G.; SKOLE, D.L. **Secondary forest expansion in the Brazilian Amazon and the refinement of Forest Transition Theory**. *Society and Natural Resources*, v. 16, p. 277–294, 2003a.

PERZ, S.G.; SKOLE, D.L. **Social determinants of secondary forests in the Brazilian Amazon**. *Social Science Research*, v. 32, 2003b.

PFÄFF, 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, 1999.

PFÄFF, 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.

PFÄFF, A.; WALKER, R. **Regional interdependence and forest “transitions”: substitute deforestation limits the relevance of local reversals.** *Land Use Policy*, v. 27, n. 2, 2010.

POORTER, L.; BONGERS, F.; AIDE, T.M.; ZAMBRANO, A.M.A.; BALVANERA, P.; BECKNELL, J.M.; et al. **Biomass resilience of Neotropical secondary forests.** *Nature*, v. 530, n. 7589, 2016.

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. **Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia.** *Belo Horizonte: Nova Economia*, v. 19, n. 1, 2009.

RUDEL, T.; COOMES, O.T.; MORAN, E.; ACHARD, F.; ANGELSEN, A.; XU, J.; LAMBIN, E. **Forest transitions: towards a global understanding of land use change.** *Global Environmental Change*, v. 15, p. 23–31, 2005.

RUDEL, T.K.; SCHNEIDER, L.; URIARTEC, M. **Forest transitions: an introduction.** *Land Use Policy*, v. 27, p. 95–97, 2010.

SALDARRIAGA, J.G.; WEST, D.C.; THARP, M.L.; UHL, C. **Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela.** *Journal of Ecology*, v. 76, n. 4, p. 938–958, 1988.

SALOMÃO, R.P.; VIEIRA, I.C.G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; AMARAL, D.D.; SANTANA, A.C. **Sistema capoeira classe: uma proposta de sistema de classificação de estágios sucessionais de florestas secundárias para o estado do Pará.** *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Ciências Naturais*, v. 7, n. 3, 2012.

SLOAN, S. **The development-driven forest transition and its utility for REDD+.** *Ecological Economics*, v. 116, 2015.

TERRACLASSS. **Mapeamento do uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira.** Disponível em: <http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php>. Acesso em: dez. 2014.

WALKER, R. **Theorizing land-cover and land-use change: the case of tropical deforestation.** *International Regional Science Review*, v. 27, n. 3, p. 247–270, 2004.

WEINHOLD, D. **Estimating the loss of agricultural productivity in the Amazon.** *Ecological Economics*, v. 31, n. 1, 1999.

WEINHOLD, D.; REIS, E. **Transportation costs and the spatial distribution of land use in the Brazilian Amazon.** *Global Environmental Change*, v. 18, n. 1, 2008.

ANEXOS

Tabela 1A – Classes de uso da terra definidos no projeto TerraClass e sua correspondência com o padrão LCCS

Classes	Tipo de classe	Padrão horizontal	Padrão vertical
<p>AGRICULTURA ANUAL (áreas extensas com predomínio de culturas de ciclo anual, sobretudo de grãos, com o emprego de padrões tecnológicos elevados, tais como uso de sementes certificadas, insumos, defensivos e mecanização, entre outros).</p>	Simples/ Pura	<ul style="list-style-type: none"> • Monocultura; • Cobertura de 100%; • Ocorrência de 100%; • Padrões verticais: 2. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrato arbustivo com presença opcional de vegetação cultivada e manejada, com distribuição contínua. • Estrato herbáceo com presença opcional de vegetação cultivada e manejada com distribuição contínua.
<p>ÁREA NÃO OBSERVADA (áreas que tiveram sua interpretação impossibilitada pela presença de nuvens ou sombra de nuvens, no momento de passagem para aquisição de imagens de satélite, além das áreas recentemente queimadas).</p>	Não se aplica		
<p>ÁREA URBANA (manchas decorrentes da concentração populacional formada por lugarejos, vilas ou cidades que apresentam infraestrutura diferenciada da área rural apresentando adensamento de arruamentos, casas, prédios e outros equipamentos públicos).</p>	Simples/ Pura	<ul style="list-style-type: none"> • Urbano; • Padrões verticais: 1. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presença mandatória de superfície construída com cobertura de 100%.
<p>FLORESTA (área de floresta primária, da Amazônia Legal não alterada)</p>	Simples/ Pura	<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura florestal com dossel dominante; • Cobertura: 70 – 100%; • Ocorrência: 100%; • Padrões verticais: 3. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrato arbóreo com árvores de folhas latifoliadas, não decíduas (ou sempre verde) e presença mandatória de árvores com cobertura entre 70 a 100%, indivíduos com altura entre 15 e 60 metros. • Estrato arbustivo com árvores de folhas latifoliadas, não decíduas (sempre verde) e presença mandatória de árvores com cobertura entre 10 e 30%, e indivíduos com altura entre 3 e 15 metros • Estrato herbáceo com gramíneas de presença mandatória com cobertura entre 60 e 90%, e indivíduos com altura entre 1 a 2 metros.

Continua...

Tabela 1A – Classes de uso da terra definidos no projeto TerraClass e sua correspondência com o padrão LCCS

Classes	Tipo de classe	Padrão horizontal	Padrão vertical
HIDROGRAFIA	Simples/ Pura	<ul style="list-style-type: none"> • Águas superficiais: 100% de cobertura; • Padrões verticais: 1. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verticalmente representado por rios, lagos e represas, com presença mandatória de corpos de água com 100% de cobertura.
MINERAÇÃO (áreas de extração mineral com a presença de clareiras e solos expostos, envolvendo desflorestamentos nas proximidades de águas superficiais).	Simples/ Pura	<ul style="list-style-type: none"> • Mineração e garimpo; • Padrões verticais: 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Presença mandatória de mineração e garimpo, com cobertura de 100%.
MOSAICO DE OCUPAÇÕES (áreas representadas por uma associação de diversas modalidades de uso da terra e que devido à resolução espacial das imagens de satélite não é possível uma discriminação entre seus componentes. Nesta classe, a agricultura familiar é realizada de forma conjugada ao subsistema de pastagens para a criação tradicional de gado).	Mista (agricultura familiar, pasto limpo, pasto sujo, regeneração com pasto)		
OUTROS (áreas que não se enquadram nas chaves de classificação e apresentam padrão de cobertura diferenciada de todas as classes do projeto, tais como afloramentos rochosos, praias fluviais, bancos de areia entre outros).	Não se aplica		
PASTO COM SOLO EXPOSTO (áreas que, após o corte raso da floresta e o desenvolvimento de alguma atividade agropastoril, apresentam uma cobertura de pelo menos 50% de solo exposto).	Simples/ Pura	<ul style="list-style-type: none"> • Pasto; • Cobertura: 100%; • Ocorrência: 80 a 90%; • Áreas de erosão; • Cobertura: 100%; • Ocorrência: 10 a 20%; • Padrões verticais: 2. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrato herbáceo, com presença mandatória de gramíneas e cobertura entre 80 a 100%. • Presença mandatória de solo exposto, com cobertura entre 10 e 20%.

Continua...

Tabela 1A – Classes de uso da terra definidos no projeto TerraClass e sua correspondência com o padrão LCCS

Classes	Tipo de classe	Padrão horizontal	Padrão vertical
<p>PASTO LIMPO (áreas de pastagem em processo produtivo com predomínio de vegetação herbácea, e cobertura de espécies de gramíneas entre 90 e 100%).</p>	Simples/ Pura	<ul style="list-style-type: none"> • Pasto; • Cobertura: 100%; • Ocorrência: 100%; • Padrões verticais: 2. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrato herbáceo composto por gramíneas, com presença mandatória de gramínea e cobertura entre 90 e 100%.
<p>PASTO SUJO (áreas de pastagem em processo produtivo com predomínio de vegetação herbácea e cobertura de espécies de gramíneas entre 50 e 80%, associado à presença de vegetação arbustiva esparsa com cobertura entre 20 e 50%).</p>	Simples/ Pura	<ul style="list-style-type: none"> • Pasto sujo; • Cobertura: 100%; • Ocorrência: 100%; • Padrões verticais: 2. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrato arbustivo, com presença mandatória de arbustos e cobertura de 20 a 50%. • Estrato herbáceo, com presença mandatória de gramíneas, com cobertura de 50 a 80%.
<p>REGENERAÇÃO COM PASTO (área que, após o corte raso da vegetação natural e o desenvolvimento de alguma atividade agropastoril, encontra-se no início do processo de regeneração da vegetação nativa, apresentando dominância de espécies arbustivas e pioneiras arbóreas. Áreas caracterizadas pela alta diversidade de espécies vegetais).</p>	Simples/ Pura	<ul style="list-style-type: none"> • Regeneração em estágio inicial (presença mandatória); • Padrões verticais: 3. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrato arbóreo com presença opcional de árvores, com cobertura entre 0 e 15%. • Estrato arbustivo com presença mandatória de arbustos naturais ou seminaturais com presença mandatória, cobertura entre 40 e 70% e indivíduos com altura entre 0,5 e 5 metros. • Estrato gramíneo representado por pasto com presença mandatória e cobertura entre 30 e 60%
<p>VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA (área que após a supressão total da vegetação florestal, encontra-se em processo avançado de regeneração da vegetação arbustiva e/ ou arbórea ou que foram utilizadas para a prática de silvicultura ou agricultura permanente com uso de espécies nativas ou exóticas).</p>	Simples/ Pura	<ul style="list-style-type: none"> • Crescimento secundário; • Cobertura de 80 a 100%; • Ocorrência de 100%; • Padrões verticais: 3. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrato arbóreo representado por floresta plantada (reflorestamento comercial), com cobertura entre 80 a 100% e por árvores plantadas (cultura permanente), com cobertura de 30 a 100% e indivíduos com altura entre 2 e 20 metros, ambos com presença opcional. • Estrato arbustivo representado por vegetação natural ou seminatural (regeneração) de arbustos com presença mandatória e cobertura entre 50 e 80%.

Fonte: TERRACLASS (2014).

Tabela 2A – Tamanho das áreas de uso e cobertura da terra na Amazônia Legal e parcelas de uso, nos anos de 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014

Classes de uso	Área (km ²)					Parcela (%)				
	2004	2008	2010	2012	2014	2004	2008	2010	2012	2014
Agricultura anual	18.354	34.927	39.978	42.346	45.050	3,00	4,90	5,40	5,60	5,90
Mosaico de ocupações	16.284	24.417	17.963	9.590	16.256	2,70	3,40	2,40	1,30	2,10
Reflorestamento*	-	-	3.015	3.176	2.922	0,00	0,00	0,40	0,40	0,40
Pasto limpo	306.039	335.715	339.852	345.420	377.470	49,80	47,40	45,90	46,00	49,60
Pasto sujo	55.250	62.824	56.077	50.472	60.199	9,00	8,90	7,60	6,70	7,90
Regeneração com pasto	60.641	48.027	63.165	46.468	42.028	9,90	6,80	8,50	6,20	5,50
Pasto com solo exposto	106	594	373	43	63	0,00	0,10	0,10	0,00	0,00
Vegetação secundária	100.674	150.815	165.229	172.190	173.387	16,40	21,30	22,30	22,90	22,80
Área urbana	2.579	3.818	4.474	5.341	6.010	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
Mineração	799	731	967	1.049	1.272	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20
Outros	4.637	478	2.731	6.113	7.752	0,80	0,10	0,40	0,80	1,00
Área não observada	48.566	45.406	45.849	69.132	30.056	7,90	6,40	6,20	9,20	4,00
Total da área de uso	613.928	707.752	739.673	751.340	762.464	100	100	100	100	100

Nota: * A classe reflorestamento começou a ser mapeada a partir do ano de 2010.

Fonte: TERRACLASS/INPE, com dados trabalhados pelo autor