**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Análise da expansão da fronteira agrícola e do desflorestamento no bioma
Amazônia dos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia**

Daniel Furlan Amaral

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba
2018**

Daniel Furlan Amaral
Bacharel em Ciências Econômicas

**Análise da expansão da fronteira agrícola e do desflorestamento no bioma
Amazônia dos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia**
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOAQUIM BENTO DE SOUZA FERREIRA FILHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Amaral, Daniel Furlan

Análise da expansão da fronteira agrícola e do desflorestamento no bioma Amazônia dos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia / Daniel Furlan Amaral. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2018.

125 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Agricultura 2. Bioma Amazônia 3. Desflorestamento 4. Sustentabilidade I. Título

DEDICATÓRIA

Dedico às minhas avós Armelinda e Izolina (*in memoriam*) pelos exemplos de vidas conduzidas com doçura, retidão e firmeza.

AGRADECIMENTOS

A Deus, Pai Todo Poderoso, a Jesus Cristo e ao Espírito Santo, por tudo.

Aos meus pais, Egydio e Sonia, à Débora, minha esposa, e a Paulo e Luzia, pelo amor e incentivos.

Aos Professores Joaquim Bento e André Chagas, pela amizade, orientação e confiança.

Ao Carlo Lovatelli, Fabio Trigueirinho, André Nassar e a todos os colegas da ABIOVE, pelo estímulo e ajuda.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Economia da ESALQ/USP, pelos ensinamentos.

Aos amigos Bernardo Rudorff, Joel Risso, Marcos Adami e Walber Torres, cujo suporte, confiança e paciência foram fundamentais para a execução deste trabalho.

Aos Professores Paul Elhorst, da Universidade de Groningen, Holanda, e Jesús Mur, da Universidade de Zaragoza, Espanha, pelos atenciosos comentários e gentil suporte.

À Cristiane Mazzetti e aos colegas do Greenpeace Brasil, pelo apoio.

Aos amigos Débora Simões, Guilherme Hirata, Leonardo Zilio, Luciano Rodrigues, Márcio Nappo e Aurélia pelas excelentes sugestões e contribuições.

Aos amigos Alice, Mari, Leandro, Gustavo, Mirian, Angel, Dienice e André pela amizade e companheirismo.

A todas as pessoas que me ajudaram nessa jornada desafiadora, meus sinceros agradecimentos.

EPÍGRAFE

“⁶Então o lobo será hóspede do cordeiro, a pantera se deitará ao pé do cabrito, o touro e o leão comerão juntos, e um menino pequeno os conduzirá; ⁷a vaca e o urso se fraternizarão, suas crias repousarão juntas, e o leão comerá palha com o boi. ⁸A criança de peito brincará junto à toca da víbora, e o menino desmamado meterá a mão na caverna da áspide. ⁹Não se fará mal nem dano em todo o meu santo monte, porque a terra estará cheia de ciência do Senhor, assim como as águas recobrem o fundo do mar”. Isaías, 11:6-9

*“Louvado sejas, meu Senhor,
Pela irmã Água,
Que é mui útil e humilde
E preciosa e casta”.*

*“Louvado sejas, meu Senhor,
Por nossa irmã a mãe Terra
Que nos sustenta e governa,
E produz frutos diversos
E coloridas flores e ervas”.*

*“Bem-aventurados os que sustentam a paz,
Que por ti, Altíssimo, serão coroados”.*

São Francisco de Assis, Cântico do Irmão Sol – Cântico das Criaturas

Alto Paraíso de Goiás (GO). Foto: Daniel Furlan Amaral.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
RESUMEN	11
RIASSUNTO	12
КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ	13
摘要	14
RÉSUMÉ	15
1. INTRODUÇÃO	17
Referências	20
2. DINÂMICA DO USO DO SOLO NOS MUNICÍPIOS DE MATO GROSSO, PARÁ E RONDÔNIA	33
Resumo	33
Abstract	33
2.1 Introdução	34
2.2 Objetivo	38
2.3 Revisão de literatura	38
2.4 Bases de dados e metodologia	45
2.4.1 Uma breve discussão sobre as metodologias disponíveis para a análise	45
2.4.1.1 Metodologia e estimação econométrica	47
2.4.2 Base de dados	48
2.5 Resultados e discussão	55
2.6 Conclusões	58
Referências	60
3. OCUPAÇÃO DE SOJA EM DESFLORESTAMENTOS DO BIOMA AMAZÔNIA DOS ESTADOS DE MATO GROSSO, PARÁ E RONDÔNIA	75
Resumo	75
Abstract	75
3.1 Introdução	76
3.2 Objetivo	81
3.3 Revisão de literatura	81
3.4 Metodologia e base de dados	88
3.4.1 Uma breve discussão sobre as opções metodológicas disponíveis	88
3.4.2 Metodologia e estimação econométrica	90
3.4.3 Base de dados	93

3.5	Resultados e discussão	100
3.5.1	Base de dados	100
3.5.2	Modelo e estimativas.....	101
3.5.3	Análise da produtividade agrícola.....	106
3.6	Conclusões	108
	Referências	110
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	122

RESUMO

Análise da expansão da fronteira agrícola e do desflorestamento no bioma Amazônia dos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia

A geração de excedentes agrícolas sustentou o crescimento populacional dos últimos 10.000 anos. Historicamente, a relação entre produção de alimentos e número de habitantes foi vista como positiva, mesmo quando em detrimento do meio ambiente. Desde o século XIX, o questionamento sobre a disponibilidade de oferta suficiente para atender o aumento da população foi afastado com a abertura de novas terras, o desenvolvimento de técnicas e tecnologias inovadoras e a intensificação do comércio internacional. Porém, novas preocupações surgiram, notadamente a capacidade de suporte do planeta frente ao aumento da produção, seus impactos sobre a biodiversidade e as emissões de Gases de Efeito Estufa. Esses elementos modificaram a percepção sobre as consequências do crescimento econômico sem a observância de condicionantes socioambientais e ensejaram negociações internacionais com o objetivo de propor soluções para esse problema. O Brasil, detentor de vastas extensões de florestas, tornou-se central nas discussões, nas quais obteve avanços com a efetiva consolidação do conceito de desenvolvimento equilibrado. Contudo, pouco se evoluiu na compensação aos países em desenvolvimento pelas externalidades geradas ao planeta pelos ativos ambientais. A despeito desse fato, houve significativas melhorias na proteção ao meio ambiente no Brasil com a aprovação de legislação restritiva à abertura de novas áreas, programas governamentais e estrutura burocrática voltada à sua implementação, além de ferramentas para o dimensionamento do uso e ocupação do solo no bioma Amazônia. A partir dessas informações, foram analisados econometricamente por painéis espaciais dois temas pertinentes à relação entre a fronteira agrícola e o desflorestamento nos municípios do bioma Amazônia dos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia. No primeiro, foram estimados os condicionantes dos usos da terra, no qual se concluiu que as políticas e os instrumentos públicos, eficazes na redução das taxas de desflorestamento, não atuaram de forma eficiente na intensificação e melhor aproveitamento do uso da terra, em particular das pastagens, e da melhoria das condições econômicas e sociais da região. Também se observou que a valorização dos produtos florestais tem efeitos positivos sobre as áreas de vegetação. No segundo, foi estimada a relação entre a expansão da área de soja e as ações de políticas públicas e setoriais. As conclusões são de que a redução da participação de plantios nos desflorestamentos após 2006 se deu, em primeiro lugar, pela queda das taxas de desflorestamento, a qual diminuiu a abertura de novas áreas disponíveis para a soja, e foi, em seguida, complementada pela restrição de compra pelas empresas signatárias da Moratória da Soja. Os setores público e privado, portanto, agiram em conjunto para que os cultivos de soja passassem a representar percentual pequeno das novas áreas desflorestadas. A partir desses dois estudos, conclui-se que o desenvolvimento da agricultura da região depende de políticas públicas coordenadas que promovam o uso mais intensivo das lavouras e pastagens e o fortalecimento de pagamentos por serviços ambientais para conservação e preservação dos recursos naturais. Dada a forte dependência espacial, recomenda-se que as ações sejam direcionadas de forma mais homogênea entre os municípios a fim de potencializar seus efeitos.

Palavras-chave: Agricultura; Bioma Amazônia; Desflorestamento; Sustentabilidade

ABSTRACT

Analysis of the expansion of the agricultural frontier and deforestation in the Amazon Biome in the states of Mato Grosso, Pará and Rondônia

The generation of agricultural surpluses has sustained population growth for the last 10,000 years. Historically, the relationship between food production and the number of inhabitants was seen as positive, even when it was at the expense of the environment. Since the nineteenth century, the question of having a sufficient food supply to meet population growth has been averted by opening new lands, developing innovative techniques and technologies, and intensifying international trade. However, new concerns have emerged: notably the planet's capacity to support increased food production, its impacts on biodiversity and greenhouse gas emissions. These elements have modified perceptions about the consequences of economic growth without observing socio-environmental constraints, and have led to international negotiations that aim to propose solutions to this problem. Brazil, which has vast tracts of forests, has become central to these discussions, in which it has made progress with the effective consolidation of the concept of balanced development. However, little progress has been made in compensating developing countries for the externalities their environmental assets generate for the planet. In spite of this fact, there were significant improvements in the protection of Brazil's environment, with the approval of legislation restricting the opening of new areas, government programs and bureaucratic structures for their implementation, and tools for ascertaining land use and occupation of the Amazon Biome. Based on this information, two topics pertaining to the relationship between the agricultural frontier and deforestation in the municipalities of the Amazon Biome in the states of Mato Grosso, Pará and Rondônia were econometrically analyzed by spatial panels. In the first topic, land use determinants were estimated, with the conclusion that the policies and public instruments that effectively reduced deforestation rates have not been as efficient in intensifying and improving land use, especially pastures, and in improving the region's social and economic conditions. Appreciation of forest products has also had a positive effect on areas of vegetation. In the second, the relationship between soybean acreage expansion and the actions of public and sector policies was estimated, concluding that the reduction in the share of plantings in deforestation rates after 2006 was primarily due to the fall in deforestation rates, which reduced the opening of new areas for soybeans, and this was complemented by the restrictions imposed on purchases by the companies signing the Soy Moratorium. The public and private sectors, therefore, acted together so that soybean crops would represent a small percentage of newly deforested areas. Based on these two studies, the conclusion is that development of agriculture in the region depends on coordinated public policies that promote a more intensive use of crops and pastures, and the strengthening of payments for environmental services related to the conservation and preservation of natural resources. Given the strong spatial dependence, actions should be directed more homogeneously among the municipalities in order to maximize their effects.

Keywords: Agriculture; Amazon Biome; Deforestation; Sustainability

RESUMEN

Análisis de la expansión de la frontera agrícola y de la deforestación en el bioma Amazonia de los estados de Mato Grosso, Pará y Rondônia

La generación de excedentes agrícolas ha sostenido el crecimiento poblacional de los últimos 10.000 años. Históricamente, la relación entre producción de alimentos y número de habitantes fue vista como positiva, incluso cuando ocurrió a expensas del medio ambiente. Desde el siglo XIX, la cuestión de tener un suministro de alimentos suficiente para atender el aumento de la población fue alejado con la apertura de nuevas tierras, el desarrollo de técnicas y tecnologías innovadoras y la intensificación del comercio internacional. Sin embargo, nuevas preocupaciones surgieron, especialmente la capacidad del planeta frente al aumento de la producción, sus impactos sobre la biodiversidad y las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos elementos modificaron la percepción sobre las consecuencias del crecimiento económico sin observar las limitaciones socioambientales y llevaron a negociaciones internacionales con el objetivo de proponer soluciones a este problema. Brasil, poseedor de vastas extensiones de bosques, se ha convertido en centro de las discusiones, en las cuales obtuvo avances con la efectiva consolidación del concepto de desarrollo equilibrado. Sin embargo, poco se ha evolucionado en la compensación a los países en desarrollo por las externalidades generadas al planeta por sus activos ambientales. No obstante, hubo significativas mejoras en la protección al medio ambiente en Brasil con la aprobación de legislación restrictiva a la apertura de nuevas áreas, programas gubernamentales y estructura burocrática destinada a su implementación, además de herramientas para el dimensionamiento del uso y ocupación del suelo en bioma Amazonia. A partir de esas informaciones, fueron analizados económicamente por paneles espaciales dos temas pertinentes a la relación entre la frontera agrícola y la deforestación en los municipios del bioma Amazonia de los estados de Mato Grosso, Pará y Rondônia. En el primero, se estimaron los condicionantes de los usos de la tierra, en el que se concluyó que las políticas y los instrumentos públicos, eficaces en la reducción de las tasas de deforestación, no actuaron de forma eficiente en la intensificación y mejor aprovechamiento del uso de la tierra, especialmente de los pastos, y en la mejora de las condiciones económicas y sociales de la región. También se observó que la valorización de los productos forestales tiene efectos positivos sobre las áreas de vegetación. En el segundo, se estimó la relación entre la expansión del área de soja y las acciones de políticas públicas y sectoriales. Las conclusiones son que la reducción de la participación de siembras en las deforestaciones después de 2006 se produjo en primer lugar por la caída de las tasas de deforestación, la cual disminuyó la apertura de nuevas áreas disponibles para la soja, y fue complementada por la restricción de adquisición comercial del producto por las empresas signatarias de la Moratoria de la Soja. Los sectores público y privado, por lo tanto, actuaron en conjunto para que los cultivos de soja pasasen a representar un porcentaje pequeño de las nuevas áreas deforestadas. A partir de estos dos estudios, se concluye que el desarrollo de la agricultura de la región depende de políticas públicas coordinadas que promuevan el uso más intensivo de los cultivos y pasturas y el fortalecimiento de pagos por servicios ambientales para la conservación y preservación de los recursos naturales. En razón de la fuerte dependencia espacial, se recomienda que las acciones sean dirigidas de forma más homogénea entre los municipios a fin de potenciar sus efectos.

Palabras clave: Agricultura; Bioma Amazonia; Deforestación; Sostenibilidad

RIASSUNTO

Analisi dell'espansione della frontiera agricola e della deforestazione nel bioma Amazzonia negli stati del Mato Grosso, Pará e Rondônia

La generazione di surplus agricolo diede supporto alla crescita della popolazione negli ultimi 10.000 anni. Storicamente, il rapporto tra produzione di alimenti e il numero di abitanti fu visto come positivo, anche se a sfavore dell'ambiente. Dal XIX secolo, la discussione sulla disponibilità di offerta sufficiente ad esaudire le necessità dell'aumento della popolazione fu messa da parte con l'apertura di nuove terre, lo sviluppo di tecniche e tecnologie innovatrici e l'intensificazione del commercio internazionale. Tuttavia, nuove preoccupazioni sorgono, soprattutto sulla sostenibilità del pianeta di fronte all'incremento della produzione, le sue conseguenze sulla biodiversità e le emissioni di gas serra. Questi elementi hanno modificato la percezione sugli effetti della crescita economica senza l'osservanza delle condizioni socio-ambientali e hanno dato luogo a trattative internazionali con lo scopo di proporre delle soluzioni per la problematica. Il Brasile, detentore di ampie estensioni di foreste, ha un ruolo centrale nelle discussioni, a riguardo delle quali ha ottenuto avanzamenti con l'effettiva consolidazione del concetto dello sviluppo sostenibile. Poco, però, si è evoluto nelle compensazioni per i Paesi in via di sviluppo sugli effetti esterni causati al pianeta dai beni ambientali. Malgrado questo, ci sono stati importanti miglioramenti per quanto riguarda la protezione all'ambiente in Brasile con l'approvazione della legislazione che restringe l'apertura di nuove zone, programmi governamentali e strutture burocratiche rivolte alla sua implementazione, oltre a strumenti per il dimensionamento dell'uso e dell'occupazione del suolo nel bioma Amazzonia. Partendo da queste informazioni, sono stati analizzati econometricamente da panel spaziali due temi riguardanti la relazione tra la frontiera agricola e la deforestazione nei comuni del bioma Amazzonia degli stati di Mato Grosso, Pará e Rondônia. Nel primo caso, sono state stimate le condizioni dell'uso della terra, da cui si conclude che le politiche e gli strumenti pubblici, efficaci nella riduzione della deforestazione, non sono stati significanti nell'intensificazione e migliore uso della terra, in particolare nei pascoli, e nel miglioramento delle condizioni economiche e sociali del territorio. Si è anche osservato che la valorizzazione dei prodotti forestali hanno effetti positivi sulle zone di vegetazione. Nel secondo caso, è stato stimato il rapporto tra l'espansione dell'area coltivata a soia e le azioni delle politiche pubbliche e settoriali. Le conclusioni sono che la riduzione della partecipazione delle piantagioni nella deforestazione dopo il 2006 si ha, in primo luogo, grazie al calo dei tassi di deforestazione, che ha diminuito l'apertura di nuove zone disponibili per la coltivazione della soia e, in seguito, complementata dalla restrizione all'acquisto dalle aziende firmatarie della Moratoria della Soia. I settori pubblico e privato, così, hanno operato in collaborazione perché la coltivazione della soia rappresentasse una piccola percentuale delle nuove aree di deforestazione. A partire di questi due studi, si conclude che lo sviluppo dell'agricoltura della regione dipende da politiche pubbliche coordinate che promuovano l'uso più intensivo delle piantagioni e dei pascoli e gli incentivi per i pagamenti di servizi ambientali per la conservazione e preservazione delle risorse naturali. Prendendo in considerazione la forte dipendenza spaziale, si consiglia che le azioni siano operate in modo più omogeneo tra i comuni perché i loro effetti siano potenzializzati.

Parole-chiave: Agricoltura; Bioma Amazzonia; Deforestazione; Sostenibilità

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ

Анализ расширения границ сельскохозяйственных угодий и обезлесение в биоме дождевых лесов Амазонии в штатах Мату-Гросу, Пара и Рондония

Избыточное производство сельскохозяйственной продукции поддерживало рост населения в течение последних 10 000 лет. Исторически, соотношение между численностью населения и производством продуктов питания оценивалось положительно, несмотря на ущерб, наносимый окружающей среде. С XIX века вопрос о количестве продовольствия, необходимом для удовлетворения нужд растущего населения был отодвинут на второй план из-за открытия новых земель, развития инновационных методов и технологий, а также роста международной торговли. Однако, вскоре появились новые проблемы, в частности, вопрос о жизнеспособности планеты в условиях роста производства продуктов питания, выбросов парниковых газов и их воздействия на биологическое разнообразие. Эти факторы изменили восприятие последствий экономического роста без учёта экологических ограничений и послужили причиной организации международных переговоров с целью выработки решения данной проблемы. Бразилия, обладая лесной территорией большой протяженности, стала одним из главных участников продуктивных дискуссий, которые привели к созданию концепции сбалансированного развития. К сожалению, был достигнут только небольшой прогресс в плане компенсаций развивающимся странам благ, создаваемых их экологическими активами для планеты. Несмотря на это, также имели место значительные позитивные изменения в деле защиты окружающей среды Бразилии. Речь идёт о принятии ограничительного законодательства о разработке новых земель, правительственных программах и государственных структурах, созданных для его соблюдения, а также о методах расчёта количества используемых и занятых земель в биоме дождевых лесов Амазонии. На базе этой информации с помощью анализа пространственных эконометрических моделей панельных данных были рассмотрены два вопроса о соотношении величин границ земель сельскохозяйственного назначения и рамок обезлесения в муниципалитетах биоме дождевых лесов Амазонии штатов Мату-Гросу, Пара и Рондония. В первом положении были определены ограничения землепользования, суть которых состоит в следующем: несмотря на то, что государственная политика и соответствующие правительственные структуры уменьшили размеры обезлесения, они не смогли эффективно улучшить показатели по продуктивности и максимальному использованию разработанных земельных ресурсов, в частности, пастбищ и изменить к лучшему экономические и социальные условия в регионе. Также было отмечено, что более высокая оценка людьми лесных ресурсов, имеет очевидное положительное влияние на лесную растительность. Во втором положении была произведена оценка взаимосвязи между увеличением площадей под сою с государственной политикой и другими сферами общественной жизни. Подводя вывод, можно отметить уменьшение участия сельскохозяйственных угодий в обезлесении после 2006 года, что объясняется, во-первых, падением показателей по обезлесению, которое уменьшило количество земель, выделяемых под сою, а во-вторых, было дополнено ограничением права на покупку земель компаниями, подписавшими Соевый Мораторий. Государственный и частный секторы, таким образом, вместе направили свои усилия на то, чтобы соевые поля стали занимать меньший процент земель, вырубаемых под сельхозугодья. На базе двух данных исследований можно заключить, что развитие сельского хозяйства в регионе зависит от скоординированных действий правительства и местных властей, которые поощряют более интенсивное использование пахотных земель и пастбищ, а также повышение платежей на экологические услуги по сохранению и защите природных ресурсов. Учитывая, что успешная реализация этой политики зависит от территориального фактора, для достижения наилучших результатов рекомендуется, направить равные общие усилия всех муниципалитетов на решение этой проблемы.

Ключевые слова: Сельское хозяйство; Биом дождевых лесов Амазонии; Обезлесение; Устойчивость окружающей среды

摘要

马托格罗索、帕拉和朗多尼亚州的亚马逊生物群落的森林砍伐和农业边界扩张分析

在过去的10000年，人类人口数量的增长是由农产品的生产来维持的。从历史上看，即使是在不利的环境下，食物的生产与居民数量之间的关系也被认为是积极的。自十九世纪以来，随着对土地的开发、技术的创新与发展以及国际贸易的加强，已经有足够的供给来满足人口增长的问题。然而，又出现了新的担忧，特别是地球对不断增加的产量的支持能力，以及受生物多样性和温室效应的影响。这些因素改变了人们对经济增长的后果的认识，由于人们没有认识到社会环境的局限性，因此旨在解决这一问题，举行了国际谈判。巴西拥有广阔的森林，已成为了讨论的中心，在有效地巩固平衡发展概念方面取得了进展。然而，在对发展中国家对地球外部环境资源作出的补偿方面，进展甚微。尽管如此，巴西在保护环境方面取得了重大进展，除了调整亚马逊生物群系中土地利用和占用之外，又批准了限制新地区开放的立法、拟定了政府计划方案和为此成立了具体实施工作的政府机构。在此基础上，通过空间面板对马托格罗索、帕拉和朗多尼亚州的亚马逊生物群落中的森林砍伐和农业边界的两个主题进行了经济分析。首先，对土地利用状况进行了评估，从中得出结论是：为了有效地减少森林砍伐率而设立的公共政策和措施，并没有使土地更好地被利用，特别是牧场，以及有效改善该地区的经济和社会条件方面。还观察到，森林产品的增值对植被地区有积极的影响。其次，对大豆种植面积的扩大与公共职能部门的政策作用之间的关系进行了评估。得出的结论是，2006年后森林面积减少的主要原因是植树率的下降，从而减少了对大豆的种植的新地区的开放，然后大豆的签约公司发布了限制购买大豆的禁令。因此，公共部门和私营部门共同行动，使得大豆的种植将占新砍伐面积的一小部分。从这两项研究中可以得出结论，该地区农业的发展取决于政府政策的协调，对农作物和草原资源的集中有效的利用，可以有效支付对保护与维护自然资源所做的服务的费用。鉴于这种强烈的空间依赖性，建议市政当局之间应该行动一致，以最大限度地发挥其作用。

关键词: 农业; 亚马逊生物群落; 森林砍伐; 持续性

RÉSUMÉ

Analyse de l'expansion de la frontière agricole et de la déforestation du biome amazonien des États de Mato Grosso, Pará et Rondônia

La génération de surplus agricoles a soutenu la croissance démographique des 10.000 dernières années. Historiquement, la relation entre la production alimentaire et le nombre d'habitants était considérée comme positive, même au détriment de l'environnement. Depuis le XIXe siècle, la question de la disponibilité suffisante de l'offre pour répondre à l'augmentation de la population a été supprimée avec l'ouverture de nouvelles terres, le développement des techniques et des technologies innovantes et l'intensification du commerce international. Cependant, des nouvelles préoccupations sont survenues notamment la capacité de la planète à soutenir une production accrue face à la croissance de production, ses impacts sur la biodiversité et les émissions de gaz à effet de serre. Ces éléments ont modifié la perception des conséquences de la croissance économique sans observer les contraintes socio-environnementales et ont conduit à des négociations internationales visant des solutions à ce problème. Le Brésil, détenteur de vastes étendues de forêts, est devenu un pays central dans ces discussions, en ayant des progrès avec la consolidation effective du concept de développement équilibré. Toutefois, peu de progrès a été réalisé dans la compensation des pays en développement pour les externalités générées par les actifs environnementaux sur la planète. En dépit de ce fait, il y a eu des améliorations significatives en protection de l'environnement au Brésil avec la validation d'une législation restrictive à l'ouverture des nouveaux domaines, des programmes gouvernementaux et de la structure bureaucratique visant à sa mise en œuvre, ainsi que des outils pour dimensionner l'utilisation et l'occupation des terres au biome de l'Amazonie. Dès ces informations, deux thèmes pertinents sur la relation entre la frontière agricole et la déforestation dans les municipalités du biome Amazonie de Mato Grosso, Pará et Rondônia ont été analysés de façon économétrique par des panneaux spatiaux. Dans le premier, les contraintes de l'utilisation des terres ont été estimées, en concluant que les politiques et les outils publics, efficaces pour réduire les taux de déforestation, n'ont pas été suffisants pour intensifier et améliorer l'usage des terres, en particulier les pâturages, et les conditions économiques et sociales de la région. Il a également été observé que la valorisation des produits forestiers avait des effets positifs sur les zones de végétation. Dans le deuxième, la relation entre l'expansion de la zone de soja et les actions des politiques publiques et sectorielles a été aussi estimée. Les conclusions sont que la réduction de la part des plantations de la déforestation, après 2006, a eu lieu d'abord par la baisse des taux de déforestation, ce qui a diminué l'ouverture de nouvelles zones disponibles pour le soja, en étant ensuite complétée par la restriction de l'achat par les sociétés signataires du Moratoire sur le soja. Les secteurs public et privé ont donc agi de concert pour que les cultures de soja représentent un faible pourcentage des nouvelles zones déboisées. A partir de ces deux études, on conclut que le développement de l'agriculture dans la région dépend des politiques publiques coordonnées qui favorisent l'utilisation accrue des cultures et des pâturages et le renforcement de paiement des services environnementaux pour la conservation et la préservation des ressources naturelles. Compte tenu de la forte dépendance spatiale, il est recommandé que les actions soient orientées de manière plus homogène entre les municipalités afin de maximiser leurs effets.

Mots-clés: Agriculture; Le biome amazonien; Déforestation; Durabilité

1. INTRODUÇÃO

“Em todas as obras da natureza existe algo de maravilhoso”.

Aristóteles, Das Partes dos Animais

A agricultura, entendida como a forma organizada de produção vegetal e a criação de animais, é a atividade mais antiga do homem. Foi a chamada Revolução Agrícola, ocorrida no final do período neolítico, que proporcionou ao ser humano a capacidade de se fixar em comunidades e gerou os excedentes necessários para o forte crescimento populacional dos últimos 10.000 anos [1, p. 45]. Paralelamente, esse processo também permitiu a disseminação mais acelerada das técnicas agrícolas, o que tornou o processo endógeno [2, pp. 31–32].

Os primeiros registros da agricultura são datados do cultivo de arroz na China ao redor de 9.000 A.C., a domesticação de animais no Oriente Médio entre 8.000 A.C. e 7.000 A.C. e a disseminação das técnicas de cultivo na Europa a partir dessa data, além dos plantios irrigados nos vales do Nilo, Mesopotâmia e do Indo entre 3.000 e 1.000 A.C. e nos vales e deltas da China, Índia e Sudeste Asiático nos dois milênios seguintes [1, pp. 64–65], [2, pp. 32–35].

As técnicas desenvolvidas durante esse período foram aperfeiçoadas ao longo do tempo e geraram as condições necessárias para o aumento da produtividade agrícola, dando novo suporte ao crescimento populacional. Este, por sua vez, era visto como um sinal de prosperidade econômica e de poder, sendo por isso incentivado pelos governantes. Crescimento agrícola e do número de habitantes, portanto, estavam diretamente relacionados e eram positivamente avaliados. Essa percepção ocorria mesmo quando esse crescimento se dava em detrimento das áreas de florestas, como foi o caso do processo de expansão da área cultivada na Europa durante a Idade Média [2, p. 703].

A partir do século XIX, o crescimento da demanda mundial por produtos agrícolas foi atendido pela abertura e exploração de novas áreas do planeta, particularmente após a década de 1840. Isso foi possível em razão das novas tecnologias de transporte por longas distâncias por ferrovias e navios, dos novos métodos de conservação dos alimentos, em especial da carne, e do aprofundamento do comércio internacional. Esse processo de conversão da vegetação nativa por terras agrícolas se deu em larga escala nas planícies centrais e no Oeste dos EUA, no Sudoeste da Rússia, no Sudeste do Brasil, nas planícies do Sul do Brasil, do

Uruguai e da Argentina e se intensificou também nos países da Europa Central, entre outros países [3, pp. 245–252].

No século XX, os avanços na agricultura proporcionados pelas novas variedades resistentes a doenças e com maior produtividade, melhores fertilizantes e sistemas para controles de pragas [4, pp. 1001–1002], além da difusão do conhecimento técnico especializado, evitou a necessidade ainda maior de novas terras para cultivo e mostrou que a capacidade de oferta da agricultura era crescente, afastando temporariamente os receios de escassez [5, p. 292].

Foi a partir dos anos 1970 que essa relação positiva entre produção e crescimento populacional passou a ser questionada ao ser introduzida a questão ambiental. Dado o forte crescimento da população mundial desde 1750 com a queda das taxas de mortalidade a partir das novas drogas e do aperfeiçoamento dos métodos médicos, nutricionais e sanitários observados especialmente a partir do início do século XX, colocou-se em debate a demanda por recursos naturais e a capacidade do planeta de atendê-la [4, p. 112], [6, pp. 289–291].

A questão ambiental se tornou, dessa forma, um problema a ser solucionado dentro de um horizonte previsível, dado que as novas tecnologias criaram uma capacidade de rápida e intensa transformação do meio ambiente. Quando essa capacidade se associou à perspectiva de continuidade do elevado ritmo de crescimento econômico observado na segunda metade do século XX, formou-se um cenário de consequências negativas irreversíveis para a humanidade. Tornou-se necessário, portanto, buscar formas de crescimento que, no longo prazo, gerassem um equilíbrio sustentável entre a demanda por recursos renováveis consumidos e o efeito dessas atividades humanas no meio ambiente [5, pp. 568–570].

Nesse novo contexto, a relação entre agricultura e meio ambiente entrou em uma nova fase na qual a conversão de florestas nativas, seus danos à biodiversidade e a emissão de Gases de Efeito Estufa com consequências para o aquecimento global foram vistos como nocivos ao homem no longo prazo. As pesquisas passaram a se concentrar em entender a relação entre essas variáveis, estudar formas de aumentar a produtividade e a propor mecanismos institucionais para mitigação dos efeitos negativos da expansão da agricultura sobre o meio ambiente [7], [8].

Nesse quadro, o setor privado é cobrado com relação aos impactos socioambientais da cadeia produtiva, tal como ocorreu com a soja [9], e a adotar ações de governança privada. A respeito da relação com o meio ambiente, também recebem forte atenção outras cadeias

produtivas, a exemplo da mineração, sendo questionada sua expansão quando em desacordo com objetivos do desenvolvimento socioambiental [10].

Sobre o setor público, porém, as exigências da sociedade implicaram profunda reavaliação e reformulação de políticas de forma a oferecer os incentivos e punições adequados para que os agentes econômicos produzam os comportamentos esperados. Contudo, esse processo é longo e, durante a transição, podem ocorrer conflitos entre as políticas antigas em curso e as novas, desenhadas conforme essa nova visão de desenvolvimento [7], [9].

Portanto, a demanda por alimentos decorrente do crescimento da população e da renda mundiais e pela mudança de hábitos alimentares deve ser atendida não somente pela ampliação da oferta, como fora até algumas décadas atrás, mas também em conformidade com as preocupações socioambientais [11]. Esses são desafios que requerem coordenação das políticas públicas e das ações setoriais privadas, investimentos públicos e privados em pesquisa, ciência e tecnologia para aumento da produção, além da redução das perdas na armazenagem e distribuição de produtos.

Sob essa nova ótica da relação entre produção agropecuária e meio ambiente, este trabalho contempla, além desta Introdução, o Capítulo 2, no qual são analisados os fatores econômicos determinantes da dinâmica do uso e ocupação do solo no bioma Amazônia. Para isso, procurar-se-á entender quais políticas e variáveis são relevantes para o crescimento e localização das cadeias produtivas agrícola e pecuária, bem como para a área de vegetação nativa em cada município. Esta análise é de grande interesse para a formulação de políticas públicas, pois estas podem se concentrar nas variáveis mais importantes para a eficiência das ações de estímulo à produção agropecuária e à conservação ambiental.

No Capítulo 3, serão discutidos aspectos relevantes para a expansão da soja no bioma Amazônia, lavoura com a maior área plantada no Brasil e de perfil exportador. Pretende-se com esse estudo mostrar a eficácia das políticas públicas e das ações setoriais, bem como o papel dos diferentes agentes, no estabelecimento da governança que possibilitou a expansão controlada do cultivo no bioma Amazônia. Esses resultados podem ser objeto de reflexão para ações semelhantes que vem sendo planejadas em outras cadeias produtivas no Brasil.

Finalmente, na Conclusão, apresentam-se as considerações finais pertinentes ao trabalho, recomendações de políticas públicas e sugestões de novos trabalhos relacionados ao tema.

Referências

- [1] M. Mazoyer and L. Roudart, *A History of World Agriculture from the Neolithic Age to the Current Crisis*. London, England, 2006.
- [2] J. M. Roberts and O. A. Westad, *The Penguin History of the World*, Sixth edit. London, England: Penguin Books, 2014.
- [3] E. Hobsbawm, *A Era do Capital: 1848-1875*, 5^a edição. Rio de Janeiro, RJ: Paz e Terra, 1996.
- [4] J. M. Roberts, *The Penguin History of the Twentieth Century*. Penguin Books, 1999.
- [5] E. Hobsbawm, *The Age of Extremes: a History of the World, 1914-1991*. New York, USA: Vintage Books, 1996.
- [6] J. P. Holdren and P. R. Ehrlich, “Human Population and the Global Environment: Population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force,” *Am. Sci.*, vol. 62, no. 3, pp. 282–292, 1976.
- [7] P. Moutinho, R. Guerra, and C. Azevedo-Ramos, “Achieving zero deforestation in the Brazilian Amazon: What is missing?,” *Elem. Sci. Anthr.*, vol. 4, p. 000125, 2016.
- [8] L. C. P. Dias, F. M. Pimenta, A. B. Santos, M. H. Costa, and R. J. Ladle, “Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture,” *Glob. Chang. Biol.*, vol. 22, no. 8, pp. 2887–2903, 2016.
- [9] C. A. Silva and M. Lima, “Soy Moratorium in Mato Grosso: Deforestation undermines the agreement,” *Land use policy*, vol. 71, no. November 2017, pp. 540–542, 2018.
- [10] L. J. Sonter, D. Herrera, D. J. Barrett, G. L. Galford, C. J. Moran, and B. S. Soares-Filho, “Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon,” *Nat. Commun.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–7, 2017.
- [11] FAO, *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Rome, 2017.
- [12] MMA, “Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): 3^a fase (2012-2015) - Pelo uso sustentável e conservação da Floresta,” Brasília, DF, 2013.
- [13] A. A. C. do Lago, *Stockholm, Rio, Johannesburg: Brazil and the Three United Nations Conferences on the Environment*. Brasília, DF, 2009.
- [14] L. A. de C. Neves and R. H. Dalaqua, *De Estocolmo72 à Rio+20: uma análise sobre a atuação brasileira nas principais conferências internacionais sobre meio ambiente e desenvolvimento*, vol. Junho, no. Edição especial: caminhos para a sustentabilidade. Rio de Janeiro, RJ, 2012.
- [15] A. A. C. do Lago, *Conferências de Desenvolvimento Sustentável*. Brasília, DF: FUNAG, 2013.
- [16] X. Arnauld de Sartre and R. Taravella, “National sovereignty vs. sustainable development lessons from the narrative on the internationalization of the Brazilian Amazon,” *Polit. Geogr.*, vol. 28, no. 7, pp. 406–415, 2009.
- [17] BRASIL, *Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. 1981.
- [18] BRASIL, *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF, 1988.

- [19] BRASIL, *Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Brasília, DF, 2012.
- [20] BRASIL, *Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965*. Brasília, DF, 1965.
- [21] BRASIL, *Medida Provisória nº 1.511, de 25 de julho de 1996*. Brasília, DF, 1996.
- [22] INPE, “Taxas anuais do desmatamento - 1988 até 2014,” 2015. [Online]. Available: http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2014.htm. [Accessed: 01-Nov-2015].
- [23] C. Santos, “Agronegócio já pode crescer sem desmatar,” *Valor Econômico*, 22-Jun-2016.
- [24] F. de Lorenzo, “Agricultura pode crescer sem prejudicar ambiente, diz Ministério,” *Valor Econômico*, Oct-2010.
- [25] “Área agrícola pode crescer 30 milhões de hectares sem desmatar,” *Revista Dinheiro Rural*, Aug-2014.
- [26] “Produção sem desmatar,” *Agronovas*, 11-Nov-2016.
- [27] “Agronegócio já reconhece que é possível produzir sem desmatar,” *Estadão*, 05-May-2010.
- [28] J. H. Ribeiro, C. Dassie, and C. Fazzio, “Produtores enfrentam o desafio de dobrar a produção sem desmatar,” *Globo Rural*, Nov-2015.
- [29] ACRISSUL, “Brasil lidera produção de soja com recuperação de áreas degradadas,” 21-Jan-2016. [Online]. Available: <http://www.acrissul.com.br/noticias/ver/6922/brasil?lidera?producao?de?soja?com?recuperacao?de?areas?degradadas>. [Accessed: 04-Jul-2016].
- [30] “Recuperação de pastagem evita desmatar novas áreas,” *Canal Rural*, 27-Apr-2015. [Online]. Available: <http://www.canalrural.com.br/noticias/rural?noticias/recuperacao?pastagem?evita?desmatar?novas?areas?56163>. [Accessed: 04-Jul-2016].
- [31] FIESP, “Intensificação da produtividade pecuária pode liberar até 70 mi hectares para agricultura,” 04-Jul-2011. [Online]. Available: <http://www.fiesp.com.br/noticias/intensificacao?da?produtividade?pecuaria?pode?liberar?ate?70?mi?hectares?para?agricultura/>. [Accessed: 04-Jul-2016].
- [32] A. L. Azevedo, “Com 1 boi por hectare , pecuária extensiva degrada cerrado,” *O Globo*, 04-Jul-2015. [Online]. Available: <http://oglobo.globo.com/economia/com-um-boi-por-hectare-pecuaria-extensiva-degrada-cerrado-17490426>. [Accessed: 09-Jul-2016].
- [33] Observatório ABC, “Intensificar pecuária pode liberar 44 milhões de hectares de pastagens,” 10-Dec-2014. [Online]. Available: <http://www.observatorioabc.com.br/intensificar-pecuaria-pode-liberar-44-milhoes-de-hectares-de-pastagens?locale=pt-br>. [Accessed: 09-Jul-2016].
- [34] Observatório ABC, “Em 10 anos , ABC pode poupar 100 milhões de hectares de pastagens,” 04-Apr-2016. [Online]. Available: <https://www.observatorioabc.com.br/em?10?anos?abc?pode?poupar?100?milhoes?de?hectares?de?pastagens?locale=pt?br>. [Accessed: 07-Apr-2016].
- [35] M. B. Dias-Filho, “Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira,” *Rev. Bras. Zootec.*, vol. 40, no. Suplemento especial, pp. 243–252, 2011.

- [36] BRASIL, *Nationally appropriate mitigation actions of developing country Parties*. UNFCCC, 2010.
- [37] BRASIL, *Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*, vol. 9. Brasília, DF, 2015.
- [38] BRASIL, *Lei 12.187*. Brasília, DF, 2009, pp. 1–5.
- [39] BRASIL, *Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010*. Brasília, DF, 2010.
- [40] MAPA, “Plano ABC: histórico,” 2016. [Online]. Available: <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc/historico>. [Accessed: 17-Jul-2016].
- [41] A. Angelsen, “Agricultural expansion and deforestation: modelling the impact of population, market forces and property rights,” *J. Dev. Econ.*, vol. 58, no. 1, pp. 185–218, 1999.
- [42] E. B. Barbier, “The Economics of Tropical Deforestation and Land Use: An Introduction to the Special Issue,” *Land Econ.*, vol. 77, no. 2, pp. 155–171, 2001.
- [43] R. M. Ewers, W. F. Laurance, and C. M. Souza, “Temporal fluctuations in Amazonian deforestation rates,” *Environ. Conserv.*, vol. 35, no. 04, p. 303, 2008.
- [44] D. Byerlee, J. Stevenson, and N. Villoria, “Does intensification slow crop land expansion or encourage deforestation?,” *Glob. Food Sec.*, vol. 3, no. 2, pp. 92–98, 2014.
- [45] J. Godar, T. A. Gardner, E. J. Tizado, and P. Pacheco, “Actor-specific contributions to the deforestation slowdown in the Brazilian Amazon,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 111, no. 43, pp. 15591–15596, 2014.
- [46] FAO, “How to Feed the World in 2050,” *Insights from an Expert Meet. FAO*, vol. 2050, no. 1, pp. 1–35, 2009.
- [47] D. M. Lapola *et al.*, “Pervasive transition of the Brazilian land-use system,” *Nat. Clim. Chang.*, vol. 4, no. 1, pp. 27–35, 2014.
- [48] H. W. Kendall and D. Pimentel, “Constraints on the expansion of the global food supply,” *R. Swedish Acad. Sci.*, vol. 23, no. 3, pp. 198–205, 1994.
- [49] M. B. Dias-Filho, *Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação*, 4^a edição. Belém, PA: MBDF, 2011.
- [50] H. R. Grau and M. Aide, “Globalization and land-use transitions in Latin America,” *Ecol. Soc.*, vol. 13, no. 2, p. 16, 2008.
- [51] INPE, “Projeto Terraclass,” 2016. [Online]. Available: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2010.php. [Accessed: 17-Jul-2016].
- [52] C. A. de Almeida *et al.*, “High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data,” *Acta Amaz.*, vol. 46, no. 3, pp. 291–302, 2016.
- [53] C. E. F. Young, “Public policy and deforestation in the Brazilian Amazon,” *Planej. e Políticas Públicas*, vol. 18, pp. 201–222, 1998.

- [54] J. L. C. Camargo, I. D. K. F. Ferraz, and A. M. Imakawa, "Rehabilitation of degraded areas of Central Amazonia using direct sowing of forest tree seeds," *Restor. Ecol.*, vol. 10, no. 4, pp. 636–644, 2002.
- [55] G. Parayil and F. Tong, "Pasture-led to logging-led deforestation in the Brazilian Amazon: the dynamics of socio-environmental change," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 8, no. 1, pp. 63–79, 1998.
- [56] S. M. Ichihara, "Desmatamento e recuperação de pastagens degradadas na região amazônica: uma abordagem através das análises de projetos," USP. ESALQ., 2003.
- [57] M. F. Simon and F. L. Garagorry, "The expansion of agriculture in the Brazilian Amazon," *Environ. Conserv.*, vol. 32, no. 3, pp. 203–212, 2006.
- [58] J.-L. Arcand, P. Guillaumont, and S. G. Jeanneney, "Deforestation and the real exchange rate," *J. Dev. Econ.*, vol. 86, no. 2, pp. 242–262, 2008.
- [59] S. S. Scrieciu, "Can economic causes of tropical deforestation be identified at a global level?," *Ecol. Econ.*, vol. 62, no. 3–4, pp. 603–612, 2007.
- [60] O. Damette and P. Delacote, "On the economic factors of deforestation: What can we learn from quantile analysis?," *Econ. Model.*, vol. 29, no. 6, pp. 2427–2434, 2012.
- [61] A. J. Peron and A. R. Evangelista, "Degradação de pastagens em regiões de cerrado," *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 28, no. 3, pp. 655–661, 2004.
- [62] C. R. Townsend, N. de L. Costa, and R. G. de A. Pereira, "Aspectos econômicos da recuperação de pastagens no bioma Amazônia," *Pubvet*, vol. 4, no. 14, p. 31, 2010.
- [63] S. McCormick, N; Jenkins, M.; Maginnis, "Biofuels and Degraded Land The potential role of intensive agriculture in landscape restoration," 2014.
- [64] J. L. N. Carvalho, J. C. Avanzi, M. L. N. Silva, C. R. de Mello, and C. E. P. Cerri, "Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas no Brasil," *Rev. Bras. Ciência do Solo*, vol. 34, no. 2, pp. 277–289, 2010.
- [65] G. L. Galford *et al.*, "Greenhouse gas emissions from alternative futures of deforestation and agricultural management in the southern Amazon," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 107, no. 46, pp. 19649–19654, 2010.
- [66] P. M. Fearnside, "Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest," *For. Ecol. Manage.*, vol. 80, no. 1–3, pp. 21–34, 1996.
- [67] A. Albrecht and S. T. Kandji, "Carbon sequestration in tropical agroforestry systems," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 99, no. 1–3, pp. 15–27, 2003.
- [68] S. P. Braz *et al.*, "Soil Carbon Stocks under Productive and Brachiaria Degraded Pastures in the Brazilian Cerrado," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 77, no. 3, pp. 914–928, 2013.
- [69] T. Desjardins, E. Barros, M. Sarrazin, C. Girardin, and A. Mariotti, "Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 103, no. 2, pp. 365–373, 2004.
- [70] P. M. Fearnside and R. I. Barbosa, "Soil carbon changes from conversion of forest to pastures in Brazilian Amazonia," *For. Ecol. Manage.*, vol. 108, no. 1–2, pp. 147–166, 1988.

- [71] M. M. L. Müller, M. F. Guimarães, T. Desjardins, and D. Mitja, “The relationship between pasture degradation and soil properties in the Brazilian amazon: a case study,” *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 103, no. 2, pp. 279–288, 2004.
- [72] T. D. D. A. Sá, O. R. Kato, C. J. R. Carvalho, and R. D. O. Figueiredo, “Queimar ou não queimar?,” *Rev. USP*, vol. 72, pp. 90–97, 2007.
- [73] F. Montagnini, “Strategies for the recovery of degraded ecosystems: experiences from Latin America,” *Interciencia*, vol. 26, no. 10, pp. 498–503, 2001.
- [74] C. Uhl, R. Buschbacher, and E. A. S. Serrao, “Abandoned Pastures in Eastern Amazonia . I. Patterns of Plant Succession,” *Br. Ecol. Soc.*, vol. 76, no. 3, pp. 663–681, 1988.
- [75] A. N. Kichel, C. H. B. M. Miranda, and A. H. Zimmer, “Degradação de pastagens e produção de bovinos de corte com a integração agricultura x pecuária,” in *I Simpósio de Produção de Gado de Corte*, 1999, pp. 201–234.
- [76] J. L. N. Carvalho *et al.*, “Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil,” *Soil Tillage Res.*, vol. 110, no. 1, pp. 175–186, 2010.
- [77] N. C. Noronha *et al.*, “Recovery of degraded pasture in Rondônia: macronutrients and productivity of brachiaria brizantha,” *Rev. Bras. Ciência do Solo*, vol. 34, no. 5, pp. 1711–1720, 2010.
- [78] L. C. Balbino, L. Adriano, M. Cordeiro, V. Porfírio, and A. De Moraes, “Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura - pecuária - floresta no Brasil,” *Pesqui. Agropecuária Bras.*, vol. 46, no. 10, pp. i–ix, 2011.
- [79] M. B. Dias-Filho, “Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens,” *Supl. Espec. da Rev. Bras. Zootec.*, vol. 35, pp. 535–553, 2006.
- [80] R. Perin, G. C. Martins, S. R. Muniz, and G. M. Linhares, “Sistema de pastejo rotacionado intensivo como alternativa para a recuperação de áreas degradadas no estado do Amazonas,” *Amaz. Ciência Desenv.*, vol. 4, no. 8, pp. 235–244, 2009.
- [81] M. M. L. Muller, M. de F. Guimarães, T. Desjardins, and P. F. D. S. Martins, “Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes,” *Pesqui. Agropecu. Bras.*, vol. 36, no. 11, pp. 1409–1418, 2001.
- [82] B. B. N. Strassburg *et al.*, “When enough should be enough: improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil,” *Glob. Environ. Chang.*, vol. 28, no. 1, pp. 84–97, 2014.
- [83] A. M. Mazzetto, B. J. Feigl, R. L. M. Schils, C. E. P. Cerri, and C. C. Cerri, “Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system,” *Livest. Sci.*, vol. 175, pp. 101–112, 2015.
- [84] R. N. Lubowski, A. J. Plantinga, R. N. Stavins, N. Ruben, J. Plantinga, and N. Robert, “What drives Land-Use Change in the United States? A National Analysis of Landowner Decisions,” *Land Econ.*, vol. 84, no. 4, pp. 529–550, 2008.
- [85] D. J. Lewis and A. J. Plantinga, “Policies for Habitat Fragmentation: Combining Econometrics with GIS-Based Landscape Simulations,” *Land Econ.*, vol. 83, no. 2, pp. 109–127, 2007.

- [86] B. S. Rashford, J. A. Walker, and C. T. Bastian, "Economics of Grassland Conversion to Cropland in the Prairie Pothole Region," *Conserv. Biol.*, vol. 25, no. 2, pp. 276–284, 2011.
- [87] B. S. Rashford, C. T. Bastian, and J. G. Cole, "Agricultural Land-Use Change in Prairie Canada: Implications for Wetland and Waterfowl Habitat Conservation," *Can. J. Agric. Econ.*, vol. 59, no. 2, pp. 185–205, 2011.
- [88] A. C. Cameron and P. K. Trivedi, *Microeconometrics: Methods and Applications*. New York: Cambridge University Press, 2005.
- [89] A. G. Billé and G. Arbia, "Spatial discrete choice and spatial limited dependent variable models: a review with an emphasis on the use in regional health economics," 2, 2013.
- [90] T. E. Smith and J. P. LeSage, "A bayesian Probit model with spatial dependencies," in *Spatial and Spatiotemporal Econometrics*, vol. 18, Emerald Group Publishing Limited, 2004, pp. 127–160.
- [91] R. Chakir and O. Parent, "Determinants of land use changes: A spatial multinomial probit approach," *Pap. Reg. Sci.*, vol. 88, no. 2, pp. 327–344, 2009.
- [92] X. C. Wang, K. M. Kockelman, and J. D. Lemp, "The dynamic spatial multinomial probit model: Analysis of land use change using parcel-level data," *J. Transp. Geogr.*, vol. 24, pp. 77–88, 2012.
- [93] E. Y. Arima, "A Spatial Probit Econometric Model of Land Change: The Case of Infrastructure Development in Western Amazonia, Peru.," *PLoS One*, vol. 11, no. 3, p. e0152058, 2016.
- [94] B. S. Rashford, S. E. Albeke, and D. J. Lewis, "Modeling grassland conversion: Challenges of using satellite imagery data," *Am. J. Agric. Econ.*, vol. 95, no. 2, pp. 404–411, 2013.
- [95] J. M. Wooldridge, *Econometric analysis of cross section and panel data*, Second Edi. The MIT Press, 2010.
- [96] G. T. Parady and E. Hato, "Accounting for spatial correlation in tsunami evacuation destination choice: a case study of the Great East Japan Earthquake," *Nat. Hazards*, pp. 1–11, 2016.
- [97] M. M. Fleming, "Techniques for Estimating Spatially Dependent Discrete Choice Models," in *Advances in Spatial Econometrics: Methodology, Tools and Applications*, L. Anselin, R. J. G. M. Florax, and S. J. Rey, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004, pp. 145–168.
- [98] C. R. Bhat and J. Guo, "A mixed spatially correlated logit model: Formulation and application to residential choice modeling," *Transp. Res. Part B Methodol.*, vol. 38, no. 2, pp. 147–168, 2004.
- [99] I. N. Sener, R. M. Pendyala, and C. R. Bhat, "Accommodating spatial correlation across choice alternatives in discrete choice models: An application to modeling residential location choice behavior," *J. Transp. Geogr.*, vol. 18, no. 5, pp. 624–633, 2010.
- [100] J. P. Elhorst, R. Devillers, F. Group, D. Del, T. Internacional, and M. José, *Spatial Econometrics From Cross-Sectional Data to Spatial Panels*, vol. 16. Springer, 2014.

- [101] F. A. López, J. Mur, and A. Angulo, "Spatial model selection strategies in a SUR framework. The case of regional productivity in EU," *Ann. Reg. Sci.*, vol. 53, no. 1, pp. 197–220, 2014.
- [102] INPE and Embrapa, "Projeto TerraClass: levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia - Sumário Executivo," 2011.
- [103] INPE and Embrapa, "TerraClass 2004 a 2014: dinâmica do uso e cobertura da terra no período de 10 anos nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal Brasileira," Brasília, DF, 2016.
- [104] CONAB, "Séries históricas de área plantada, produtividade e produção relativas às safras de grãos 1976/77 a 2014/15: soja," Brasília, DF, 2016.
- [105] D. Weinhold, E. Killick, and E. J. Reis, "Soybeans, poverty and inequality in the Brazilian Amazon," *World Dev.*, vol. 52, pp. 132–143, 2013.
- [106] P. Richards, H. Pellegrina, L. VanWey, and S. Spera, "Soybean Development: the impact of a decade of agricultural change on urban and economic growth in Mato Grosso, Brazil," *PLoS One*, vol. 10, no. 4, p. e0122510, 2015.
- [107] Greenpeace, "Comendo a Amazônia," Manaus, AM, 2006.
- [108] ABIOVE, "Moratória da Soja: Declaração das Empresas," São Paulo, SP, 2006.
- [109] ABIOVE, "Banco do Brasil adere à Moratória da Soja," São Paulo, SP, 2010.
- [110] Greenpeace, "Indústria da soja promete não financiar produtores que causem novos desmatamentos na Amazônia," 2007. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/ind-stria-da-soja-promete-n-o/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [111] Greenpeace, "Indústria da soja anuncia moratória no desmatamento da Amazônia depois de pressão de consumidores," 2006. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/ind-stria-da-soja-anuncia-mora/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [112] Greenpeace, "Moratória da soja é renovada pela última vez," 2014. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Moratoria-da-soja-e-renovada-pela-ultima-vez/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [113] Greenpeace, "Mais um ano de trégua para a Amazônia," 2010. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Mais-um-ano-de-tregua-para-a-Amazonia/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [114] Greenpeace, "Seis anos de moratória," 2012. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Seis-anos-de-moratoria/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [115] ABIOVE, "Moratória da Soja: Termo de Compromisso," São Paulo, SP, 2009.
- [116] Greenpeace, "Monitoramento na Amazônia comprova: moratória da soja deu resultado," 2008. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/monitoramento-comprova-morat/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [117] Greenpeace, "Moratória da soja vale até 2010," 2009. [Online]. Available:

- <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/morat-ria-da-soja-vale-ate-201/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [118] ABIOVE, “ABIOVE: Moratória da Soja no Bioma Amazônia foi renovada,” São Paulo, SP, 2016.
 - [119] ABIOVE, “Moratória da Soja: 2º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2009.
 - [120] ABIOVE, “Moratória da Soja: 3º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2010.
 - [121] ABIOVE, “Moratória da Soja: 4º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2011.
 - [122] ABIOVE, “Moratória da Soja: 5º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2012.
 - [123] ABIOVE, “Moratória da Soja: 6º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2013.
 - [124] ABIOVE, “Moratória da Soja: 7º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2014.
 - [125] ABIOVE, “Arquivos com Estatísticas do Biodiesel,” 2015. [Online]. Available: www.abiove.com.br. [Accessed: 06-Jul-2015].
 - [126] ABIOVE, “Moratória da Soja: 8º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2016.
 - [127] B. F. T. Rudorff *et al.*, “The soy moratorium in the Amazon biome monitored by remote sensing images,” *Remote Sens.*, vol. 3, no. 1, pp. 185–202, 2011.
 - [128] B. F. T. Rudorff *et al.*, “Remote Sensing Images to Detect Soy Plantations in the Amazon Biome-The Soy Moratorium Initiative,” *Sustainability*, vol. 4, no. 12, pp. 1074–1088, 2012.
 - [129] ABIOVE, “Reconhecimento Público,” 2010. [Online]. Available: http://www.abiove.org.br/site/_FILES/Portugues/17072012-140138-ms4_reconhecimento_clientes_2010_br.pdf. [Accessed: 20-Nov-2015].
 - [130] The European Soy Consumer Group, “2010 Joint Statement of the European Soy Customer Group,” 2010. [Online]. Available: http://www.abiove.org.br/site/_FILES/English/17072012-145031-ms03a_reconhecimento_clientes_2010_us.pdf. [Accessed: 20-Nov-2015].
 - [131] The European Soy Consumer Group, “European Soy Customer Group Statement,” 2011. [Online]. Available: http://www.abiove.org.br/site/_FILES/Portugues/18062012-174233-ms_reconhecimento_2011_us.pdf. [Accessed: 20-Nov-2015].
 - [132] IPEA, GIZ, and Cepal, “Avaliação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal: PPCDAm 2007-2010,” 2011.
 - [133] J. Risso, “Diagnóstico espacialmente explícito da expansão da soja no Mato Grosso de 2000 a 2012,” INPE, 2013.
 - [134] J. Assunção, C. Gandour, and R. Rocha, “Deforestation Slowdown in the Brazilian Amazon: Prices or Policies?,” Rio de Janeiro, RJ, 2015.

- [135] J. Assunção, C. Gandour, and R. Rocha, “DETERring deforestation in the Brazilian Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement - Webinar Slides,” Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- [136] D. Boucher, P. Elias, J. Faires, and S. Smith, “Histórias de sucesso no âmbito do desmatamento,” Cambridge, MA, 2014.
- [137] H. K. Gibbs *et al.*, “Brazil’s Soy Moratorium - Supplementary Material,” *Sci. - Policy Forum Environ. Dev.*, vol. 347, no. 6220, pp. 377–378, 2014.
- [138] H. K. Gibbs, “The End of Brazil’s Soy Moratorium Will Mean More Deforestation,” 2014.
- [139] D. Nepstad *et al.*, “Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains,” *Science* (80-.), vol. 344, no. 6188, pp. 1118–23, 2014.
- [140] M. N. Macedo, R. S. DeFries, D. C. Morton, C. M. Stickler, G. L. Galford, and Y. E. Shimabukuro, “Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 109, no. 4, pp. 1341–1346, 2012.
- [141] H. K. Gibbs *et al.*, “Did Ranchers and Slaughterhouses Respond to Zero-Deforestation Agreements in the Brazilian Amazon?,” *Conserv. Lett.*, p. 18, May 2015.
- [142] Greenpeace, “Bertin, Carrefour, Wal Mart e Pão de Açúcar respondem ao relatório do Greenpeace,” 2009. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/bertin-carrefour-wal-mart-e/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [143] D. C. Morton *et al.*, “Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 103, no. 39, pp. 14637–14641, 2006.
- [144] T. Searchinger *et al.*, “Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change,” *Science* (80-.), vol. 423, no. February, pp. 1238–1241, 2008.
- [145] J. Fargione, J. Hill, D. Tilman, S. Polasky, and P. Hawthorne, “Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt,” *Science* (80-.), vol. 319, no. February, pp. 1235–1239, 2008.
- [146] E. Barona, N. Ramankutty, G. Hyman, and O. T. Coomes, “The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 5, no. 2, p. 9, 2010.
- [147] D. M. Lapola *et al.*, “Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 107, no. 8, pp. 3388–3393, 2010.
- [148] E. Y. Arima, P. Richards, R. Walker, and M. M. Caldas, “Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 6, no. 2, p. 024010, 2011.
- [149] ABIOVE, “Moratória da Soja: Safra 2016/2017,” São Paulo, SP, 2017.
- [150] Greenpeace, “Desmatamento Zero,” 2015. [Online]. Available: <http://www.desmatamentozero.org.br/>. [Accessed: 01-Nov-2015].

- [151] A. A. Azevedo, M. C. C. Stabile, and T. N. P. Reis, "Commodity production in Brazil: Combining zero deforestation and zero illegality," *Elem. Sci. Anthr.*, vol. 3, no. 1, p. 12, 2015.
- [152] M. S. Bowman, B. S. Soares-Filho, F. D. Merry, D. C. Nepstad, H. Rodrigues, and O. T. Almeida, "Persistence of cattle ranching in the Brazilian Amazon: a spatial analysis of the rationale for beef production," *Land use policy*, vol. 29, no. 3, pp. 558–568, 2012.
- [153] A. S. Cohn *et al.*, "Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation.," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 111, no. 20, pp. 7236–7241, 2014.
- [154] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, "Censo Agropecuário 2006," Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- [155] J. B. De Souza Ferreira Filho, L. Ribera, and M. Horridge, "Deforestation control and agricultural supply in Brazil," *Am. J. Agric. Econ.*, vol. 97, no. 2, pp. 589–601, 2015.
- [156] D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, and W. W. Behrens III, *The Limits to Growth*. New York: Universe Brooks, 1972.
- [157] MMA, *O Brasil na Agenda Internacional para o Desenvolvimento Sustentável*. Brasília, DF, 2013.
- [158] INPE, "Projeto PRODES," 2015. [Online]. Available: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>. [Accessed: 17-Nov-2015].
- [159] Greenpeace, "Artigo publicado na revista Science reconhece eficácia da Moratória da Soja," 2015. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Artigo-publicado-na-revista-Science-reconhece-eficacia-da-Moratoria-da-Soja/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [160] INPE, "Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites: sistemas PRODES, DETER, DEGRAD e Queimadas 2007-2008," São José dos Campos - SP, 2008.
- [161] A. B. Coelho and D. R. D. de Aguiar, "O Modelo Quadratic Almost Ideal Demand System (Quaid): Uma Aplicação Para O Brasil," in *Gasto e Consumo das Famílias Brasileiras Contemporâneas - Volume 2*, IPEA, 2007, pp. 485–514.
- [162] G. M. de Espindola, A. P. D. de Aguiar, E. Pebesma, G. Câmara, and L. Fonseca, "Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data," *Appl. Geogr.*, vol. 32, no. 2, pp. 240–252, 2012.
- [163] J. Hargrave and K. Kis-Katos, "Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon: A Panel Data Analysis for the 2000s," *Environ. Resour. Econ.*, vol. 54, no. 4, pp. 471–494, 2013.
- [164] M. Cropper, J. Puri, and C. Griffiths, "Predicting the Location of Deforestation : The Role of Roads and Protected Areas in North Thailand," *Land Econ.*, vol. 77, no. 2, pp. 172–186, 2001.
- [165] A. Etter, C. McAlpine, K. Wilson, S. Phinn, and H. Possingham, "Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 114, no. 2–4, pp. 369–386, 2006.

- [166] A. S. P. Pfaff, "What Drives Deforestation in the Brazilian Amazon?," *J. Environ. Econ. Manage.*, vol. 37, no. 1, pp. 26–43, 1999.
- [167] K. S. Andam, P. J. Ferraro, A. Pfaff, G. A. Sanchez-Azofeifa, and J. A. Robalino, "Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing deforestation," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 105, no. 42, pp. 16089–16094, 2008.
- [168] A. Pfaff, A. Pfaff, J. Robalino, C. Sandoval, and D. Herrera, "Protected area types, strategies and impacts in Brazil's Amazon: public protected area strategies do not yield a consistent ranking of protected area types by impact," *Phil. Trans. R. Soc. B*, vol. 370, 2015.
- [169] A. Pfaff, J. Robalino, D. Herrera, and C. Sandoval, "Protected Areas' Impacts on Brazilian Amazon Deforestation: Examining Conservation – Development Interactions to Inform Planning," *PLoS One*, vol. 10, no. 7, p. e0129460, 2015.
- [170] E. Y. Arima, P. Barreto, E. Araújo, and B. Soares-Filho, "Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil," *Land use policy*, vol. 41, pp. 465–473, 2014.
- [171] L. C. Andrade, "Spillover effects of blacklisting policy in the Brazilian Amazon," Universidade de São Paulo, 2016.
- [172] W. F. Laurance *et al.*, "Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon," *J. Biogeogr.*, vol. 29, pp. 737–748, 2002.
- [173] K. R. Kirby *et al.*, "The future of deforestation in the Brazilian Amazon," *Futures*, vol. 38, no. 4, pp. 432–453, 2006.
- [174] M. C. Vera-Diaz, R. K. Kaufmann, and D. C. Nepstad, "The environmental impacts of soybean expansion and infrastructure development in Brazil's Amazon Basin," Working Paper No. 09-05, 2009.
- [175] A. P. D. Aguiar, G. Câmara, and M. I. S. Escada, "Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity," *Ecol. Modell.*, vol. 209, no. 2–4, pp. 169–188, 2007.
- [176] A. Pfaff *et al.*, "Road investments, spatial spillovers and deforestation in the Brazilian Amazon," *J. Reg. Sci.*, vol. 47, no. 1, pp. 109–123, 2007.
- [177] D. Weinhold and E. Reis, "Transportation costs and the spatial distribution of land use in the Brazilian Amazon," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 18, no. 1, pp. 54–68, 2008.
- [178] M. J. Mendonça, P. R. A. Loureiro, and A. Sachsida, "The dynamics of land-use in Brazilian Amazon," *Ecol. Econ.*, vol. 84, pp. 23–36, 2012.
- [179] S. Rodrigues-Filho, R. Verburg, M. Bursztyn, D. Lindoso, N. Debortoli, and A. M. G. Vilhena, "Land Use Policy Election-driven weakening of deforestation control in the Brazilian Amazon," *Land use policy*, vol. 43, pp. 111–118, 2015.
- [180] R. Verburg, S. R. Filho, D. Lindoso, N. Debortoli, G. Litre, and M. Bursztyn, "The impact of commodity price and conservation policy scenarios on deforestation and agricultural land use in a frontier area within the Amazon," *Land use policy*, vol. 37, pp. 14–26, 2014.
- [181] C. Araújo, C. A. Bonjean, J. L. Combes, P. Combes Motel, and E. J. Reis, "Property rights and deforestation in the Brazilian Amazon," *Ecol. Econ.*, vol. 68, no. 8–9, pp. 2461–2468, 2009.

- [182] D. S. Brown, J. C. Brown, and C. Brown, “Land occupations and deforestation in the Brazilian Amazon,” *Land use policy*, vol. 54, pp. 331–338, 2016.
- [183] P. D. Richards, R. T. Walker, and E. Y. Arima, “Spatially complex land change: the indirect effect of Brazil’s agricultural sector on land use in Amazonia,” *Glob. Environ. Chang.*, vol. 29, pp. 1–9, 2014.
- [184] W. R. Faria and A. N. Almeida, “Relationship between openness to trade and deforestation: Empirical evidence from the Brazilian Amazon,” *Ecol. Econ.*, vol. 121, pp. 85–97, 2016.
- [185] J. Assunção, C. Gandour, and R. Rocha, “Deforestation Slowdown in the Legal Amazon: Prices or Policies? Executive Summary,” Rio de Janeiro, RJ, 2012.
- [186] J. P. LeSage and R. K. Pace, *Introduction to Spatial Econometrics*, vol. 123, no. 123. Taylor & Francis Group, 2009.
- [187] S. Halleck Vega and J. P. Elhorst, “The slx model,” *J. Reg. Sci.*, vol. 55, no. 3, pp. 339–363, 2015.
- [188] S. Stakhovych and T. H. A. Bijmolt, “Specification of spatial models: A simulation study on weights matrices,” *Pap. Reg. Sci.*, vol. 88, no. 2, pp. 389–408, 2009.
- [189] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA,” 2016. [Online]. Available: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. [Accessed: 28-Jul-2016].
- [190] J. L. S. Ross, *Geografia do Brasil*, 6^a edição,. São Paulo, SP: Editora EdUSP - Editora da Universidade de São Paulo, 2011.
- [191] J. M. Borwein and R. E. Crandall, “Closed Forms: What They Are and Why We Care,” *Not. Am. Math. Soc.*, vol. 60, no. 1, pp. 50–65, 2013.

2. DINÂMICA DO USO DO SOLO NOS MUNICÍPIOS DE MATO GROSSO, PARÁ E RONDÔNIA

Resumo

O arcabouço institucional brasileiro voltado à proteção do meio ambiente foi intensamente fortalecido ao longo das últimas décadas. Atualmente, o Brasil conta com mecanismos importantes nas áreas de legislação, programas governamentais e estrutura burocrática para elaborar e implementar medidas que busquem a conservação e a preservação dos recursos naturais. Paralelamente, o gradativo engajamento do setor produtivo em ações alinhadas com essa nova visão sobre a relação entre agricultura e meio ambiente resultou em ações cooperativas e sinérgicas. Durante esse processo, novas ferramentas trouxeram luz para a questão do uso e ocupação do solo no bioma Amazônia, com destaque para o TerraClass. A partir desses novos dados, foi possível dimensionar a participação das lavouras, pastagens, vegetação e outros usos nessa região, bem como entender sua evolução histórica e suas causas. Dado que a opção pela abertura ilegal de novas áreas torna-se cada vez menos atrativa, cresce o desafio de intensificar a produção, especialmente de pastagens subutilizadas. O componente espacial é essencial no entendimento dessa dinâmica, dado que interação entre os agentes produtivos se mostrou visível quando se analisou a localização dos polos de produção, o que ensejou o emprego de modelos econométricos espaciais. A partir de uma base de dados compreendendo uma área de 1,974 milhão de km², foram analisadas 26,7 milhões de observações distribuídas por 275 municípios, em 5 anos e agrupadas em 4 classes de uso e ocupação do solo. Para isso, foram empregados painéis espaciais balanceados em um modelo que busca entender as causas da demanda relativa do uso do solo em cada município. Entre os principais resultados, destacam-se a importância dos custos salariais na distribuição espacial da produção e da abertura comercial na formação de polos regionais de produção, sendo inconclusivos os resultados referentes à política de embargos estatais. O crédito também atuou de forma relevante no estímulo à produção e, neste aspecto, a participação significativa do setor público abre a oportunidade para alinhamento dessa variável aos objetivos internos e internacionais assumidos pelo país. Finalmente, os preços agrícolas se mostraram capazes de promover as lavouras, como esperado, enquanto os preços da madeira revelaram que a valorização dos ativos ambientais é fundamental para atingir os objetivos de recuperação e preservação da vegetação. São ações desafiadoras que requerem a melhor coordenação das políticas públicas e alinhamento com o setor privado para fomentar ações de sustentabilidade econômica, social e ambiental em uma área de enorme extensão como é o bioma Amazônia.

Palavras-chave: Lavouras; Pastagens; Florestas; Uso e ocupação

Abstract

The Brazilian institutional framework aimed at protecting the environment has been immensely strengthened over the last decades. Currently, Brazil has important mechanisms in the areas of legislation, government programs and bureaucratic structures to elaborate and implement measures that seek to conserve and preserve natural resources. At the same time, the gradual engagement of the production sector in actions aligned with this new vision for

the relationship between agriculture and the environment has resulted in cooperative and synergistic actions. During this process, new tools have shone light on the issue of land use and occupation in the Amazon Biome, especially TerraClass. Based on these new data, it was possible to determine the share of crops, pastures, vegetation and other uses in this region, as well as to understand its historical evolution and its causes. As the option to open new areas illegally becomes increasingly unattractive, the challenge of intensifying production, especially underutilized pastures, is increasing. The spatial component is essential in understanding these dynamics, given that the interaction between production agents became visible when the location of the production poles was analyzed, which led to the use of spatial econometric models. From a database comprising an area of 1,974 million km², 26.7 million observations were analyzed in 275 municipalities over five years and grouped into four classes of land use and occupation. For this, balanced spatial panels were employed in a model that seeks to understand the causes of the relative demand of the land use in each municipality. Among the main results, highlights include the importance of wage costs in the spatial distribution of production and for the commercial opening in the formation of regional production poles, and consider inconclusive the results regarding the State embargo policy. Credit also played a significant role in stimulating production and, in this respect, the meaningful participation of the public sector opens up the opportunity for aligning this variable with the internal and international objectives assumed by the country. Finally, agricultural prices proved to be capable of promoting crops, as expected, while timber prices showed that appreciation of environmental assets is fundamental to achieve the objectives of recovering and preserving vegetation. These are the challenges that require better coordination of public policies and an alignment with the private sector to foster economic, social and environmental sustainability actions in an area of enormous extension such as the Amazon Biome.

Keywords: Crops; Pastures; Forests; Use and occupation

2.1 Introdução

*“Afagar a terra
Conhecer os desejos da terra
Cio da terra propícia estação
E fecundar o chão”.*

O Cio da Terra, Chico Buarque & Milton Nascimento

Desde a década de 1980, o Brasil tem atuado pela redução do desflorestamento da Amazônia por meio do emprego de um conjunto de ferramentas de monitoramento, comando e controle, e programas de incentivo à preservação dos recursos naturais [12].

Parte desses esforços são respostas às pressões internacionais exercidas desde a Conferência de Estocolmo de 1972 e seguidas pelas do Rio de Janeiro em 1992, Johannesburgo

em 2002 e, novamente, Rio de Janeiro em 2012. Durante essas quatro décadas, o Brasil teve sucesso em apresentar a problemática ambiental como parte integrante do conceito de desenvolvimento sustentável e da necessidade de se vincular a preservação do meio ambiente ao desenvolvimento socioeconômico. Como consequência, essa linha de raciocínio foi incorporada nas discussões sobre abertura comercial, transferência de tecnologia e linhas de financiamento em favor dos países em desenvolvimento [13]–[15].

Contudo, essa postura também ensejou o discurso anti-internacionalização da Amazônia como forma de autoproteção de setores produtivos locais contra o desenho de políticas ambientais e de colonização ambientalmente corretas. A partir de discurso semelhante, o Estado alertou sobre os riscos da internacionalização da Amazônia para fortalecer sua presença na região, promover a segurança e o desenvolvimento sustentável [16].

Internamente, também houve grande mudança na percepção da sociedade a respeito da necessidade de se dar maior atenção à preservação dos recursos naturais brasileiros. Graças a essa nova postura, os governos brasileiros foram capazes de aprovar dispositivos legais adequados a esse fim, bem como dotar os órgãos públicos de recursos que tiveram por objetivo garantir o cumprimento da legislação [12].

Exemplo dessa mudança foi a aprovação da Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente [17]. Outro marco foi dado pela Constituição Federal de 1988, que em seu Capítulo VI, Art. 225, conferiu ao cidadão o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, e o dever de defendê-lo e preservá-lo, duas conquistas importantes para a sociedade brasileira.

Importantes também foram os incisos do parágrafo 1º do Art. 225 da CF ao atribuírem ao Poder Público a responsabilidade de: preservar e restaurar processos ecológicos essenciais (inciso I), preservar a diversidade e a integridade do patrimônio genético do país (inciso II), definir espaços territoriais protegidos (inciso III) e exigir estudo de impacto ambiental para obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação ao meio ambiente (inciso IV). Pertinentes a este trabalho, também são relevantes o parágrafo 3º, que estabelece a obrigatoriedade de reparação de danos ao meio ambiente por pessoas físicas e jurídicas, e o 4º, que torna a Floresta Amazônica patrimônio nacional [18].

Outros dois destaques foram a Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, base legal para criação

das diversas Unidades de Proteção Integral – composta por Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio da Vida Silvestre –, e Unidades de Uso Sustentável – compostas por áreas de Proteção Ambiental, Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável, e Reserva Particular do Patrimônio Natural, tendo cada uma dessas unidades atribuições e objetivos específicos.

Tem-se ainda o novo Código Florestal, sancionado pela Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012 [19], que trata do disciplinamento da vegetação nativa nas propriedades rurais, entre outras disposições. Após tramitação no Congresso Nacional por quase 16 anos de Medidas Provisórias que alteravam a Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 [20] e longas discussões entre representantes dos diversos segmentos da sociedade, o novo texto confirmou, mesmo com alterações, dispositivos fundamentais da anterior, entre eles a necessidade de manutenção das Áreas de Preservação Permanente (APP) e dos percentuais de Reserva Legal na propriedade determinados pela Medida Provisória nº 1.511, de 25 de julho de 1996¹ [21]. Também criou mecanismos para reposição ou compensação florestal de propriedades com vegetação nativa em extensão abaixo da determinada por lei [19].

Há de se destacar que o conjunto de leis e normas infralegais que versam sobre o meio ambiente no Brasil é extenso e busca preservar os recursos naturais ou garantir sua conservação conciliada à produção agropecuária e de outros setores da economia. Os resultados dessas ações ainda estão aquém do desejado, mas diversos sinais positivos apareceram, entre eles a queda das taxas de desflorestamento do bioma Amazônia [22].

Outros elementos característicos desse novo quadro foram a mudança de posicionamento público de segmentos importantes da sociedade com relação ao desflorestamento e a defesa do estrito cumprimento da legislação ambiental [23]–[28], mudança facilitada também pela maior dificuldade de abertura de novas áreas e melhoria da atratividade da recuperação de pastagens com baixa produtividade para uso agrícola e pecuário [29]–[34]. Assim, a pecuária intensiva ganhou espaço entre as opções de investimento na agropecuária frente ao modelo de crescimento extensivo sobre a vegetação nativa, cenário que favoreceu a adoção de técnicas de aumento da produtividade e da eficiência [35, p. 244].

¹ A Medida Provisória nº 1.511, de 1996, foi reeditada diversas vezes, sendo sua última reedição a de nº 2.166-67, de 26 de julho de 2001.

Ao longo dessas discussões, ganharam reforço propostas de apoio governamental a medidas de promoção da eficiência no uso do solo. Em consonância com as metas brasileiras voluntariamente assumidas perante os organismos internacionais [36], [37] e com a Política Nacional de Mudança do Clima (PNMC) [38], [39] para recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens, criou-se o Plano ABC, cuja finalidade é “a organização e o planejamento das ações a serem realizadas para a adoção das tecnologias de produção sustentáveis” [40, p. 1].

Depreende-se desse quadro que a relação entre agricultura e meio ambiente pode passar do conflito histórico [41]–[43] para a cooperação [35], [44], [45]. Essa nova conexão está imbuída de elementos que perpassam todo o processo produtivo, desde a intensificação da produção com aumento da produção por unidade de área até o melhor entendimento de como a agricultura pode ajudar a superar grandes desafios contemporâneos, como o aumento da produção de matérias-primas, alimentos, bioenergia etc. para a desaceleração e a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas [46], [47].

As dificuldades de crescimento da produção mundial de alimentos diante das projeções de aumento da população e da renda mundiais se devem a fatores como a contenção do desmatamento, a menor produtividade das pastagens, a crescente degradação do solo, a limitação do uso de água para irrigação, o aumento da temperatura e alteração do regime de chuvas pelas mudanças climáticas, a redução da camada de ozônio e o aumento da incidência de raios ultravioleta. Portanto, o crescimento da oferta irá requerer aporte de capital em ações coordenadas entre os países a fim de reverter a degradação das terras aráveis e emprego de biotecnologia e redução perdas agrícolas [48], [49, pp. 13–14]. O Brasil, assim como outros países da América Latina, deve enfrentar esse desafio com o melhor uso da ciência, aplicação adequada de recursos em pesquisa e valorização dos serviços ambientais, possivelmente com apoio financeiro externo [50].

Contudo, a grande divergência dos números a respeito do estoque de pastagens em um país com as dimensões do Brasil torna difícil a proposição e execução adequadas de políticas públicas. Por essa razão, tornou-se fundamental ter um retrato mais preciso dessa categoria de uso do solo, bem como da qualidade dessas áreas, para o melhor planejamento e tomada de decisão.

O Projeto TerraClass veio a suprir essa lacuna. Executado a partir de uma parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e a Empresa Brasileira de Pesquisa

Agropecuária – EMBRAPA, ele “apresenta os resultados do mapeamento do uso e cobertura da terra na Amazônia Legal para todas as áreas desflorestadas mapeadas pelo [Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia] – PRODES” [51, p. 1]. O TerraClass e o Plano ABC fazem parte das ações do Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal – PPCDAm [12].

Vê-se, portanto, que a dinâmica de uso do solo no Brasil e, especialmente na Amazônia, tem sido influenciada pela percepção da sociedade de que a produção agropecuária não deve crescer em detrimento dos recursos naturais. Isso tem se traduzido na forma de novos dispositivos legais e setoriais que buscam incentivar o sistema produtivo a adotar técnicas de intensificação e, ao mesmo tempo, proteger as áreas nativas.

Entende-se por isso ser necessário analisar a evolução temporal e espacial do uso e ocupação do solo e os fatores econômicos e institucionais a ela associados, com destaque para a relação entre as áreas de lavouras anuais e das pastagens com as áreas de floresta e vegetação secundária. Essa investigação procurará compreender onde ocorre e por que algumas regiões passam por um processo de aproveitamento agropecuário mais intensivo das terras abertas e disponíveis enquanto outras seguem um processo de expansão por meio de desflorestamentos.

2.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é analisar economicamente os padrões de uso do solo que geram a competição entre lavouras, pastagens e florestas de forma a entender suas causas nos municípios inseridos total ou parcialmente no bioma Amazônia dos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia entre os anos de 2004 e 2014.

2.3 Revisão de literatura

Com base em informações do TerraClass, sabe-se que cerca de $\frac{3}{5}$ da área desflorestada da Amazônia Legal são cobertos por pastagens, outro $\frac{1}{5}$ se encontra na forma de vegetação secundária, $\frac{1}{20}$ é ocupado por lavouras anuais e o restante é distribuído nas demais classes de uso da terra [52, p. 291]. Até 2008, “De acordo com o PRODES, o desflorestamento na Amazônia brasileira até 2008 somou 719.710 km², aproximadamente o dobro do tamanho do território da Alemanha, por comparação.” [52, p. 292] (tradução nossa).

Trata-se, portanto, de grandes extensões territoriais nas quais se percebe um enorme potencial de ganhos de eficiência produtiva. Essa é a herança recebida de modelos de crescimento econômico implementados, em grande medida, durante os governos militares, dentre os quais se destacam os processos históricos de incentivo ao desmatamento na Amazônia e as políticas de incentivo às exportações de produtos agroindustriais e seus efeitos sobre a especulação de terras no Sul do país que levaram à migração de produtores para o Centro-Oeste e Norte do país [53]. Naquele período, foram adotadas políticas de desenvolvimento regionais envolvendo projetos de infraestrutura, colonização, mineração e agropecuária prejudicados pela crise fiscal da década de 1980. Essa desaceleração econômica levou os produtores a depreciarem seus ativos florestais que, quando esgotados, levavam a um novo ciclo de migração e destruição das florestas. Paralelamente, vigoravam políticas públicas de legitimação da posse da terra pela derrubada das florestas. Todos esses elementos contribuíram para uma ocupação desordenada e pouco eficiente do solo da região.

Os efeitos nocivos desse modelo extensivo e a carência de base técnico-científica que lhe sustentasse levaram ao seu abandono [54]. A solução sugerida por pesquisadores para a reversão desse modelo está na correção dos incentivos econômico-financeiros, a valorização de práticas sustentáveis e a apropriação das terras por comunidades tradicionais e de pequenos produtores [55], [56].

Porém, se por um lado a região compreendida pelo bioma Amazônia possui um estoque elevado de pastagens de baixa produtividade, por outro a região se tornou a nova fronteira agrícola do país, sendo sua produção impulsionada por grupos empresariais capitalizados [57]. Contudo, o baixo custo da terra ainda é um desincentivo à adoção de práticas mais intensivas, especialmente na pecuária e o crescimento extensivo da produção pode conduzir a novos desflorestamentos.

Essa complexa relação entre causas do desflorestamento foi explorada em trabalhos que investigam a existência de elementos comuns a esse processo nos países. Porém, os resultados indicam grandes divergências a esse respeito, sendo as variáveis macroeconômicas, tais como as taxas de juros e de câmbio [58], e populacionais, os poucos exemplos de consenso. A conclusão é que são mais importantes os elementos locais específicos de cada país [59], [60], conforme também sugere o relatório de avaliação do PPCDAm [12].

Conforme já exposto, a recuperação de pastagens degradadas é vista como alternativa de grande potencial para aumento da produção agropecuária e tem sido objeto de diversas

análises que buscam entender suas vantagens, desvantagens, barreiras econômicas, sociais e técnicas à sua implementação. Para tanto, utiliza-se aqui o conceito de pastagem degradada como a “área com acentuada diminuição na produtividade agrícola ideal, podendo ou não ter perdido a capacidade de manter produtividade biológica significativa” [49]. A pastagem degradada também é identificada como

Aquela que está em processo evolutivo de perda de vigor e produtividade forrageira, sem possibilidade de recuperação natural, tornando-se incapaz de sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais, bem como o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras. Persistindo esse processo, poderá haver uma degradação total do solo e dos recursos naturais, com prejuízos irrecuperáveis para toda sociedade [61, p. 655].

Cabe acrescentar que a degradação pode ser agrícola (redução da produtividade de culturas com fins econômicos) ou biológica (incapacidade de sustento da produção vegetal) [49, pp. 16–17]. Essa degradação decorre de elementos diversos, como o uso inadequado de técnicas de preparo do solo, uso de sementes e espécies forrageiras, manejo (taxas de lotação ou períodos de descanso inadequados), não reposição dos nutrientes, ataque de pragas ou mesmo fatores abióticos (excesso ou falta de chuvas, lixiviação dos nutrientes etc.) [49, p. 30], [61, p. 655].

Sobre o melhoramento de pastagens, adverte-se que:

Na prática, os termos recuperação, reforma e renovação de pastagens são usados erroneamente como sinônimos. Contudo, é necessário esclarecer que tecnicamente eles possuem significados diferentes. Entende-se por recuperação a aplicação de práticas culturais e/ou agrônômicas, visando ao restabelecimento da cobertura do solo e do vigor das plantas forrageiras na pastagem. Por reforma entende-se a realização de um novo estabelecimento da pastagem, com a mesma espécie existente. Por último a renovação consiste na utilização da área degradada para a formação de uma nova pastagem com outra espécie forrageira, geralmente mais produtiva [62, p. 8].

Apesar do potencial subexplorado das pastagens degradadas, a disponibilidade teórica de aproveitamento dessas áreas levou diversos organismos a recomendarem equivocadamente sua recuperação de forma ampla e irrestrita para fins produtivos, pois estes usos não estariam competindo por novas terras produtivas e evitariam pressionar as áreas de florestas. Contudo, a inexistência de um conceito universal e preciso representa um risco para a adoção de políticas mundiais uniformes, pois não existem parâmetros de consenso sobre indicadores de

degradação da terra e, dependendo das condições locais, o incentivo à produção nessas áreas pode exacerbar ou reduzir esses indicadores de degradação. A avaliação das condições das pastagens, portanto, deve ser local e ter como fator crítico a perda de atributos importantes de qualidade e produtividade do solo [49, pp. 18–19], [63]. Isso porque “A capacidade de suporte é o indicador mais flexível para quantificar o estágio de degradação da pastagem” [49, p. 20].

Do ponto de vista ambiental, especificamente com relação às emissões de Gases de Efeito Estufa, estudos ponderam que deve-se evitar o desmatamento em razão da queima de biomassa e das emissões elevadas de carbono (C), porém explicam que também há elevado potencial de sequestro de C no solo em pastagens da Amazônia e que esse é ainda maior quando adotadas técnicas adequadas de manejo [64]–[67].

Em alguns casos, o nível de C no solo das pastagens pode ser mesmo superior ao encontrado em áreas com vegetação nativa [64], [68]. Para que isso ocorra, recomenda-se o uso de técnicas agronômicas adequadas ao tipo de solo [69] com revolvimento mínimo e a utilização de espécies capazes de acumular resíduos [64, p. 286] para evitar a perda do C armazenado, pois a temperatura e umidade do solo são os principais fatores que influenciam esse processo [64], [70]. A respeito desse aspecto, destaca-se o efeito das queimadas sobre a perda de matéria orgânica no solo e sua compactação mencionados como uma das causas de empobrecimento dos solos e da necessidade de abertura de novas áreas de vegetação nativa [71], [72].

Do ponto de vista técnico, diversos trabalhos demonstram elevado grau de maturidade da ciência que visa à recuperação e renovação das pastagens. É ampla a literatura que versa sobre variadas opções, tais como o plantio de árvores nativas ou exóticas [73], [74] e de sementes de espécies pioneiras em plantio direto [54], integração lavoura-pecuária [75]–[78], sistemas agroflorestais [67], [79] e com rotação intensiva [80], havendo ampla disponibilidade de variedades adequadas para esse fim [81]. Essas técnicas são aplicadas para condições edafoclimáticas específicas e visam a objetivos diferentes, entre eles a recuperação da qualidade do solo, ciclagem de nutrientes, redução da erosão, prevenção da lixiviação, melhoria da atividade biológica do solo, atuação como quebra-vento, geração de cobertura no solo etc.

A viabilidade econômica dos projetos de recuperação depende essencialmente do preço da terra e da taxa de lotação animal inicial, variáveis fundamentais na decisão do produtor de investir na área ou de abandoná-la. Quanto maior a capacidade de suporte inicial

da pastagem, mais rápido é o retorno financeiro do investimento e maior a atratividade da recuperação. Em sentido oposto, quanto maior a expectativa de valorização da terra, mais atrativo será o desflorestamento [56].

Portanto, esses procedimentos requerem elevado aporte de capital inicial e isso se torna um impeditivo para sua realização. Trata-se de um desafio não negligenciável na medida em que a recuperação de pastagens deve ser economicamente competitiva frente à opção de crescimento sobre as áreas de vegetação nativa [35, p. 277].

Uma das formas de contornar, ainda que parcialmente, as dificuldades econômico-financeiras é pelo uso de técnicas de consórcio da pastagem com lavouras de forma a obter retorno mais rápido do investimento. A queda da capacidade de lotação animal, em geral pela redução da produtividade da pastagem, também torna atrativo o uso de técnicas de recuperação com arroz ou soja [56]. Porém, a intensidade do investimento dependerá da severidade da degradação da área [62]. Destaca-se ainda que outra barreira é a disseminação de informação técnica insuficiente para o produtor rural [35, p. 273].

Acima de tudo, vê-se no aumento da eficiência da produção pecuária e na consequente liberação de parte dessas terras para usos agrícolas a possibilidade de resolver, de uma só vez, a necessidade de novas áreas expansão das lavouras e a redução da pressão sobre as áreas de florestas nativas. Para isso, entende-se como fundamental a estruturação de condições favoráveis de financiamento para reduzir os custos dos investimentos [82], [83].

De certa forma, percebe-se certa convergência dos trabalhos na indicação de soluções que reduzam a pressão sobre as áreas de floresta nativa. Entre elas, as mais indicadas são: a) intensificação da agricultura pelo aumento de produtividade; b) recuperação e renovação de pastagens como forma de: i) aumentar a produtividade da pecuária; e ii) liberar parte das áreas ocupadas para sua conversão em lavouras; c) regularização fundiária para prover a titularidade da terra aos pequenos proprietários; d) investimento em infraestrutura de armazenagem e transporte para redução dos custos logísticos; e, e) valorização dos serviços ambientais agrícolas e das áreas de floresta nas propriedades.

Para entender a dinâmica do uso e ocupação do solo, esses trabalhos utilizaram bases de dados geoprocessadas capazes de fornecer informações categóricas sobre essas áreas e dados econômicos e sociais relacionados. São bases grandes e complexas que exigem o emprego de métodos capazes de, ao mesmo tempo, lidar computacionalmente com essas características e trazer respostas para os problemas. Cada abordagem metodológica tem suas

vantagens, desvantagens e limitações e a seguir serão analisados os principais trabalhos recentes aplicados a esse tema.

Modelos de escolha multinomial vêm sendo empregados com frequência crescente na análise da dinâmica do uso e ocupação do solo em diversos trabalhos. Para os EUA, um modelo hierárquico (Logit aninhado) estimado por máxima verossimilhança analisou dados nacionais de uso do solo de 1982 a 1997 [84]. Diante de dificuldades computacionais, os autores optaram pelo uso de dados amostrais e eliminaram observações vizinhas como técnica de corrigir a dependência espacial dos termos de erro.

O modelo de decisão hierárquico presume que o produtor decide qual uso fará dependendo do valor presente do retorno esperado desse uso relativamente aos demais (as opções são lavoura, pastagem plantada, floresta, pastagem nativa, urbano ou conservação com financiamento oficial federal pelo Programa de Conservação de Reservas). Em um primeiro nível de decisão, os produtores devem escolher entre as opções i) lavouras, pastagem e conservação pelo programa oficial; ii) floresta e pastagem nativa; ou iii) urbano. Em um segundo momento, os produtores escolhem o uso do solo dentro daquela categoria. Ao permitir dois níveis de decisão, esse modelo atenua os problemas das Irrelevância das Alternativas Independentes (IAI) típicas de modelos Logit condicionais e as restringe ao primeiro nível de decisão do produtor. Os resultados indicaram maior elasticidade-renda do produtor dedicado a lavouras ou pastagens, demonstrando maior sensibilidade deste indivíduo aos sinais de mercado. Contudo, se, por um lado, a demanda por áreas de pastagem nativas e florestas é menos elástica, por outro o produtor é menos propenso a optar por elas após sua conversão em usos produtivos. Também indicaram que a aptidão agrícola tende a ser determinante no uso final do solo e que os programas de incentivo à conservação podem ser efetivos, exceto quando há competição intensa com o uso urbano.

Conclusões semelhantes foram obtidas por modelagem que optou por tratar o problema das IAI pelo uso de modelo Logit condicional, pois testes de Hausman não permitiram rejeitar a hipótese da IAI no modelo aninhado [85]. Neste trabalho, os autores também afirmam serem de suma importância as condições iniciais do uso do solo e sua qualidade para a tomada de decisão a respeito do que nele produzir. Finalmente, afirmam que um programa de subsídio simples e uniforme pode trazer bons resultados quando comparado a um sistema espacialmente direcionado, porém oneroso.

Trabalho estimado por um Logit condicional analisou o padrão de conversão de áreas de pastagem para lavouras nas pradarias centrais norte-americanas [86] por modelo de decisão baseado na expectativa retornos econômicos relativos, à semelhança do mencionado anteriormente [85]. Foram usados dados quinquenais amostrais de pesquisas realizadas com produtores entre 1982 a 1997 em 183 condados da região norte-central do país. Os resultados mostraram que as mudanças de uso da terra são bastante heterogêneas, sendo mais intensas nas pastagens com boa aptidão agrícola. Diante da tendência de alta dos preços agrícolas, os autores alertam para a exposição à conversão agrícola de 121 milhões de hectares e recomendaram políticas públicas para a conservação das áreas com maior risco e retorno ecológico, e não necessariamente nas áreas com maior aptidão, as quais implicariam maiores despesas públicas.

Também foi aplicado modelo Logit condicional à análise da conversão das pradarias canadenses [87]. Nesta abordagem, os autores calculam as parcelas de 8 principais usos do solo relativamente a um uso residual (diferença entre a área agrícola total e as demais categorias) e estimam o modelo por metodologia SUR com correção para heterocedasticidade. Com base nessas equações, determinam as elasticidades de mudança do uso do solo e concluem, de forma semelhante ao realizado para os EUA [86], que o aumento dos preços agrícolas deve intensificar a pressão para conversão de pradarias em lavouras. Também recomendaram que os recursos para a conservação devem ter como foco as terras com alto valor ecológico e menor risco de conversão a fim de terem maior chance de sucesso.

No Brasil, portanto, muitas são as possibilidades de aumento da produção de alimentos por meio do melhoramento das pastagens ou de sua conversão em lavouras. A opção de abertura de novas áreas, ainda disponível, torna-se cada vez mais restrita e arriscada diante das pressões domésticas e internacionais pela redução do desflorestamento. Este trabalho busca investigar de que forma o uso e ocupação do solo nos municípios do bioma Amazônia dos estados do Mato Grosso, Pará e Rondônia acompanhou essas novas condições e como se comportou a evolução dos usos da terra nessa região. A eficiência das políticas públicas depende, portanto, do correto diagnóstico da situação brasileira referente ao quesito uso do solo e dos elementos que influenciam a tomada de decisão pelo produtor rural por um ou outro caminho.

2.4 Bases de dados e metodologia

2.4.1 Uma breve discussão sobre as metodologias disponíveis para a análise

A análise do uso e ocupação do solo vem sendo feita por diversas metodologias. Com base no apresentado na seção anterior, segue-se um descritivo das opções disponíveis e, ao final, apresenta-se aquela considerada mais adequada para a base de dados e o objetivo deste trabalho.

Dentre os modelos de escolha discreta, uma possibilidade que se apresenta é o modelo linear de probabilidade, cujas vantagens estão na facilidade de estimação e de interpretação dos resultados. Contudo, trata-se de uma metodologia não empregada nos trabalhos recentes que envolvem mudança de uso do solo, pois é de melhor aplicação em modelos de escolha binária. Além disso, apresenta as conhecidas limitações relacionadas aos resultados fora do intervalo de probabilidade (0,1) e à heterocedasticidade, sendo esta última com possibilidade de correção por meio de estimadores robustos.

As análises de dados em painel por modelos não lineares também possuem dificuldades. Nesta categoria, enquadram-se os modelos probit, cuja vantagem é trabalhar com a premissa de erros normalmente distribuídos. “Porém, a estimação por máxima verossimilhança é difícil, já que no caso mais geral devem ser calculadas $(m-1)$ integrais” [88, p. 516] (tradução nossa). A desvantagem neste caso é a exigência de recursos computacionais para a avaliação numérica de $(m-1)$ integrais para um modelo com m escolhas. Por isso, “uma normal trivariada é o limite para métodos numéricos, o que limita a integração numérica padrão a modelos logit multinomiais de 4 escolhas” [88, p. 518]. Essa restrição é importante e tem sido um empecilho para a maior difusão dos modelos probit multinomiais [89, p. 3] (tradução nossa).

Apesar de o “problema de onerosidade computacional existir, a principal vantagem do estimador de máxima verossimilhança é o potencial para a eficiência” [89, p. 3] (tradução nossa). Todavia, de forma paralela, e até que essa dificuldade computacional seja superada, vem-se destacando o emprego de modelos baseados em metodologia bayesiana e por métodos de simulação [90]. Nessa linha, destacam-se alguns trabalhos recentes usando essa abordagem [91]–[93].

Uma terceira opção é o uso de modelos logit. Sobre estes, sabe-se que “o estimador de efeitos fixos pode ser generalizado para o modelo logit multinomial, desde que este modelo

implique modelo logit binário para comparação de alternativas por pares” [88, p. 798] (tradução nossa). Porém, “Para outros modelos multinomiais uma abordagem por efeitos aleatórios é necessária. Esses modelos, como o logit misto e o probit multinominal, são complicados para serem estimados mesmo no caso de dados de corte transversal” [88, p. 798] (tradução nossa).

Modelos logit multinomiais, computacionalmente mais simples de serem aplicados que os probit, foram empregados em diversos trabalhos [85], [86], [94]. Tratam-se de modelos elegantes e constituídos em forma fechada², baseados nas premissas de que “a) os erros são independentes e identicamente distribuídos (iid) com uma distribuição Tipo 1 de valores extremos (Gumbel); e b) a existência de homogeneidade da resposta não observada” [89, p. 15] (tradução nossa). Essa vantagem, contudo, resulta na Independência das Alternativas Irrelevantes (IAI), a qual determina que “a razão da probabilidade das escolhas para duas alternativas não é afetada pela presença da outra alternativa (...), ou seja, que as elasticidades-cruzadas são constantes” [89, p. 15] (tradução nossa). Explicado de outra forma, pode-se dizer que os modelos logit condicional e multinomial se reduzem a comparações entre pares de alternativas e, para cada uma dessas comparações, tornam-se irrelevantes as características das demais [88, p. 503]. “Este modelo é apropriado para problemas onde as características das alternativas não são importantes ou de interesse, ou quando essas informações simplesmente não estão disponíveis” [95, p. 647] (tradução nossa).

Claramente, portanto, a IAI torna-se um entrave para o entendimento das causas do processo de mudança de uso do solo proposto neste trabalho. Uma vez que o proprietário ou arrendatário da terra dispõe de múltiplas opções de uso de sua propriedade (agricultura, pecuária, regeneração, preservação da floresta, uso urbano e outras), essas são correlacionadas espacialmente, pois a decisão sobre o uso de uma área pode influenciar a vizinha. Por exemplo, o uso agrícola em uma propriedade pode levar à mesma decisão para a unidade contígua por razões ligadas à economia de escala, como o aproveitamento de máquinas agrícolas.

² Existem diversas definições sobre o conceito matemático de expressões fechadas, conforme explica BORWEIN, J.M.; CRANDALL, R.E. [191]. Uma delas diz que são “aquelas que contêm apenas um número finito de operadores +, -, *, /, e uma pequena lista de funções recorrentes tais como raízes n, exponenciais, logaritmos, funções trigonométricas, funções trigonométricas inversas, maiores inteiros, fatoriais, e afins” [191]. Outra definição afirma que uma “expressão é esprimível em forma fechada se puder ser convertida (simplificada) em outra expressão contendo unicamente funções elementares, combinada por uma quantidade finita de operações racionais e composições” [191].

No modelo logit multinomial deve-se considerar que “uma violação da premissa de IAI pode resultar em estimativas enviesadas para os parâmetros de interesse” [96, p. 4] (tradução nossa), podendo este problema ser solucionado com o emprego de técnicas que eliminam o efeito específico de modelos não espaciais [95, pp. 653–654]. Porém, não se pode prescindir de considerar a dependência espacial dos parâmetros, pois isso implica estimações inconsistentes devido à estrutura de variância heterocedástica e, portanto, essa solução deve ser descartada para o este trabalho [97]. Outra abordagem são os modelos Logit espacialmente correlacionados [96], [98], os quais partem da estrutura de forma fechada da função logit de probabilidade, na qual a premissa da IAI é relaxada sem violá-la, o que é feito pela aplicação de coeficiente de correlação entre elas pelo parâmetro ρ , cujo cálculo depende da função Gumbel bivariada por integração numérica [99, p. 153].

Ainda assim, apesar de serem computacionalmente menos exigentes que os modelos Probit, os modelos Logit espacialmente correlacionados também são de difícil aplicação para a base de dados utilizada neste trabalho. Isso porque o número de observações impede, com os recursos computacionais atuais, que a estimação seja feita com todas as observações de uma só vez. Essa dificuldade poderia ser contornada pelo emprego de modelos de simulação com amostragem espacial de dados de forma a eliminar a dependência espacial. Certamente, esta abordagem pode ser objeto de trabalhos futuros, que poderão explorar os dados sob novas óticas.

Uma quarta metodologia analisada para investigar o uso da terra consiste nos modelos de equações simultâneas pelo método espacial de equações aparentemente não relacionadas (SUR espacial) para dados em painel [100, p. 68]. Pode-se estimar esse sistema pelo modelo de coeficientes fixos com erros espaciais ou pelo modelo de coeficientes fixos com defasagem espacial [101]. O uso da metodologia de SUR espacial, todavia, não deve ser feito em dados com a matriz de correlação próxima da singularidade, pois isso produz estimativas não confiáveis ou não converge.

2.4.1.1 Metodologia e estimação econométrica

Neste trabalho, devido à alta correlação negativa entre as equações de pastagens e vegetação, como se verá na próxima seção, optou-se pela estimação das equações individualmente de forma separada por painéis de efeitos fixos, metodologia que produz resultados consistentes, apesar de não eficientes, sendo as estimativas confiáveis.

Neste trabalho, o modelo completo usado é dado pela **equação 1**:

$$Y_{i,m,t} = \mu_m + \tau_t + X_{m,t-2}\beta + WX_{m,t-2}\theta + u$$

$$u = \rho u + \varepsilon$$
(1)

sendo Y a parcela relativa dedicada a uma categoria de uso do solo, i o tipo de uso do solo, m o município, t o ano, μ_m e τ_t os efeitos específicos no espaço e no tempo, β , θ e ρ são os parâmetros a serem estimados, X são os controles mencionados na **Tabela 1**, W a matriz de pesos espaciais e u é o termo de erro.

2.4.2 Base de dados

Os dados utilizados compreendem um painel balanceado para a área do bioma Amazônia do estado de Mato Grosso e os estados do Pará e Rondônia, conforme indicado na **Figura 1**:

Figura 1 – Mapa dos municípios analisados

Fonte: Elaborado por Joel Risso, a quem agradeço pela autorização de uso.

Destaca-se que os dados espaciais foram inicialmente processados ao nível de pixel das imagens de satélite e com cada pixel contendo as classificações originais do TerraClass, o que representou um conjunto de 26,7 milhões de observações. Em seguida, as classificações dessas unidades territoriais foram simplificadas em 4 novas classes: agricultura, pastagem, vegetação e não agropecuário, o que reduziu a base de dados a um conjunto de 4,2 milhões de observações. Isso foi possível por meio da agregação de unidades com a mesma classe de uso e pela aplicação de um filtro temporal para os casos em que a área não foi observada por

conta da presença de nuvens. Neste caso, a não observação da classe de uso de uma unidade no período t foi solucionada pela atribuição da mesma classe observada nos períodos $t-1$ e $t+1$ quando estas eram as coincidentes. Quando este procedimento não foi suficiente, a classificação da área foi mantida como não observada. Finalmente, os dados foram agregados a nível municipal a fim de sua compatibilização com as demais variáveis explicativas.

As classificações original e final, utilizada neste trabalho, das imagens do TerraClass para os anos de 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014 podem ser vistas na **Tabela 1**:

Tabela 1 – Classificações original e final dos polígonos das imagens do TerraClass

Classificação original	Descrição	Nova classe de uso
Agricultura anual	Agricultura	AG
Reflorestamento	Agricultura	AG
Pasto limpo	Pecuária intensiva	PAST
Mosaico de ocupações	Pastagem de média/baixa produtividade	PAST
Pasto com solo exposto	Pastagem de média/baixa produtividade	PAST
Pasto sujo	Pastagem de média/baixa produtividade	PAST
Regeneração com pasto	Pastagem de média/baixa produtividade	PAST
Área não observada	Não agropecuário	NAP
Área urbana	Não agropecuário	NAP
Desflorestamentos	Não agropecuário	NAP
Hidrografia	Não agropecuário	NAP
Mineração	Não agropecuário	NAP
Não floresta	Não agropecuário	NAP
Outros	Não agropecuário	NAP
Floresta	Vegetação	VEG
Vegetação secundária	Vegetação	VEG

A classe “mosaico de ocupações” é caracterizada essencialmente por ocupações de pastagens de baixa produtividade, porém sem caracterização precisa de todas as atividades desenvolvidas nessa área. O “pasto com solo exposto” e a “regeneração com pasto” apresentam baixa cobertura de gramíneas e, no segundo caso, competem com a regeneração florestal em fase inicial. A categoria “outros” compreende grande diversidade de ocupações não agropecuárias, como afloramentos rochosos, praias fluviais, bancos de areia etc. Já as “áreas não observadas”, como já mencionado, são aquelas em que não foi possível sua caracterização em razão da cobertura por nuvens. Finalmente, as áreas de “não floresta” são

aquelas em que há presença de vegetação de savana típica de Cerrado [52], [102]. Essas áreas de não floresta foram excluídas da análise por não apresentarem variação ao longo do período em razão do seu não monitoramento pelo TerraClass.

Ao todo, essa região compreendeu um conjunto de 276 municípios pela grade de municípios do IBGE de 2010. Todavia, verificou-se que as áreas contidas em terras protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas) não apresentam variação na alocação das classes ao longo do período coberto pelo TerraClass, conforme se pode notar pela **Figura 2**:

Figura 2 – Uso do solo nas Unidades de Conservação e Terras Indígenas por estado

Ou seja, a variação da alocação das classes de uso do solo em áreas protegidas ficou praticamente inalterada ao longo dos anos. Isso se aplica tanto à média nos estados, conforme exposto, quanto aos municípios, que possuem composição distinta dos estados, porém igualmente estável. Diante desse fato, optou-se por analisar somente as áreas não contidas nas terras protegidas, o que levou à eliminação do município de Santa Cruz do Arari (PA) e, portanto, resultou em um conjunto de 275 municípios.

Sendo o objetivo deste trabalho analisar as variáveis econômicas que resultam nas mudanças dos padrões de uso do solo no bioma Amazônia dos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia entre os anos de 2004 e 2014, concluiu-se que a categoria “não agropecuário” não

se enquadrava nesse objetivo. Essa categoria compreende áreas cujas variáveis explicativas fogem à característica de área agropecuária ou de preservação, sendo esse o caso das áreas urbanas ou de mineração, ou são usos transitórios, como o desflorestamento, área que receberá uma destinação econômica ou poderá iniciar um processo de retorno à sua condição original de vegetação.

O modelo econômico que analisa a variação do percentual da área dedicada a cada tipo de uso do solo parte da premissa de que essa alocação depende de um conjunto de variáveis relacionadas a receitas advindas da produção agropecuária, custos de produção e riscos associados àquelas terras. Foram então reunidas informações municipais para um painel balanceado referentes a:

- **Receitas:**
 - Preços da soja: representa o indicador da lavoura com maior extensão na região e com cultivo em larga escala, condição fundamental para detecção pelas imagens do TerraClass;
 - Preço da madeira em toras: a variável está relacionada com a atratividade da extração vegetal.
- **Custos:** optou-se por usar os salários médios, em reais, de trabalhadores das atividades agrícolas, pecuárias e florestais.
- **Crédito:** volume de crédito rural oficial agrícola e pecuário.
- **Ambiente institucional e políticas públicas:** foram selecionadas as variáveis:
 - Área embargada: extensão da área oficial embargada no município. Variável busca capturar os efeitos da maior presença de ações de comando e controle;
 - Abertura comercial: índice que busca capturar os efeitos do comércio exterior (exportações e importações) sobre o uso da terra no município;
 - Ocorrência de conflitos agrários: variável *dummy* que busca capturar os efeitos de conflitos originados no meio rural sobre o uso da terra no município.

Essas variáveis foram selecionadas a partir de um conjunto maior com o uso de técnicas de análise multivariada de análise fatorial e por componentes principais. A primeira técnica definiu o número máximo de variáveis explicativas e levou à redução de covariados de 15 para 8 variáveis.

A segunda permitiu descartar as variáveis com poder explicativo semelhante, porém cuja presença reduzia o poder explicativo global do modelo em razão da multicolinearidade. Foram excluídas, portanto, *dummies* sobre a Moratória da Soja, da presença de indústrias de processamento de soja, das ações de fiscalização da Polícia Federal e da lista de municípios prioritários do MMA, a quantidade de autos de infração do Ibama e o PIB municipal. As variáveis aptidão do solo e distância não foram utilizadas por serem constantes e descartadas em modelos de painel por efeitos fixos.

A relação das fontes pode ser vista na **Tabela 2** e, na **Tabela 3**, as estatísticas descritivas das variáveis:

Tabela 2 – Relação e descrição das variáveis utilizadas no modelo

Variável	Descrição	Unidade	Fonte
AreaAG	Percentual da área ocupada por lavouras	..	INPE
AreaPAST	Percentual da área ocupada por pastagens	..	INPE
AreaVEG	Percentual da área ocupada por vegetação	..	INPE
Aemb	Área embargada oficial	..	MMA
SalMed	Salário médio do trabalhador da agricultura	R\$	MTE
CredAg	Crédito oficial concedido para a agricultura	R\$	BCB
CredPec	Crédito oficial concedido para a pecuária	R\$	BCB
Psoja	Preço da soja	R\$/kg	IBGE
PMad	Preço da madeira de reflorestamento em toras	R\$/m ³	IBGE
AbertCom	Índice de abertura comercial	..	*
D_CPT	<i>Dummy</i> sobre ocorrência de conflitos agrários	..	CPT

Obs.: .. - não se aplica dado numérico. * Elaborada a partir de dados de comércio exterior do Ministério da Indústria e Comércio Exterior e Serviços, PIB municipal do IBGE e taxa de câmbio comercial anual R\$ / US\$ do Banco Central do Brasil. Os preços do boi não foram incluídos porque não há estatística disponível para todos os municípios para os anos estudados.

Tabela 3 – Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas no modelo

Variável	n	Média	Desvio-padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
AreaVEG	1.375	0,032	0,090	0,000	0,000	0,712
AreaAG	1.375	0,416	0,256	0,434	0,000	0,958
AreaPAST	1.375	0,552	0,250	0,522	0,042	1,000
Aemb	1.375	0,387	1,868	0,000	0,000	34,555
SalMed	1.375	0,717	0,296	0,662	0,192	3,126
CredAg	1.375	0,670	2,662	0,060	0,000	48,670
CredPec	1.375	0,643	1,000	0,274	0,000	9,019
Psoja	1.375	0,448	0,173	0,410	0,209	1,285
PMad	1.375	0,001	0,001	0,001	0,000	0,008
AbertCom	1.375	0,731	2,312	0,000	0,000	26,753
D_CPT	1.375	0,239	0,427	0,000	0,000	1,000

Na **Tabela 4**, simétrica, é apresentada a correlação entre essas variáveis. Pode-se observar que não há indicativos de problemas graves de multicolinearidade entre elas, com exceção da alta correlação negativa entre as áreas de pastagem e vegetação:

Tabela 4 – Correlação entre as variáveis utilizadas no modelo

	AreaAG	AreaPAST	AreaVEG	Aemb	SalMed	CredAg	CredPec	Psoja	PMad	AbertCom	D_CPT
AreaAG	1,00										
AreaPAST	-0,24	1,00									
AreaVEG	-0,11	-0,94	1,00								
Aemb	0,00	-0,07	0,07	1,00							
SalMed	0,15	-0,03	-0,02	-0,02	1,00						
CredAg	0,60	-0,21	0,00	0,00	0,15	1,00					
CredPec	0,08	0,21	-0,25	0,18	0,19	0,17	1,00				
Psoja	0,11	0,00	-0,04	0,12	0,22	0,13	0,34	1,00			
PMad	0,07	0,00	-0,02	0,06	-0,05	0,08	0,14	0,34	1,00		
AbertCom	0,11	-0,09	0,05	-0,02	0,07	0,25	0,08	0,03	0,01	1,00	
D_CPT	-0,02	0,08	-0,08	0,10	0,06	0,01	0,12	0,01	-0,01	0,05	1,00

A análise do uso do solo nessa região de grande extensão territorial mostra-se desafiadora, pois nessa região existem características econômicas e sociais muito distintas. Enquanto a agricultura é uma atividade bastante desenvolvida no estado de Mato Grosso, especialmente na área compreendida no bioma Cerrado, pode-se afirmar que condições semelhantes existem somente em polos localizados nos estados de Rondônia e Pará. Contudo,

mesmo em Mato Grosso, o percentual dedicado à agricultura em 2014 foi de somente 6,35%, sendo esse percentual de 8,15% quando analisada a agricultura fora de terras protegidas. Nos outros estados, o percentual não chega a 1,5%, mesmo quando analisada a área sob propriedade privada. Ao todo, somente 1,93% da região possui lavouras de grande escala.

A pastagem é a atividade econômica com maior predominância, havendo também grande diversidade da intensidade e produtividade por região. Esta atividade ocupa, fora das áreas protegidas, em média, 30,72% da área analisada neste trabalho, sendo Rondônia o estado com maior percentual dedicado e atingindo 45,21%. De forma agregada, 17,54% da área total analisada foi utilizada com algum tipo de pastagem.

A vegetação, seja ela na forma de área de floresta nativa ou em regeneração, representou, em 2014, 69,24% da área total analisada neste trabalho. Dentro de áreas protegidas, esse percentual se eleva para 88,87%, sendo um patamar que se mantém estável ao longo dos anos. Fora dessas áreas, há uma ligeira redução desde 2004 acompanhada de aumento do percentual de pastagens e, em menor medida, de lavouras.

A área analisada compreende uma extensão de 1,974 milhão de km², superior ao México, 13º maior país em extensão territorial no mundo, o que dá uma dimensão do desafio da análise quando se aplicam esses percentuais. Além disso, trata-se de uma vasta região com características históricas, sociais e econômicas muito distintas, apesar de compreendidas no mesmo bioma, diferenças que ficaram evidentes nas estatísticas descritivas.

Isso pode ser visualizado a partir dos mapeamentos do uso e cobertura do solo na Amazônia Legal em 2004 e 2014, conforme **Figura 3**. Pode-se notar que as áreas em vegetação representadas nas cores verde escuro e claro, respectivamente, representam a maior parte da região. As pastagens, por sua vez, estão na cor amarela e ocupam de forma majoritária os desflorestamentos detectados pelo PRODES, enquanto as áreas agrícolas, na cor laranja, representam uma parcela pequena do uso do solo e estão presentes no centro-norte do Mato Grosso e em manchas esparsas pelo Pará e Rondônia. Na cor rosa, encontram-se as áreas de não floresta:

Figura 3 – Usos do solo em 2004 e 2014 pelo TerraClass.

Fonte: [103].

2.5 Resultados e discussão

Os resultados do modelo de efeitos fixos dispostos na **Tabela 5**. A partir do critério AIC, escolheu-se o modelo com erros espacialmente correlacionados informado na **Tabela 6** para as equações de agricultura e vegetação, e com variáveis explicativas e erros espacialmente correlacionados da **Tabela 7** para a equação de pastagem. Optou-se, dessa forma, pela apresentação conjunta desses três resultados.

Tabela 5 – Modelo de painel por efeitos fixos

Equação	Agricultura		Pastagem		Vegetação	
Coefficientes	Estimativa	Estatística t	Estimativa	Estatística t	Estimativa	Estatística t
Aemb	0,000	-0,652	0,004	2,923 ***	-0,003	-2,736 ***
SalMed	-0,015	-4,491 ***	-0,014	-1,566	0,028	3,279 ***
CredAg	0,003	6,924 ***	-0,002	-1,170	-0,002	-1,400
CredPec	0,002	1,462	0,007	2,341 **	-0,009	-2,935 ***
Psoja	0,024	1,979 **	-0,008	-0,231	-0,016	-0,506
PMad	0,319	0,242	-6,310	-1,757 *	5,991	1,702 *
AbertCom	0,003	3,971 ***	-0,003	-1,734 *	0,001	0,281
D_CPT	0,000	0,185	0,000	-0,090	0,000	0,022

Obs.: *** indica significância de 1%, ** 5% e * 10%.

Tabela 6 – Modelo de painel por efeitos fixos com erros espacialmente correlacionados

Equação	Agricultura		Pastagem		Vegetação	
Coefficientes	Estimativa	Estatística t	Estimativa	Estatística t	Estimativa	Estatística t
Aemb	0,000	0,578	0,001	2,180 **	-0,002	-2,651 ***
SalMed	-0,003	-1,237	0,000	-0,090	0,002	0,419
CredAg	-0,001	-1,549	0,001	0,871	0,000	0,452
CredPec	-0,001	-1,107	0,001	0,719	0,000	0,038
Psoja	0,005	0,451	0,011	0,537	-0,013	-0,654
PMad	-1,647	-1,206	-4,004	-1,348	5,914	2,080 **
AbertCom	0,002	4,383 ***	-0,001	-1,307	-0,001	-0,867
D_CPT	-0,002	-1,200	-0,001	-0,441	0,003	1,138
ρ	0,706	31,913 ***	0,827	52,987 ***	0,838	55,923 ***

Obs.: *** indica significância de 1%, ** 5% e * 10%.

Tabela 7 – Modelo de painel por efeitos fixos com variáveis explicativas e erros espacialmente correlacionados

Equação	Agricultura		Pastagem		Vegetação	
Coefficientes	Estimativa	Estatística t	Estimativa	Coefficientes	Estimativa	Estatística t
Aemb	0,000	-0,437	0,002	2,511 **	-0,002	-2,375 **
SalMed	-0,008	-3,038 ***	-0,006	-0,968	0,013	2,155 **
CredAg	0,000	-0,535	0,001	0,929	0,000	-0,203
CredPec	0,000	-0,228	0,003	1,193	-0,002	-1,058
Psoja	0,008	0,775	-0,001	-0,041	-0,006	-0,245
PMad	-1,997	-1,472	-3,871	-1,297	5,805	2,037 **
AbertCom	0,002	4,578 ***	-0,002	-1,301	-0,001	-0,543
D_CPT	-0,002	-1,053	0,001	0,238	0,002	0,460
W*Aemb	-0,001	-1,646 *	0,002	1,312	-0,001	-0,598
W*SalMed	-0,023	-4,053 ***	-0,023	-1,571	0,042	3,043 ***
W*CredAg	0,004	5,104 ***	0,001	0,278	-0,003	-1,354
W*CredPec	0,002	1,091	0,005	1,057	-0,008	-1,690 *
W*Psoja	0,031	1,516	-0,059	-1,104	0,034	0,653
W*Pmad	2,435	1,032	0,427	0,067	-2,325	-0,381
W*AbertCom	0,001	0,986	-0,001	-0,445	0,001	0,249
W*D_CPT	0,001	0,222	0,007	0,814	-0,006	-0,675
ρ	0,628	24,519	0,825	52,224	0,831	54,068

Obs.: *** indica significância de 1%, ** 5% e * 10%.

Para a análise, proceder-se-á à discussão para cada variável explicativa para os três modelos. É necessário ressaltar que os resultados aqui apresentados tratam dos efeitos das variáveis sobre as áreas relativas desses três usos do solo, ou seja, excluindo o uso não agropecuário.

Sob o ponto de vista municipal, que agregou as observações individualizadas, a política de áreas embargadas não teve efeitos sobre a área agrícola, mas exerceu efeitos positivos significativos sobre a área de pastagens e negativos sobre a de vegetação (Aemb, Tabelas 5 a 7). Esses resultados são inconclusivos nesse nível de análise municipal, pois os efeitos ocorrem dois anos após o aumento da área embargada e, portanto, não se pode concluir a respeito de sua causalidade, visto serem contraintuitivos em razão da política de embargos visar a redução do desflorestamento.

O salário do trabalhador agropecuário se mostrou uma variável relevante para capturar os custos de produção. A elevação dos salários produziu efeitos negativos sobre a área agrícola, sendo oposto o impacto sobre as áreas de vegetação nativa (SalMed, Tabelas 5 e 7). Em se tratando de regiões com custos de escoamento elevados em relação a outras regiões do país e, provavelmente, com menor produtividade do trabalho, aumentos dos salários acima da média em uma região tendem a deslocar espacialmente a atividade produtiva para outras regiões, o que se observa tanto pelos parâmetros diretos quanto pelos espacialmente defasados.

Da mesma forma que verificado com os salários, o crédito agrícola também produz efeitos positivos sobre os polos regionais de produção agrícola (CredAg, Tabela 5, e $W \cdot \text{CredAg}$, Tabela 7). Verificou-se, neste caso, que o aumento do crédito³ resulta em aumento relativo da área dedicada a lavouras no município e no seu entorno, não sendo significantes os parâmetros relacionados à pastagem e à vegetação.

Já o crédito destinado à produção pecuária não apresentou efeitos de encadeamento regionais semelhantes ao crédito agrícola. No modelo de efeitos fixos, foi encontrada relação positiva entre o crédito pecuário e a área de pastagem (CredPec, Tabela 5), porém essa relação não se mostrou significativa nos modelos espaciais (CredPec e $W \cdot \text{CredPec}$, Tabela 7). Contudo, detectou-se os efeitos negativos dessa variável sobre as áreas de vegetação, o que sinaliza a importância do aperfeiçoamento das políticas públicas para que possam considerar a um só tempo produção e conservação ambiental.

Os preços da soja também se mostraram relevantes para representar as receitas agrícolas e as expectativas do agricultor. Como esperado, a relação dessa variável com a área agrícola é positiva, mas significativa apenas no modelo de efeitos fixos (Psoja, Tabela 5). É

³ A variável crédito agrícola foi defasada em dois períodos.

possível que a baixa participação da agricultura na região analisada tenha prejudicado a estimação e que abordagens localizadas tragam novas respostas.

Por outro lado, o preço da madeira apresentou parâmetros significantes para as áreas de pastagem e de vegetação (PMad, Tabelas 5 a 7). O aumento desses preços resulta em efeitos negativos sobre as pastagens e positivos sobre a vegetação, o que resulta da maior atratividade relativa de florestas plantadas e da valorização do estoque de madeira.

A abertura comercial de um município também se mostrou relevante para a área agrícola (AbertCom, Tabelas 5 a 7). Ou seja, municípios onde a importação e a exportação exercem papéis importantes na economia local tendem a aumentar a participação relativa dessa atividade. Exceto no modelo de efeitos fixos, no qual se verificou um efeito negativo, os demais parâmetros sobre pastagens e vegetação não se mostraram significativos.

Por fim, a variável *dummy* relacionada ao conflito de terras não foi significativa em nenhum dos modelos estimados, sendo mantida por representar o risco local e para evitar viés de variável omitida (D_CPT, Tabelas 5 a 7).

2.6 Conclusões

Os resultados deste trabalho analisam os efeitos das políticas públicas e das variáveis explicativas sob a ótica do uso e ocupação do solo nos municípios do bioma Amazônia. Diversamente dos estudos que buscaram entender a relação entre o desflorestamento e essas condicionantes, este teve por objetivo compreender a participação relativa das lavouras, pastagens e da vegetação nos municípios.

Esses dois objetivos coincidem em muitos aspectos, em especial na região de estudo, na forte presença de vegetação nativa e na investigação sobre o desflorestamento, mas são distintos na medida em que um se concentra na perda de florestas e outro na participação relativa destas no mosaico de uso e ocupação do solo. Em um primeiro momento, isso pode levar à interpretação de que há conflito entre os resultados das simulações e aqueles discutidos na revisão de literatura, sendo esse o caso das áreas embargadas, por exemplo.

Contudo, ao contrário, ratifica-se aqui o que foi observado pelos autores. Os resultados mostraram os sinais esperados das variáveis observadas com relação a preços e abertura

comercial com relação a agricultura e a pecuária. Em regra, aumentos nos preços e a estruturação dos municípios para o comércio exterior tendem a produzir efeitos diretos positivos sobre a área dedicada à agricultura e negativos às pastagens. Isso reflete também a percepção geral de que a agricultura, especialmente com lavouras anuais, tende a ser mais rentável que a pecuária e, portanto, o aumento da competição entre esses dois usos do solo tende a favorecer o uso agrícola.

Sobre este tópico, faz-se um alerta quanto à ausência de um indicador anual público de preços para a pecuária em nível municipal. Atualmente, os indicadores de preços são divulgados somente por entidades privadas e para poucas praças. Esta lacuna precisa ser corrigida a fim de permitir aprofundar análises do setor e melhor formulação de políticas públicas.

Relativamente à abertura comercial, os resultados indicam a existência de economias internas de escala relacionadas à troca de conhecimentos e experiências entre os agentes produtivos na formação de polos de exportação agrícolas. Conclui-se, neste caso, que municípios mais estruturados para o comércio exterior por meio de infraestrutura e de serviços de apoio tendem a observar o crescimento mais acelerado das áreas dedicadas a lavouras.

Além da abertura comercial, os salários também são uma variável sensível e variações positivas não precedidas de aumentos de produtividade podem ensejar desequilíbrios decorrentes do deslocamento regional da produção. Ou seja, é imprescindível que as políticas públicas promovam o aumento da produtividade do trabalho e da infraestrutura de transportes, comunicação etc. de forma mais homogêneas nesses municípios como forma de incentivar o desenvolvimento da região como um todo e atenuar a concentração excessiva.

De forma oposta, a valorização dos produtos florestais está diretamente relacionada com a atratividade das áreas de vegetação, especialmente quando as áreas de florestas estão em competição com pastagens. Sabe-se que a madeira é apenas um dos inúmeros produtos e serviços oferecidos pela floresta, entre eles as resinas, produtos para as indústrias cosmética e farmacêutica, água para consumo humano e animal, absorção de C, turismo etc. Logo, ações que contribuam para essa valorização e para o aumento das receitas do produtor rural serão importantes aliadas na conservação do grande estoque de áreas nativas em propriedades

privadas e para o aumento da conscientização sobre importância da conservação do meio ambiente.

Os resultados relacionados ao crédito também apresentaram conformidade com o esperado, sendo o aumento da oferta de recursos positivo tanto para o incremento da área agrícola, quanto da pecuária. Dado que o setor público desempenha papel relevante neste aspecto, isso mostra a oportunidade de redesenho das políticas públicas com o objetivo de aumentar sua eficácia e a conciliar objetivos econômicos de produção com a conservação ambiental, especialmente nas linhas destinadas à pecuária.

A alocação de mais de 33,3 milhões de hectares em pastagens na região indica que há espaço para ações de aumento da produtividade e da produção pecuária alinhadas aos compromissos ambientais. Porém, as políticas públicas devem observar o processo de conversão de áreas com boa aptidão para lavouras a fim de que não ocorra migração da pecuária para novas áreas de florestas.

Nessa linha, devem ser repensadas políticas desenvolvidas para combate ao desflorestamento a fim de aprimorá-las em programas de promoção de ações de sustentabilidade a fim de promover o melhor aproveitamento das terras para usos mais intensivos e, com isso, evitar a pressão sobre novas áreas de floresta nativa. Essas conclusões estão alinhadas com a terceira fase do PPCDAm, que trabalha pela criação de instrumentos de valorização das atividades produtivas sustentáveis, entre elas a comercialização de madeira por meio do manejo florestal sustentável, e com os compromissos do Brasil no Acordo de Paris.

Trabalhos futuros podem analisar regiões menores e com maior desagregação de usos da terra, o que poderá trazer luz para novas questões.

Referências

- [1] M. Mazoyer and L. Roudart, *A History of World Agriculture from the Neolithic Age to the Current Crisis*. London, England, 2006.
- [2] J. M. Roberts and O. A. Westad, *The Penguin History of the World*, Sixth edit. London, England: Penguin Books, 2014.
- [3] E. Hobsbawm, *A Era do Capital: 1848-1875*, 5ª edição. Rio de Janeiro, RJ: Paz e Terra, 1996.

- [4] J. M. Roberts, *The Penguin History of the Twentieth Century*. Penguin Books, 1999.
- [5] E. Hobsbawm, *The Age of Extremes: a History of the World, 1914-1991*. New York, USA: Vintage Books, 1996.
- [6] J. P. Holdren and P. R. Ehrlich, "Human Population and the Global Environment: Population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force," *Am. Sci.*, vol. 62, no. 3, pp. 282–292, 1976.
- [7] P. Moutinho, R. Guerra, and C. Azevedo-Ramos, "Achieving zero deforestation in the Brazilian Amazon: What is missing?," *Elem. Sci. Anthr.*, vol. 4, p. 000125, 2016.
- [8] L. C. P. Dias, F. M. Pimenta, A. B. Santos, M. H. Costa, and R. J. Ladle, "Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture," *Glob. Chang. Biol.*, vol. 22, no. 8, pp. 2887–2903, 2016.
- [9] C. A. Silva and M. Lima, "Soy Moratorium in Mato Grosso: Deforestation undermines the agreement," *Land use policy*, vol. 71, no. November 2017, pp. 540–542, 2018.
- [10] L. J. Sonter, D. Herrera, D. J. Barrett, G. L. Galford, C. J. Moran, and B. S. Soares-Filho, "Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon," *Nat. Commun.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–7, 2017.
- [11] FAO, *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Rome, 2017.
- [12] 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, DF, 2013.
- [13] A. A. C. do Lago, *Stockholm, Rio, Johannesburg: Brazil and the Three United Nations Conferences on the Environment*. Brasília, DF, 2009.
- [14] L. A. de C. Neves and R. H. Dalaqua, *De Estocolmo72 à Rio+20: uma análise sobre a atuação brasileira nas principais conferências internacionais sobre meio ambiente e desenvolvimento*, vol. Junho, no. Edição especial: caminhos para a sustentabilidade. Rio de Janeiro, RJ, 2012.
- [15] A. A. C. do Lago, *Conferências de Desenvolvimento Sustentável*. Brasília, DF: FUNAG, 2013.
- [16] X. Arnauld de Sartre and R. Taravella, "National sovereignty vs. sustainable development lessons from the narrative on the internationalization of the Brazilian Amazon," *Polit. Geogr.*, vol. 28, no. 7, pp. 406–415, 2009.
- [17] BRASIL, *Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. 1981.
- [18] BRASIL, *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF, 1988.
- [19] BRASIL, *Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Brasília, DF, 2012.
- [20] BRASIL, *Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965*. Brasília, DF, 1965.
- [21] BRASIL, *Medida Provisória nº 1.511, de 25 de julho de 1996*. Brasília, DF, 1996.
- [22] INPE, "Taxas anuais do desmatamento - 1988 até 2014," 2015. [Online]. Available: http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2014.htm. [Accessed: 01-Nov-2015].
- [23] C. Santos, "Agronegócio já pode crescer sem desmatar," *Valor Econômico*, 22-Jun-2016.

- [24] F. de Lorenzo, “Agricultura pode crescer sem prejudicar ambiente, diz Ministério,” *Valor Econômico*, Oct-2010.
- [25] “Área agrícola pode crescer 30 milhões de hectares sem desmatar,” *Revista Dinheiro Rural*, Aug-2014.
- [26] “Produção sem desmatar,” *Agronovas*, 11-Nov-2016.
- [27] “Agronegócio já reconhece que é possível produzir sem desmatar,” *Estadão*, 05-May-2010.
- [28] J. H. Ribeiro, C. Dassie, and C. Fazzio, “Produtores enfrentam o desafio de dobrar a produção sem desmatar,” *Globo Rural*, Nov-2015.
- [29] ACRISSUL, “Brasil lidera produção de soja com recuperação de áreas degradadas,” 21-Jan-2016. [Online]. Available: <http://www.acrissul.com.br/noticias/ver/6922/brasil?lidera?producao?de?soja?com?recuperacao?de?areas?degradadas>. [Accessed: 04-Jul-2016].
- [30] “Recuperação de pastagem evita desmatar novas áreas,” *Canal Rural*, 27-Apr-2015. [Online]. Available: <http://www.canalrural.com.br/noticias/rural?noticias/recuperacao?pastagem?evita?desmatar?novas?areas?56163>. [Accessed: 04-Jul-2016].
- [31] FIESP, “Intensificação da produtividade pecuária pode liberar até 70 mi hectares para agricultura,” 04-Jul-2011. [Online]. Available: <http://www.fiesp.com.br/noticias/intensificacao?da?produtividade?pecuaria?pode?liberar?ate?70?mi?hectares?para?agricultura/>. [Accessed: 04-Jul-2016].
- [32] A. L. Azevedo, “Com 1 boi por hectare , pecuária extensiva degrada cerrado,” *O Globo*, 04-Jul-2015. [Online]. Available: <http://oglobo.globo.com/economia/com-um-boi-por-hectare-pecuaria-extensiva-degrada-cerrado-17490426>. [Accessed: 09-Jul-2016].
- [33] Observatório ABC, “Intensificar pecuária pode liberar 44 milhões de hectares de pastagens,” 10-Dec-2014. [Online]. Available: <http://www.observatorioabc.com.br/intensificar-pecuaria-pode-liberar-44-milhoes-de-hectares-de-pastagens?locale=pt-br>. [Accessed: 09-Jul-2016].
- [34] Observatório ABC, “Em 10 anos , ABC pode poupar 100 milhões de hectares de pastagens,” 04-Apr-2016. [Online]. Available: <https://www.observatorioabc.com.br/em?10?anos?abc?pode?poupar?100?milhoes?de?hectares?de?pastagens?locale=pt?br>. [Accessed: 07-Apr-2016].
- [35] M. B. Dias-Filho, “Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira,” *Rev. Bras. Zootec.*, vol. 40, no. Suplemento especial, pp. 243–252, 2011.
- [36] BRASIL, *Nationally appropriate mitigation actions of developing country Parties*. UNFCCC, 2010.
- [37] BRASIL, *Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*, vol. 9. Brasília, DF, 2015.
- [38] BRASIL, *Lei 12.187*. Brasília, DF, 2009, pp. 1–5.
- [39] BRASIL, *Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010*. Brasília, DF, 2010.

- [40] MAPA, “Plano ABC: histórico,” 2016. [Online]. Available: <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc/historico>. [Accessed: 17-Jul-2016].
- [41] A. Angelsen, “Agricultural expansion and deforestation: modelling the impact of population, market forces and property rights,” *J. Dev. Econ.*, vol. 58, no. 1, pp. 185–218, 1999.
- [42] E. B. Barbier, “The Economics of Tropical Deforestation and Land Use: An Introduction to the Special Issue,” *Land Econ.*, vol. 77, no. 2, pp. 155–171, 2001.
- [43] R. M. Ewers, W. F. Laurance, and C. M. Souza, “Temporal fluctuations in Amazonian deforestation rates,” *Environ. Conserv.*, vol. 35, no. 04, p. 303, 2008.
- [44] D. Byerlee, J. Stevenson, and N. Villoria, “Does intensification slow crop land expansion or encourage deforestation?,” *Glob. Food Sec.*, vol. 3, no. 2, pp. 92–98, 2014.
- [45] J. Godar, T. A. Gardner, E. J. Tizado, and P. Pacheco, “Actor-specific contributions to the deforestation slowdown in the Brazilian Amazon,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 111, no. 43, pp. 15591–15596, 2014.
- [46] FAO, “How to Feed the World in 2050,” *Insights from an Expert Meet. FAO*, vol. 2050, no. 1, pp. 1–35, 2009.
- [47] D. M. Lapola *et al.*, “Pervasive transition of the Brazilian land-use system,” *Nat. Clim. Chang.*, vol. 4, no. 1, pp. 27–35, 2014.
- [48] H. W. Kendall and D. Pimentel, “Constraints on the expansion of the global food supply,” *R. Swedish Acad. Sci.*, vol. 23, no. 3, pp. 198–205, 1994.
- [49] M. B. Dias-Filho, *Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação*, 4^a edição. Belém, PA: MBDF, 2011.
- [50] H. R. Grau and M. Aide, “Globalization and land-use transitions in Latin America,” *Ecol. Soc.*, vol. 13, no. 2, p. 16, 2008.
- [51] INPE, “Projeto Terraclass,” 2016. [Online]. Available: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2010.php. [Accessed: 17-Jul-2016].
- [52] C. A. de Almeida *et al.*, “High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data,” *Acta Amaz.*, vol. 46, no. 3, pp. 291–302, 2016.
- [53] C. E. F. Young, “Public policy and deforestation in the Brazilian Amazon,” *Planej. e Políticas Públicas*, vol. 18, pp. 201–222, 1998.
- [54] J. L. C. Camargo, I. D. K. F. Ferraz, and A. M. Imakawa, “Rehabilitation of degraded areas of Central Amazonia using direct sowing of forest tree seeds,” *Restor. Ecol.*, vol. 10, no. 4, pp. 636–644, 2002.
- [55] G. Parayil and F. Tong, “Pasture-led to logging-led deforestation in the Brazilian Amazon: the dynamics of socio-environmental change,” *Glob. Environ. Chang.*, vol. 8, no. 1, pp. 63–79, 1998.
- [56] S. M. Ichihara, “Desmatamento e recuperação de pastagens degradadas na região amazônica: uma abordagem através das análises de projetos,” USP. ESALQ., 2003.

- [57] M. F. Simon and F. L. Garagorry, "The expansion of agriculture in the Brazilian Amazon," *Environ. Conserv.*, vol. 32, no. 3, pp. 203–212, 2006.
- [58] J.-L. Arcand, P. Guillaumont, and S. G. Jeanneney, "Deforestation and the real exchange rate," *J. Dev. Econ.*, vol. 86, no. 2, pp. 242–262, 2008.
- [59] S. S. Sclericiu, "Can economic causes of tropical deforestation be identified at a global level?," *Ecol. Econ.*, vol. 62, no. 3–4, pp. 603–612, 2007.
- [60] O. Damette and P. Delacote, "On the economic factors of deforestation: What can we learn from quantile analysis?," *Econ. Model.*, vol. 29, no. 6, pp. 2427–2434, 2012.
- [61] A. J. Peron and A. R. Evangelista, "Degradação de pastagens em regiões de cerrado," *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 28, no. 3, pp. 655–661, 2004.
- [62] C. R. Townsend, N. de L. Costa, and R. G. de A. Pereira, "Aspectos econômicos da recuperação de pastagens no bioma Amazônia," *Pubvet*, vol. 4, no. 14, p. 31, 2010.
- [63] S. McCormick, N. Jenkins, M. Maginnis, "Biofuels and Degraded Land The potential role of intensive agriculture in landscape restoration," 2014.
- [64] J. L. N. Carvalho, J. C. Avanzi, M. L. N. Silva, C. R. de Mello, and C. E. P. Cerri, "Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas no Brasil," *Rev. Bras. Ciência do Solo*, vol. 34, no. 2, pp. 277–289, 2010.
- [65] G. L. Galford *et al.*, "Greenhouse gas emissions from alternative futures of deforestation and agricultural management in the southern Amazon," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 107, no. 46, pp. 19649–19654, 2010.
- [66] P. M. Fearnside, "Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest," *For. Ecol. Manage.*, vol. 80, no. 1–3, pp. 21–34, 1996.
- [67] A. Albrecht and S. T. Kandji, "Carbon sequestration in tropical agroforestry systems," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 99, no. 1–3, pp. 15–27, 2003.
- [68] S. P. Braz *et al.*, "Soil Carbon Stocks under Productive and Brachiaria Degraded Pastures in the Brazilian Cerrado," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 77, no. 3, pp. 914–928, 2013.
- [69] T. Desjardins, E. Barros, M. Sarrazin, C. Girardin, and A. Mariotti, "Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 103, no. 2, pp. 365–373, 2004.
- [70] P. M. Fearnside and R. I. Barbosa, "Soil carbon changes from conversion of forest to pastures in Brazilian Amazonia," *For. Ecol. Manage.*, vol. 108, no. 1–2, pp. 147–166, 1988.
- [71] M. M. L. Müller, M. F. Guimarães, T. Desjardins, and D. Mitja, "The relationship between pasture degradation and soil properties in the Brazilian amazon: a case study," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 103, no. 2, pp. 279–288, 2004.
- [72] T. D. D. A. Sá, O. R. Kato, C. J. R. Carvalho, and R. D. O. Figueiredo, "Queimar ou não queimar?," *Rev. USP*, vol. 72, pp. 90–97, 2007.
- [73] F. Montagnini, "Strategies for the recovery of degraded ecosystems: experiences from Latin America," *Interciencia*, vol. 26, no. 10, pp. 498–503, 2001.

- [74] C. Uhl, R. Buschbacher, and E. A. S. Serrao, "Abandoned Pastures in Eastern Amazonia . I. Patterns of Plant Succession," *Br. Ecol. Soc.*, vol. 76, no. 3, pp. 663–681, 1988.
- [75] A. N. Kichel, C. H. B. M. Miranda, and A. H. Zimmer, "Degradação de pastagens e produção de bovinos de corte com a integração agricultura x pecuária," in *I Simpósio de Produção de Gado de Corte*, 1999, pp. 201–234.
- [76] J. L. N. Carvalho *et al.*, "Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil," *Soil Tillage Res.*, vol. 110, no. 1, pp. 175–186, 2010.
- [77] N. C. Noronha *et al.*, "Recovery of degraded pasture in Rondônia: macronutrients and productivity of brachiaria brizantha," *Rev. Bras. Ciência do Solo*, vol. 34, no. 5, pp. 1711–1720, 2010.
- [78] L. C. Balbino, L. Adriano, M. Cordeiro, V. Porfirio, and A. De Moraes, "Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura - pecuária - floresta no Brasil," *Pesqui. Agropecuária Bras.*, vol. 46, no. 10, pp. i–ix, 2011.
- [79] M. B. Dias-Filho, "Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens," *Supl. Espec. da Rev. Bras. Zootec.*, vol. 35, pp. 535–553, 2006.
- [80] R. Perin, G. C. Martins, S. R. Muniz, and G. M. Linhares, "Sistema de pastejo rotacionado intensivo como alternativa para a recuperação de áreas degradadas no estado do Amazonas," *Amaz. Ciência Desenvolv.*, vol. 4, no. 8, pp. 235–244, 2009.
- [81] M. M. L. Muller, M. de F. Guimarães, T. Desjardins, and P. F. D. S. Martins, "Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes," *Pesqui. Agropecu. Bras.*, vol. 36, no. 11, pp. 1409–1418, 2001.
- [82] B. B. N. Strassburg *et al.*, "When enough should be enough: improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 28, no. 1, pp. 84–97, 2014.
- [83] A. M. Mazzetto, B. J. Feigl, R. L. M. Schils, C. E. P. Cerri, and C. C. Cerri, "Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system," *Livest. Sci.*, vol. 175, pp. 101–112, 2015.
- [84] R. N. Lubowski, A. J. Plantinga, R. N. Stavins, N. Ruben, J. Plantinga, and N. Robert, "What drives Land-Use Change in the United States? A National Analysis of Landowner Decisions," *Land Econ.*, vol. 84, no. 4, pp. 529–550, 2008.
- [85] D. J. Lewis and A. J. Plantinga, "Policies for Habitat Fragmentation: Combining Econometrics with GIS-Based Landscape Simulations," *Land Econ.*, vol. 83, no. 2, pp. 109–127, 2007.
- [86] B. S. Rashford, J. A. Walker, and C. T. Bastian, "Economics of Grassland Conversion to Cropland in the Prairie Pothole Region," *Conserv. Biol.*, vol. 25, no. 2, pp. 276–284, 2011.
- [87] B. S. Rashford, C. T. Bastian, and J. G. Cole, "Agricultural Land-Use Change in Prairie Canada: Implications for Wetland and Waterfowl Habitat Conservation," *Can. J. Agric. Econ.*, vol. 59, no. 2, pp. 185–205, 2011.
- [88] A. C. Cameron and P. K. Trivedi, *Microeconometrics: Methods and Applications*. New York: Cambridge University Press, 2005.

- [89] A. G. Billé and G. Arbia, “Spatial discrete choice and spatial limited dependent variable models: a review with an emphasis on the use in regional health economics,” 2, 2013.
- [90] T. E. Smith and J. P. LeSage, “A bayesian Probit model with spatial dependencies,” in *Spatial and Spatiotemporal Econometrics*, vol. 18, Emerald Group Publishing Limited, 2004, pp. 127–160.
- [91] R. Chakir and O. Parent, “Determinants of land use changes: A spatial multinomial probit approach,” *Pap. Reg. Sci.*, vol. 88, no. 2, pp. 327–344, 2009.
- [92] X. C. Wang, K. M. Kockelman, and J. D. Lemp, “The dynamic spatial multinomial probit model: Analysis of land use change using parcel-level data,” *J. Transp. Geogr.*, vol. 24, pp. 77–88, 2012.
- [93] E. Y. Arima, “A Spatial Probit Econometric Model of Land Change: The Case of Infrastructure Development in Western Amazonia, Peru,” *PLoS One*, vol. 11, no. 3, p. e0152058, 2016.
- [94] B. S. Rashford, S. E. Albeke, and D. J. Lewis, “Modeling grassland conversion: Challenges of using satellite imagery data,” *Am. J. Agric. Econ.*, vol. 95, no. 2, pp. 404–411, 2013.
- [95] J. M. Wooldridge, *Econometric analysis of cross section and panel data*, Second Edi. The MIT Press, 2010.
- [96] G. T. Parady and E. Hato, “Accounting for spatial correlation in tsunami evacuation destination choice: a case study of the Great East Japan Earthquake,” *Nat. Hazards*, pp. 1–11, 2016.
- [97] M. M. Fleming, “Techniques for Estimating Spatially Dependent Discrete Choice Models,” in *Advances in Spatial Econometrics: Methodology, Tools and Applications*, L. Anselin, R. J. G. M. Florax, and S. J. Rey, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004, pp. 145–168.
- [98] C. R. Bhat and J. Guo, “A mixed spatially correlated logit model: Formulation and application to residential choice modeling,” *Transp. Res. Part B Methodol.*, vol. 38, no. 2, pp. 147–168, 2004.
- [99] I. N. Sener, R. M. Pendyala, and C. R. Bhat, “Accommodating spatial correlation across choice alternatives in discrete choice models: An application to modeling residential location choice behavior,” *J. Transp. Geogr.*, vol. 18, no. 5, pp. 624–633, 2010.
- [100] J. P. Elhorst, R. Devillers, F. Group, D. Del, T. Internacional, and M. José, *Spatial Econometrics From Cross-Sectional Data to Spatial Panels*, vol. 16. Springer, 2014.
- [101] F. A. López, J. Mur, and A. Angulo, “Spatial model selection strategies in a SUR framework. The case of regional productivity in EU,” *Ann. Reg. Sci.*, vol. 53, no. 1, pp. 197–220, 2014.
- [102] INPE and Embrapa, “Projeto TerraClass: levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia - Sumário Executivo,” 2011.
- [103] INPE and Embrapa, “TerraClass 2004 a 2014: dinâmica do uso e cobertura da terra no período de 10 anos nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal Brasileira,” Brasília, DF, 2016.

- [104] CONAB, “Séries históricas de área plantada, produtividade e produção relativas às safras de grãos 1976/77 a 2014/15: soja.” Brasília, DF, 2016.
- [105] D. Weinhold, E. Killick, and E. J. Reis, “Soybeans, poverty and inequality in the Brazilian Amazon,” *World Dev.*, vol. 52, pp. 132–143, 2013.
- [106] P. Richards, H. Pellegrina, L. VanWey, and S. Spera, “Soybean Development: the impact of a decade of agricultural change on urban and economic growth in Mato Grosso, Brazil,” *PLoS One*, vol. 10, no. 4, p. e0122510, 2015.
- [107] Greenpeace, “Comendo a Amazônia,” Manaus, AM, 2006.
- [108] ABIOVE, “Moratória da Soja: Declaração das Empresas,” São Paulo, SP, 2006.
- [109] ABIOVE, “Banco do Brasil adere à Moratória da Soja,” São Paulo, SP, 2010.
- [110] Greenpeace, “Indústria da soja promete não financiar produtores que causem novos desmatamentos na Amazônia,” 2007. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/ind-stria-da-soja-promete-n-o/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [111] Greenpeace, “Indústria da soja anuncia moratória no desmatamento da Amazônia depois de pressão de consumidores,” 2006. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/ind-stria-da-soja-anuncia-mora/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [112] Greenpeace, “Moratória da soja é renovada pela última vez,” 2014. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Moratoria-da-soja-e-renovada-pela-ultima-vez/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [113] Greenpeace, “Mais um ano de trégua para a Amazônia,” 2010. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Mais-um-ano-de-tregua-para-a-Amazonia/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [114] Greenpeace, “Seis anos de moratória,” 2012. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Seis-anos-de-moratoria/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [115] ABIOVE, “Moratória da Soja: Termo de Compromisso,” São Paulo, SP, 2009.
- [116] Greenpeace, “Monitoramento na Amazônia comprova: moratória da soja deu resultado,” 2008. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/monitoramento-comprova-morat/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [117] Greenpeace, “Moratória da soja vale até 2010,” 2009. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/morat-ria-da-soja-vale-ate-201/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [118] ABIOVE, “ABIOVE: Moratória da Soja no Bioma Amazônia foi renovada,” São Paulo, SP, 2016.
- [119] ABIOVE, “Moratória da Soja: 2º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2009.
- [120] ABIOVE, “Moratória da Soja: 3º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2010.

- [121] ABIOVE, “Moratória da Soja: 4º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2011.
- [122] ABIOVE, “Moratória da Soja: 5º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2012.
- [123] ABIOVE, “Moratória da Soja: 6º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2013.
- [124] ABIOVE, “Moratória da Soja: 7º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2014.
- [125] ABIOVE, “Arquivos com Estatísticas do Biodiesel,” 2015. [Online]. Available: www.abiove.com.br. [Accessed: 06-Jul-2015].
- [126] ABIOVE, “Moratória da Soja: 8º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2016.
- [127] B. F. T. Rudorff *et al.*, “The soy moratorium in the Amazon biome monitored by remote sensing images,” *Remote Sens.*, vol. 3, no. 1, pp. 185–202, 2011.
- [128] B. F. T. Rudorff *et al.*, “Remote Sensing Images to Detect Soy Plantations in the Amazon Biome-The Soy Moratorium Initiative,” *Sustainability*, vol. 4, no. 12, pp. 1074–1088, 2012.
- [129] ABIOVE, “Reconhecimento Público,” 2010. [Online]. Available: http://www.abiove.org.br/site/_FILES/Portugues/17072012-140138-ms4_reconhecimento_clientes_2010_br.pdf. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [130] The European Soy Consumer Group, “2010 Joint Statement of the European Soy Customer Group,” 2010. [Online]. Available: http://www.abiove.org.br/site/_FILES/English/17072012-145031-ms03a_reconhecimento_clientes_2010_us.pdf. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [131] The European Soy Consumer Group, “European Soy Customer Group Statement,” 2011. [Online]. Available: http://www.abiove.org.br/site/_FILES/Portugues/18062012-174233-ms_reconhecimento_2011_us.pdf. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [132] IPEA, GIZ, and Cepal, “Avaliação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal: PPCDAm 2007-2010,” 2011.
- [133] J. Risso, “Diagnóstico espacialmente explícito da expansão da soja no Mato Grosso de 2000 a 2012,” INPE, 2013.
- [134] J. Assunção, C. Gandour, and R. Rocha, “Deforestation Slowdown in the Brazilian Amazon: Prices or Policies?,” Rio de Janeiro, RJ, 2015.
- [135] J. Assunção, C. Gandour, and R. Rocha, “DETERring deforestation in the Brazilian Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement - Webinar Slides,” Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- [136] D. Boucher, P. Elias, J. Faires, and S. Smith, “Histórias de sucesso no âmbito do desmatamento,” Cambridge, MA, 2014.
- [137] H. K. Gibbs *et al.*, “Brazil’s Soy Moratorium - Supplementary Material,” *Sci. - Policy Forum Environ. Dev.*, vol. 347, no. 6220, pp. 377–378, 2014.
- [138] H. K. Gibbs, “The End of Brazil’s Soy Moratorium Will Mean More Deforestation,” 2014.

- [139] D. Nepstad *et al.*, “Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains,” *Science* (80-.), vol. 344, no. 6188, pp. 1118–23, 2014.
- [140] M. N. Macedo, R. S. DeFries, D. C. Morton, C. M. Stickler, G. L. Galford, and Y. E. Shimabukuro, “Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 109, no. 4, pp. 1341–1346, 2012.
- [141] H. K. Gibbs *et al.*, “Did Ranchers and Slaughterhouses Respond to Zero-Deforestation Agreements in the Brazilian Amazon?,” *Conserv. Lett.*, p. 18, May 2015.
- [142] Greenpeace, “Bertin, Carrefour, Wal Mart e Pão de Açúcar respondem ao relatório do Greenpeace,” 2009. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/bertin-carrefour-wal-mart-e/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [143] D. C. Morton *et al.*, “Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 103, no. 39, pp. 14637–14641, 2006.
- [144] T. Searchinger *et al.*, “Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change,” *Science* (80-.), vol. 423, no. February, pp. 1238–1241, 2008.
- [145] J. Fargione, J. Hill, D. Tilman, S. Polasky, and P. Hawthorne, “Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt,” *Science* (80-.), vol. 319, no. February, pp. 1235–1239, 2008.
- [146] E. Barona, N. Ramankutty, G. Hyman, and O. T. Coomes, “The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 5, no. 2, p. 9, 2010.
- [147] D. M. Lapola *et al.*, “Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 107, no. 8, pp. 3388–3393, 2010.
- [148] E. Y. Arima, P. Richards, R. Walker, and M. M. Caldas, “Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 6, no. 2, p. 024010, 2011.
- [149] ABIOVE, “Moratória da Soja: Safra 2016/2017,” São Paulo, SP, 2017.
- [150] Greenpeace, “Desmatamento Zero,” 2015. [Online]. Available: <http://www.desmatamentozero.org.br/>. [Accessed: 01-Nov-2015].
- [151] A. A. Azevedo, M. C. C. Stabile, and T. N. P. Reis, “Commodity production in Brazil: Combining zero deforestation and zero illegality,” *Elem. Sci. Anthr.*, vol. 3, no. 1, p. 12, 2015.
- [152] M. S. Bowman, B. S. Soares-Filho, F. D. Merry, D. C. Nepstad, H. Rodrigues, and O. T. Almeida, “Persistence of cattle ranching in the Brazilian Amazon: a spatial analysis of the rationale for beef production,” *Land use policy*, vol. 29, no. 3, pp. 558–568, 2012.
- [153] A. S. Cohn *et al.*, “Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 111, no. 20, pp. 7236–7241, 2014.

- [154] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “Censo Agropecuário 2006,” Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- [155] J. B. De Souza Ferreira Filho, L. Ribera, and M. Horridge, “Deforestation control and agricultural supply in Brazil,” *Am. J. Agric. Econ.*, vol. 97, no. 2, pp. 589–601, 2015.
- [156] D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, and W. W. Behrens III, *The Limits to Growth*. New York: Universe Brooks, 1972.
- [157] MMA, *O Brasil na Agenda Internacional para o Desenvolvimento Sustentável*. Brasília, DF, 2013.
- [158] INPE, “Projeto PRODES,” 2015. [Online]. Available: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>. [Accessed: 17-Nov-2015].
- [159] Greenpeace, “Artigo publicado na revista Science reconhece eficácia da Moratória da Soja,” 2015. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Artigo-publicado-na-revista-Science-reconhece-eficacia-da-Moratoria-da-Soja/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [160] INPE, “Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites: sistemas PRODES, DETER, DEGRAD e Queimadas 2007-2008,” São José dos Campos - SP, 2008.
- [161] A. B. Coelho and D. R. D. de Aguiar, “O Modelo Quadratic Almost Ideal Demand System (Quaid): Uma Aplicação Para O Brasil,” in *Gasto e Consumo das Famílias Brasileiras Contemporâneas - Volume 2*, IPEA, 2007, pp. 485–514.
- [162] G. M. de Espindola, A. P. D. de Aguiar, E. Pebesma, G. Câmara, and L. Fonseca, “Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data,” *Appl. Geogr.*, vol. 32, no. 2, pp. 240–252, 2012.
- [163] J. Hargrave and K. Kis-Katos, “Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon: A Panel Data Analysis for the 2000s,” *Environ. Resour. Econ.*, vol. 54, no. 4, pp. 471–494, 2013.
- [164] M. Cropper, J. Puri, and C. Griffiths, “Predicting the Location of Deforestation : The Role of Roads and Protected Areas in North Thailand,” *Land Econ.*, vol. 77, no. 2, pp. 172–186, 2001.
- [165] A. Etter, C. McAlpine, K. Wilson, S. Phinn, and H. Possingham, “Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia,” *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 114, no. 2–4, pp. 369–386, 2006.
- [166] A. S. P. Pfaff, “What Drives Deforestation in the Brazilian Amazon?,” *J. Environ. Econ. Manage.*, vol. 37, no. 1, pp. 26–43, 1999.
- [167] K. S. Andam, P. J. Ferraro, A. Pfaff, G. A. Sanchez-Azofeifa, and J. A. Robalino, “Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing deforestation,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 105, no. 42, pp. 16089–16094, 2008.
- [168] A. Pfaff, A. Pfaff, J. Robalino, C. Sandoval, and D. Herrera, “Protected area types, strategies and impacts in Brazil’s Amazon: public protected area strategies do not yield a consistent ranking of protected area types by impact,” *Phil. Trans. R. Soc. B*, vol. 370, 2015.

- [169] A. Pfaff, J. Robalino, D. Herrera, and C. Sandoval, "Protected Areas' Impacts on Brazilian Amazon Deforestation: Examining Conservation – Development Interactions to Inform Planning," *PLoS One*, vol. 10, no. 7, p. e0129460, 2015.
- [170] E. Y. Arima, P. Barreto, E. Araújo, and B. Soares-Filho, "Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil," *Land use policy*, vol. 41, pp. 465–473, 2014.
- [171] L. C. Andrade, "Spillover effects of blacklisting policy in the Brazilian Amazon," Universidade de São Paulo, 2016.
- [172] W. F. Laurance *et al.*, "Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon," *J. Biogeogr.*, vol. 29, pp. 737–748, 2002.
- [173] K. R. Kirby *et al.*, "The future of deforestation in the Brazilian Amazon," *Futures*, vol. 38, no. 4, pp. 432–453, 2006.
- [174] M. C. Vera-Diaz, R. K. Kaufmann, and D. C. Nepstad, "The environmental impacts of soybean expansion and infrastructure development in Brazil's Amazon Basin," Working Paper No. 09-05, 2009.
- [175] A. P. D. Aguiar, G. Câmara, and M. I. S. Escada, "Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity," *Ecol. Modell.*, vol. 209, no. 2–4, pp. 169–188, 2007.
- [176] A. Pfaff *et al.*, "Road investments, spatial spillovers and deforestation in the Brazilian Amazon," *J. Reg. Sci.*, vol. 47, no. 1, pp. 109–123, 2007.
- [177] D. Weinhold and E. Reis, "Transportation costs and the spatial distribution of land use in the Brazilian Amazon," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 18, no. 1, pp. 54–68, 2008.
- [178] M. J. Mendonça, P. R. A. Loureiro, and A. Sachsida, "The dynamics of land-use in Brazilian Amazon," *Ecol. Econ.*, vol. 84, pp. 23–36, 2012.
- [179] S. Rodrigues-Filho, R. Verburg, M. Bursztyn, D. Lindoso, N. Debortoli, and A. M. G. Vilhena, "Land Use Policy Election-driven weakening of deforestation control in the Brazilian Amazon," *Land use policy*, vol. 43, pp. 111–118, 2015.
- [180] R. Verburg, S. R. Filho, D. Lindoso, N. Debortoli, G. Litre, and M. Bursztyn, "The impact of commodity price and conservation policy scenarios on deforestation and agricultural land use in a frontier area within the Amazon," *Land use policy*, vol. 37, pp. 14–26, 2014.
- [181] C. Araujo, C. A. Bonjean, J. L. Combes, P. Combes Motel, and E. J. Reis, "Property rights and deforestation in the Brazilian Amazon," *Ecol. Econ.*, vol. 68, no. 8–9, pp. 2461–2468, 2009.
- [182] D. S. Brown, J. C. Brown, and C. Brown, "Land occupations and deforestation in the Brazilian Amazon," *Land use policy*, vol. 54, pp. 331–338, 2016.
- [183] P. D. Richards, R. T. Walker, and E. Y. Arima, "Spatially complex land change: the indirect effect of Brazil's agricultural sector on land use in Amazonia," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 29, pp. 1–9, 2014.
- [184] W. R. Faria and A. N. Almeida, "Relationship between openness to trade and deforestation: Empirical evidence from the Brazilian Amazon," *Ecol. Econ.*, vol. 121, pp. 85–97, 2016.

- [185] J. Assunção, C. Gandour, and R. Rocha, “Deforestation Slowdown in the Legal Amazon: Prices or Policies? Executive Summary,” Rio de Janeiro, RJ, 2012.
- [186] J. P. LeSage and R. K. Pace, *Introduction to Spatial Econometrics*, vol. 123, no. 123. Taylor & Francis Group, 2009.
- [187] S. Halleck Vega and J. P. Elhorst, “The slx model,” *J. Reg. Sci.*, vol. 55, no. 3, pp. 339–363, 2015.
- [188] S. Stakhovych and T. H. A. Bijmolt, “Specification of spatial models: A simulation study on weights matrices,” *Pap. Reg. Sci.*, vol. 88, no. 2, pp. 389–408, 2009.
- [189] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA,” 2016. [Online]. Available: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. [Accessed: 28-Jul-2016].
- [190] J. L. S. Ross, *Geografia do Brasil*, 6^a edição,. São Paulo, SP: Editora EdUSP - Editora da Universidade de São Paulo, 2011.
- [191] J. M. Borwein and R. E. Crandall, “Closed Forms: What They Are and Why We Care,” *Not. Am. Math. Soc.*, vol. 60, no. 1, pp. 50–65, 2013.

ANEXO

Tabela 8 – Modelo de painel por efeitos fixos com variáveis explicativas correlacionadas

Equação	Agricultura		Pastagem		Vegetação	
	Estimativa	Estatística t	Estimativa	Coefficientes	Estimativa	Estatística t
Aemb	0,000	-0,232	0,003	2,007 **	-0,002	-1,971 **
SalMed	-0,009	-2,684 ***	-0,004	-0,476	0,013	1,445
CredAg	-0,001	-0,878	0,001	0,683	-0,001	-0,386
CredPec	0,000	-0,007	0,004	1,287	-0,004	-1,314
Psoja	0,008	0,541	0,003	0,081	-0,011	-0,276
PMad	-2,279	-1,149	-6,042	-1,062	8,320	1,497
AbertCom	0,003	4,508 ***	-0,004	-2,103 **	0,001	0,543
D_CPT	0,000	-0,140	-0,002	-0,284	0,002	0,341
W*Aemb	-0,001	-1,499	0,005	2,888 ***	-0,004	-2,421 **
W*SalMed	-0,027	-5,224 ***	-0,033	-2,224 **	0,060	4,140 ***
W*CredAg	0,007	8,459 ***	-0,005	-1,975 **	-0,002	-0,998
W*CredPec	-0,001	-0,343	0,019	3,515 ***	-0,018	-3,474 ***
W*Psoja	0,039	1,883 *	-0,053	-0,895	0,014	0,244
W*Pmad	2,715	1,066	1,002	0,137	-3,717	-0,521
W*AbertCom	0,003	2,548 **	-0,009	-2,257 **	0,005	1,400
W*D_CPT	0,006	1,749 *	-0,005	-0,487	-0,001	-0,126

Obs.: *** indica significância de 1%, ** 5% e * 10%.

Tabela 9 – Modelo de painel por efeitos fixos com variáveis independente espacialmente correlacionada

Equação	Agricultura		Pastagem		Vegetação	
	Estimativa	Estatística t	Estimativa	Coefficientes	Estimativa	Estatística t
Aemb	0,000	-0,242	0,002	2,703 ***	-0,002	-2,763 ***
SalMed	-0,006	-2,763 ***	-0,003	-0,748	0,008	1,694 *
CredAg	0,001	1,863 *	0,000	0,354	0,000	-0,348
CredPec	0,000	-0,202	0,002	1,342	-0,002	-0,990
Psoja	0,009	1,110	-0,001	-0,036	-0,005	-0,311
PMad	-0,493	-0,543	-2,049	-1,082	2,696	1,488
AbertCom	0,002	4,671 ***	-0,002	-1,689 *	0,000	-0,463
D_CPT	-0,001	-0,866	0,000	-0,044	0,002	0,617
λ	0,670	28,587 ***	0,823	52,124 ***	0,831	54,461 ***

Obs.: *** indica significância de 1%, ** 5% e * 10%.

Tabela 10 – Modelo de painel por efeitos fixos com variáveis independente e explicativas espacialmente correlacionadas

Equação	Agricultura		Pastagem		Vegetação	
	Estimativa	Estatística t	Estimativa	Coefficientes	Estimativa	Estatística t
Aemb	0,000	0,097	0,002	2,525 **	-0,002	-2,757 ***
SalMed	-0,004	-1,798 *	-0,001	-0,269	0,004	0,848
CredAg	-0,001	-2,491 **	0,001	0,963	0,000	0,456
CredPec	-0,001	-1,036	0,002	1,038	-0,001	-0,385
Psoja	0,003	0,296	0,010	0,483	-0,012	-0,580
PMad	-2,107	-1,462	-3,897	-1,283	5,927	2,047 **
AbertCom	0,002	5,007 ***	-0,002	-1,704 *	0,000	-0,519
D_CPT	-0,001	-1,034	-0,001	-0,255	0,003	0,924
W*Aemb	-0,001	-1,516	0,000	0,009	0,001	0,697
W*SalMed	-0,012	-3,196 ***	-0,009	-1,089	0,016	2,038 **
W*CredAg	0,004	6,073 ***	-0,001	-1,052	-0,001	-1,030
W*CredPec	0,001	0,623	0,003	1,146	-0,004	-1,648 *
W*Psoja	0,018	1,179	-0,035	-1,115	0,025	0,820
W*Pmad	2,216	1,198	3,124	0,801	-5,185	-1,394
W*AbertCom	0,000	0,079	-0,001	-0,622	0,002	1,168
W*D_CPT	0,003	1,040	0,004	0,773	-0,006	-1,108
λ	0,614	23,881 ***	0,819	51,049 ***	0,826	53,021 ***

Obs.: *** indica significância de 1%, ** 5% e * 10%.

3. OCUPAÇÃO DE SOJA EM DESFLORESTAMENTOS DO BIOMA AMAZÔNIA DOS ESTADOS DE MATO GROSSO, PARÁ E RONDÔNIA

Resumo

Nas décadas de 1990 e 2000, a lavoura de soja cresceu de forma intensa, resultado de trabalhos de pesquisa e de investimentos em infraestrutura de transportes realizados nas décadas anteriores, além da expansão da demanda mundial. Parte significativa desse crescimento ocorreu nos estados da região Centro-Oeste. Durante esse mesmo período, presenciaram-se taxas anuais elevadas de desflorestamento do bioma Amazônia calculadas pelo INPE, o que teve por efeito aumentar a pressão, que se iniciara nos anos 1970, dos organismos internacionais e da sociedade por mecanismos de controle do processo de conversão de vegetação nativa. Como efeito, foram reavaliados programas governamentais de incentivo à produção nessa região, bem como cobradas ações das cadeias produtivas para a implementação de mecanismos de controle da origem das matérias primas. Durante esse período, destacam-se as medidas realizadas no âmbito do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), sob responsabilidade do Estado, e a Moratória da Soja, coordenada pelas empresas compradoras de soja e pelas organizações da sociedade civil. Com os novos dados sobre desflorestamento e a presença de soja no bioma Amazônia, intensificaram-se os estudos investigativos sobre a relação entre essas duas variáveis, bem como sobre a importância dessas ações. Este trabalho contribui para esse debate ao analisar de forma conjunta as iniciativas públicas e privadas que levaram à queda da participação relativa da soja em novas áreas abertas após 2006, bem como busca entender o papel e a importância de cada uma delas para atingir esse resultado. A partir de modelos de painel espacial aplicados em uma base de dados balanceada de 287 municípios ao longo de 8 anos, verificou-se que a queda das taxas de desflorestamento do bioma criou as bases para a redução da expansão da soja no bioma Amazônia. A partir de 2008, com o início da implementação da Moratória da Soja, ocorreu queda estrutural nessa relação e os novos plantios passaram a representar percentual pequeno das novas áreas desflorestadas. Também se percebeu que a cadeia produtiva da soja é moderna e organizada em polos regionais de produção, sendo seu crescimento relacionado à existência de condições institucionais estáveis no município e no seu entorno, bem como à qualificação da mão de obra e ao crédito. Portanto, os programas governamentais para redução das taxas de desflorestamento foram a base para as ações específicas para a lavoura de soja desempenhadas pelo setor privado, pois criaram um novo ambiente no qual a expansão agrícola deve ocorrer de forma alinhada com a legislação e os compromissos ambientais brasileiros. A Moratória da Soja reforça esse novo ordenamento e transformou essa cadeia produtiva em um caso de estudo sobre a governança pública e privada.

Palavras-chave: Soja; Desflorestamento; Bioma Amazônia; Moratória da soja

Abstract

In the 1990s and 2000s, soybean farming grew sharply as a result of the research and investment in transportation infrastructure in previous decades, in addition to the expansion of world demand. A significant part of this growth occurred in the states of the Center-West. During this same period, INPE calculated the high annual deforestation rates in the Amazon Biome, which had the effect, beginning in the 1970s, of increasing the pressure from

international organizations and society for mechanisms to control the conversion process of native vegetation. In effect, they reassessed government programs that encouraged production in that region, as well as demanded actions by production chains to implement mechanisms that would control the origin of raw materials. Highlights during this period include the measures carried out under the Action Plan for Prevention and Control of Deforestation in the Legal Amazon (PPCDAm), under the responsibility of the State, and the Soy Moratorium, coordinated by soybean purchasing companies and civil society. With the new data on deforestation and the presence of soybeans in the Amazon Biome, investigative studies were intensified on the relationship between these two variables, as well as on the importance of these actions. This work contributes to the debate by jointly analyzing the public and private initiatives that led to the fall in the relative share of soybeans in new areas after 2006, as well as seeking to understand the role and importance of each of them to achieve this result. The spatial panel models applied to a balanced database of 287 municipalities over eight years showed that the reduction in the Biome's deforestation rates created the bases for the reduction in soybean expansion in the Amazon Biome. From 2008, when implementation of the Soy Moratorium began, there was a structural fall in this relation, and new plantings started to represent a small percentage of the newly deforested areas. The soybean production chain is modern and organized in the regional production poles, and its growth is related to the existence of stable institutional conditions in the municipality and its surroundings, as well as the existence of qualified labor and credit. Government programs to reduce deforestation rates, therefore, were the basis for the private sector's specific actions for soybean farming as they created a new environment in which agricultural expansion should take place in line with Brazilian environmental legislation and commitments. The Soy Moratorium reinforces this new order and transformed this production chain into a case study on public and private governance.

Keywords: Soybeans; Deforestation; Amazon Biome; Soy moratorium

3.1 Introdução

*“Esse ano com certeza
Desengano vai ter fim
Natureza tem seus planos
Mas não sabe ser ruim
Tão seguro quanto o ar
Ser mais quente no verão
Da semente sai futuro
Nem que seja temporão”.*

Semente, Almir Sater & Paulo Simões

A lavoura da soja no Brasil cresceu de forma rápida em extensão e em produção. Conforme se observa pela **Tabela 11**, esse crescimento se deu de forma acelerada entre os

anos de 2000 e 2005, quando a área plantada no país aumentou em cerca de 8,8 milhões de hectares, dos quais quase 5,0 milhões de hectares ocorreram nos estados do Centro-Oeste.

Tabela 11 – Área plantada e produção de soja no Brasil (em mil unidades)

Variável (10 ³)	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Área plantada (ha)	9.742,50	10.663,20	13.969,80	22.749,40	24.181,00	33.176,90
Produção (t)	15.394,50	23.189,70	38.431,80	55.027,10	75.324,30	95.630,90

Fonte: CONAB [104].

De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), em 25 anos não houve registro de variação semelhante, pois a área plantada vinha crescendo de forma gradual desde 1976, quando registrava 7,0 milhões de hectares. Outra maneira de se visualizar a intensidade do processo reside na constatação de que um aumento semelhante de área ocorreria somente no período de 10 anos entre 2005 e 2015.

Concomitante ao crescimento da agricultura foram os reflexos na geração de empregos, redução da pobreza e no aumento da renda nos estados produtores, com destaque para o Mato Grosso. Isso ocorreu de forma direta pela geração de oportunidades na agricultura e na agroindústria e, indiretamente, por meio dos serviços associados a esses setores. Não menos importante, o aumento da renda local propiciou a geração de ciclo de oportunidades também fora da cadeia produtiva da soja [105], [106].

Contudo, apesar da produção ainda relativamente pequena de soja na região nos estados de Norte, com exceção do Tocantins, e do baixo crescimento absoluto dessa variável nessas localidades⁴, o fato de o Centro-Oeste protagonizar o dinamismo do setor despertou fortes preocupações de segmentos da sociedade ligados à questão ambiental, especialmente à floresta amazônica. Nesse quadro, a carência de dados desagregados que permitissem uma adequada avaliação da relação entre a soja e o desmatamento da Amazônia, por um lado, e os números agregados divulgados pelas estatísticas oficiais para a soja e para o desflorestamento criaram o ambiente propício ao desencadeamento de campanha promovida pelo Greenpeace na Europa denominada “Comendo a Amazônia”.

⁴ Em 2000, a produção de soja foi de 76,5 mil t em Rondônia e de 1,5 mil t no estado do Pará. Em 2005, esses números passaram, respectivamente, a 283 mil t e 238,1 mil t.

Essa campanha estabelecia relação direta entre o consumo de carnes de aves no continente (alimentadas com farelo de soja brasileiro) e o desflorestamento no bioma Amazônia. Teve forte repercussão na mídia e pressionou as empresas importadoras na Europa a considerarem a imposição de restrições ao produto brasileiro [107]. A resposta brasileira foi a implementação da Moratória da Soja, política setorial adotada em 2006 pelas indústrias e empresas exportadoras associadas da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais - ABIOVE e da Associação Nacional dos Exportadores de Cereais - ANEC.

A fim de demonstrar aos importadores europeus o compromisso das empresas comercializadoras de soja com a sustentabilidade ambiental, as empresas associadas dessas duas entidades setoriais decidiram não adquirir nem financiar a produção de soja de áreas desflorestadas após julho de 2006 no bioma Amazônia. Com essa postura, buscaram conter o desflorestamento do bioma induzido pela expansão da soja e dissociar a produção da oleaginosa do processo de desflorestamento. Mais especificamente, tinham por objetivo controlar a expansão da oleaginosa de forma que o plantio se desse de forma ordenada e de acordo com os dispositivos da lei ambiental vigente à época [108].

A iniciativa setorial, portanto, deveria monitorar o crescimento da área de soja nas propriedades rurais com desflorestamentos ocorridos após a referida data de corte e impedir a compra e financiamento do produto enquadrado nessas características. A partir de 2010, com a inclusão do Banco do Brasil entre as empresas signatárias da Moratória da Soja, fortaleceram-se ainda mais as restrições ao financiamento de propriedades em desacordo com a iniciativa [109].

As empresas signatárias esperavam que as ações da Moratória da Soja desestimulassem desflorestamentos para plantios de soja, ação que contribuiria para a redução da degradação do bioma Amazônia, especialmente aquele ligado à soja [110], [111].

Após a assinatura do acordo da Moratória da Soja, os principais municípios produtores de soja do bioma Amazônia passaram a ser monitorados durante a fase de plantio. Já em 2007, foram feitas as primeiras análises por imagens de satélite e, no ano seguinte, estas ações foram complementadas por sobrevoos para a correta identificação de áreas com plantio de soja em desacordo com os pressupostos da Moratória.

Inicialmente prevista para vigorar por dois anos, a iniciativa foi renovada por sucessivas vezes até 2016, quando então passou a vigorar por tempo indefinido até que estejam presentes as condições para sua transição para políticas de compras de soja de acordo

com as regras do novo Código Florestal, aprovado em 2012 (Lei Federal nº 12.651) [19], [112]–[118].

Relatórios anuais supriram a lacuna de informações e confirmaram que menos de 1% da área desflorestada acumulada no período teve como uso a soja, resultado tido como indicativo do sucesso da iniciativa setorial [116], [119]–[126]. Essa confirmação só foi possível graças ao uso de técnicas de sensoriamento remoto de imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), o que permitiu o mapeamento e monitoramento da lavoura em uma área extensa e reduziu a necessidade de sobrevoos em mais de 90% dos polígonos monitorados [127], [128]. Tais resultados tiveram rápido reconhecimento e aprovação dos clientes europeus, dentro os quais constam empresas importadoras, indústrias consumidoras e redes varejistas [129]–[131].

Paralelamente à Moratória da Soja, foram postas em prática políticas públicas de combate ao desflorestamento, especialmente ligadas ao Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), o qual é composto por ações estruturadas nos eixos temáticos: i) Ordenamento Fundiário e Territorial; ii) Monitoramento e Controle Ambiental; e iii) Fomento às Atividades Produtivas Sustentáveis [132], entre elas os Programas Agricultura de Baixo Carbono - ABC, Áreas Protegidas da Amazônia - ARPA, de Apoio à Conservação Ambiental – Bolsa Verde, de Regularização Ambiental – PRA e Terra Legal [12, p. 30].

De acordo com dados do INPE/PRODES, houve forte queda nas taxas anuais de desflorestamento entre 2002-2004 e 2012-2014 [22], o que também demonstra a melhoria das ações de governança pública e de coordenação das ações setoriais [133]–[135].

A coincidência das políticas públicas e privadas gerou intensos debates sobre o papel e a eficácia de cada uma delas sobre a redução do desflorestamento em geral e, mais especificamente, sobre a redução da participação de soja nas áreas recém-abertas [136]–[140], como se pode observar pela . As divergências têm repercussão ainda maior quando se leva em conta que as organizações da sociedade civil pressionam outras cadeias produtivas a seguir o modelo adotado pela soja, tal como vem sendo feito com a pecuária bovina [141], [142]. Na esteira dessa controvérsia, as preocupações com o desflorestamento indireto são presentes e se estendem aos incentivos para novos usos dos produtos agropecuários, como os biocombustíveis [140], [143]–[148].

Figura 4 – Taxas de desflorestamento calculadas a partir do PRODES para os 89 municípios monitorados no bioma Amazônia, com destaque para os anos anteriores e posteriores à Moratória.

Fonte: [149, p. 10].

Novas propostas para contenção do desflorestamento vêm sendo suscitadas, sendo a de desflorestamento zero uma das mais aventadas [150]. Outra ação defendida é a exigência de obrigatoriedade de registro da propriedade no Cadastro Ambiental Rural (CAR) para que a produção agropecuária possa ser vendida ao mercado. Com isso, esperam seus propositores aliar desflorestamento zero ao pleno cumprimento do Código Florestal em vigor e, com isso, estimular a compensação e recuperação de áreas de floresta [151].

Neste sentido, políticas que promovam o aumento da eficiência da produção pecuária acompanhadas de ações de desincentivo a conversão de florestas em pastagens são variáveis chave para que se consiga aumentar a produção agropecuária sem a derrubada de novas áreas de vegetação nativa para o aumento da oferta de alimentos e outros produtos agrícolas [152], [153], visto que as pastagens ocupam a maior parte da área agrícola em uso no Brasil [154, p. 175]. Também se argumenta que seriam baixos os custos de implementação de uma política de desflorestamento zero, pois a limitação de área poderia ser compensada por aumentos na produtividade [155].

Por essas razões, é necessário determinar o efeito individual das ações setoriais e das políticas públicas sobre a redução do desflorestamento do bioma Amazônia ligado à soja e avaliar a eficácia de cada uma delas. Pretende-se então investigar a relação entre a redução da ocupação de soja sobre essas áreas abertas e a queda do desflorestamento total do bioma, conforme reportado na literatura [133].

3.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é determinar a influência e a eficácia da Moratória da Soja e das políticas públicas ligadas ao PPCDAm para combate ao desflorestamento sobre a redução da participação relativa da área plantada com soja em desflorestamentos realizados entre 2004 e 2011. Pretende-se com esse trabalho investigar a dinâmica de crescimento da área de soja em função da área recente desflorestada e de outras variáveis de controle.

Adicionalmente, será investigado se a restrição imposta ao crescimento de área na região se configurou em um incentivo ao aumento de produtividade acima da média nos municípios sob restrição da Moratória da Soja.

3.3 Revisão de literatura

O interesse internacional pelas causas e consequências do desflorestamento ganhou forte apelo há mais de quatro décadas. Precedida pelos impactos sobre a opinião pública de trabalhos como o *The Limits to Growth* (1972) [156] – publicado sob a tutela do Clube de Roma –, a Convenção de Estocolmo de 1972 colocou em debate a relação entre crescimento econômico e meio ambiente e colocou países industrializados e em desenvolvimento em lados opostos.

Esse embate decorreu da prevalência na opinião pública dos países desenvolvidos de que essa relação seria antagônica, ou seja, de que o crescimento ocorreria em detrimento da preservação dos recursos naturais. Essa perspectiva foi dada pelos trabalhos acadêmicos de maior influência, que deram maior ênfase aos problemas do crescimento populacional e da degradação ambiental nos países em desenvolvimento e menos às mudanças dos padrões de produção e consumo nos países desenvolvidos. Após a Convenção de Estocolmo, verificou-se aumento significativo da relevância das organizações não governamentais ambientais no debate sobre os impactos da economia sobre o ambiente natural [13], [157].

Cabe destaque o protagonismo do Brasil nas convenções internacionais de meio ambiente realizadas em Estocolmo (1972), Rio de Janeiro (1992), Johannesburgo (2002) e Rio de Janeiro (2012). Nesses eventos, o país defendeu de forma enfática que a questão ambiental, embora de grande importância, não deveria resultar em barreira ao desenvolvimento econômico e social dos países em desenvolvimento, mas que as nações deveriam trabalhar pelo equilíbrio entre esses dois objetivos [13]–[15]. Na década de 1980, o Brasil também passou a ver a questão ambiental como uma oportunidade de se aproximar dos países desenvolvidos, sendo a candidatura do Rio de Janeiro nas duas ocasiões um indicativo dessa postura [14].

Essa atuação permitiu avanços na Conferência de 1992, como a elaboração da Agenda 21 e “o conceito de desenvolvimento sustentável, que se consolidou ao longo dos anos como a integração dos três pilares do desenvolvimento: econômico, social e ambiental” [15, p. 158]. Na Conferência de 2012, a Rio+20, o “documento ‘O Futuro que Queremos’ constitui, deste modo, ponto de partida conceitual e político para o estabelecimento de uma agenda global de desenvolvimento sustentável para o século XXI” [15, p. 163].

Essa postura das nações em desenvolvimento advogou também pela maior responsabilidade dos países desenvolvidos a respeito da degradação ambiental mundial e pela necessidade de criação de mecanismos econômicos de apoio aos países em desenvolvimento, além de pleitearem maior abertura comercial para seus produtos, transferência de tecnologia e financiamento em condições mais favoráveis. Também rechaçaram a proposição de que os recursos naturais são ‘bens comuns’ e de que caberia aos países desenvolvidos protegê-los da depredação nas regiões menos desenvolvidas do globo, posições que se concretizaram na Convenção sobre Diversidade Biológica [13], [14].

Dotado de vastas reservas em florestas nativas, biodiversidade e recursos hídricos, o Brasil se tornou naturalmente foco das atenções internacionais, as quais se traduziram em pressões, inclusive econômicas, sobre o governo brasileiro a fim de conter o desflorestamento da Amazônia, ações que se intensificaram com o aumento das queimadas nos anos 1980 [13]. Na segunda metade dessa década, importantes iniciativas foram adotadas com vistas a conter a degradação ambiental, entre elas a criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) [157], autarquia federal atualmente vinculada ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), e do levantamento sistemático do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES), sob responsabilidade do Instituto

Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) [158]. Paralelamente, foram criadas ações estaduais de combate ao desflorestamento ilegal, especialmente no Mato Grosso.

Mais recentemente, o Brasil assumiu ousadas metas voluntárias de redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em relação a 2005, contrastando inclusive com sua participação na primeira Conferência das Partes (COP) da Convenção-Quadro da Mudança do Clima (UNFCCC) de Berlim em 1995 [38], [159]. Nessas ocasiões, a diplomacia brasileira deu destaque ao uso de energia hidroelétrica, aos biocombustíveis e, mais recentemente, à queda no desflorestamento da floresta amazônica [14].

Vê-se, portanto, que as preocupações ambientais permeiam negociações políticas e econômicas, públicas e privadas. No ensejo de se buscar o entendimento das causas e consequências do processo de mudança de uso do solo e, em especial, da conversão de florestas nativas, inúmeros artigos científicos e relatórios técnicos buscaram analisar o problema, conforme será visto a seguir. Ao longo dos anos, houve visível aperfeiçoamento das técnicas de sensoriamento remoto e do uso de sistemas de informações geográficas (SIG), o que melhorou significativamente as análises por meio de cruzamentos entre os dados de desflorestamento, uso do solo e outras variáveis relevantes.

De forma geral, pode-se agregar os primeiros estudos sobre o tema desflorestamento em análises que buscaram quantificar esse processo no bioma Amazônia em sua extensão e distribuição geográfica. Esse trabalho foi bastante documentado e progressivamente aperfeiçoado com a disponibilização de dados pelo INPE, a exemplo do PRODES, em 1988, do Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER), em 2004, e dos projetos de mapeamento do uso do solo (TerraClass) e de Mapeamento da Degradação Florestal da Amazônia Brasileira (DEGRAD) em 2008 [160].

Diversos trabalhos que utilizaram métodos econométricos buscaram isolar os determinantes da conversão de florestas nativas a partir de um grande número de variáveis explicativas [161]–[163]. Essas análises foram realizadas com base em imagens de satélite em conjunto com informações de censos agropecuários e outras pesquisas. De acordo com os autores, as variáveis correlacionadas com o desflorestamento mais comumente encontradas são: proximidade de rodovias, áreas urbanas e obras públicas de infraestrutura; existência de atividades extrativas de madeira ou mineração; oferta de crédito agrícola e expansão de atividades agropecuárias; condições edafoclimáticas (clima, qualidade do solo); presença de assentamentos rurais; indicadores de aspectos sociais (tamanho da propriedade rural,

mecanização etc.); e de segurança jurídica (existência de conflitos de terras e falta de títulos de propriedades). Em caminho distinto, também foi considerada a importância de inibidores do desflorestamento, tais como as unidades de conservação e as terras indígenas.

Conforme mencionado no capítulo 2, o estudo de temas econômicos nos quais a localização é uma variável importante exige o uso de bases de dados geoprocessadas e a aplicação métodos quantitativos apropriados para investigação de problemas. A seguir, serão discutidos os trabalhos recentes mais relevantes sobre a questão do uso e ocupação do solo a fim de se entender as possibilidades de aplicação para o estudo da relação entre a soja e o desflorestamento no bioma Amazônia.

Modelos não espaciais de escolha binária foram aplicados a fim de analisar o efeito das políticas públicas na propensão e de características locais ao desflorestamento de uma determinada área [164]–[166]. Outros três trabalhos estimaram os impactos reais das áreas públicas protegidas como inibidores do desflorestamento por modelos de pareamento por escore de propensão [167]–[169]. Após a definição das variáveis controle relevantes, sendo frequente a escolha de indicadores já utilizados em outros trabalhos [161]–[163], os autores calcularam o efeito real estimado dessas áreas protegidas pela diferença entre a área efetivamente protegida e aquela com elevada probabilidade de desflorestamento. Como resultado, demonstraram que trabalhos que não usaram o pareamento superestimaram o efeito das áreas protegidas na contenção do desflorestamento e que é maior sua eficácia quando estão próximas a rodovias ou a cidades. De forma semelhante, a aplicação de pareamento com diferenças-em-diferenças para avaliar o efeito da lista de municípios prioritários do MMA concluiu os autores pela efetividade da política de áreas protegidas [170], [171], porém o efeito da medida é menor à medida em que a distância dos vizinhos aumentam em relação ao município monitorado [171].

Modelos não espaciais de regressão linear foram usados para analisar o impacto de rodovias sobre o desflorestamento. A conclusão desses trabalhos foi de que essa infraestrutura gera pressão sobre as florestas nativas e de que deve haver cautela a respeito desse tipo de investimento, ou seja, o Estado deve levar em consideração na sua decisão o potencial ambiental negativo das rodovias [172], [173]. Outro estudo concluiu que o asfaltamento do trecho Cuiabá-Santarém da BR-163 sem a devida proteção das florestas do entorno implicaria benefícios menores que as perdas ambientais decorrentes da expansão da soja [174].

O controle para autocorrelação espacial foi aplicado em uma análise *cross section* de 1996/1997, a qual separou as áreas desflorestadas em três subgrupos: o Arco Densamente Povoadado (com agricultura intensiva), a Amazônia Central (onde se expande a fronteira agrícola) e a Amazônia Ocidental (mais preservada) [175]. Concluem os autores pela heterogeneidade do desflorestamento em função do acesso aos mercados, estrutura agrária e proximidade a centros urbanos. Além disso, estimam maior eficácia das áreas protegidas quando situadas no Arco Densamente Povoadado. Em outro trabalho utilizando *cross section*, os anos de 1996/1997 foram comparados com 2006/2007 [162]. A avaliação é que o período de 10 anos reduziu a influência das rodovias no desflorestamento e aumentou a dos assentamentos rurais, permanecendo as áreas protegidas e as terras indígenas como fatores efetivos de contenção do desflorestamento.

Trabalho que analisou a mudança de uso do solo em 663 municípios da Amazônia entre 2002 e 2009 utilizou um modelo por método generalizado de momentos (GMM) em primeiras diferenças e o comparou com um painel espacial de GMM por efeitos fixos [163]. Os resultados mostram os efeitos positivos dos preços das commodities e negativos das políticas públicas sobre o desflorestamento. Também foi significativo o coeficiente dos efeitos espaciais secundários, o que reforça a visão de que o desflorestamento é um fenômeno espacial e requer tratamento adequado por técnicas de econometria espacial. Além disso, os autores concluem ser eficazes as ações públicas de combate ao desflorestamento, especialmente as multas e os controles do IBAMA.

Outra abordagem empregou modelo de regressão por painel por mínimos quadrados ponderados sobre dados de 1976 a 1987 a fim de determinar a influência de rodovias sobre o desflorestamento [176]. Concluem haver evidências de impactos positivos das rodovias em áreas até 100 km de distância, sendo heterogêneos os impactos em distâncias maiores. No segundo, os autores estimam o impacto de um conjunto de variáveis sobre o desflorestamento de 1975 a 1995 por mínimos quadrados ordinários e por variáveis instrumentais para corrigir a endogeneidade da construção de rodovias [177]. Concluem que as rodovias reduzem a taxa de desflorestamento em áreas já abertas, mas possuem efeito contrário em regiões com grande proporção de áreas nativas, divergência também por outros autores [163, p. 472].

Modelo de vetor estrutural autorregressivo (SVAR) avaliou a evolução das áreas de lavouras, pastagens, pousio e floresta [178]. Sobre os resultados, foram definidos agrupamentos de municípios homogêneos (*clusters*) e então aplicado modelo de efeitos fixos espaciais. O modelo foi reestimado nas subamostras de forma a se compreender a dinâmica de

uso do solo em cada uma delas. Nesse sentido, concluem os autores haver um agrupamento de frentes pioneiras dedicado à extração de madeira e exploração de recursos naturais; outro agrupamento, intermediário, com agricultura diversificada nas áreas abertas há mais tempo; e um terceiro no qual é praticada uma agricultura intensiva e de alta tecnologia.

A influência de elementos ligados à administração pública sobre o desflorestamento é investigada também por modelos estimados por equações diferenciais, os quais favorecem a interpretação de que a transição política leva à reorganização da máquina pública pela mudança nos quadros indicados para cargos de confiança e, por isso, ocorre elevação das taxas de desflorestamento nesses períodos [179]. Os resultados indicam que a desconsideração dessa variável pode levar à subestimação da previsão de desflorestamento em até 50%.

Estimação por sistema de equações diferenciais avaliou o impacto de redução nas exigências de manutenção de áreas nativas nas propriedades por meio de flexibilizações na legislação ambiental sobre o desflorestamento do Mato Grosso e do Pará e concluiu que essas ações contrariam os compromissos brasileiros de redução das emissões, pois podem aumentar o desflorestamento [180]. Os autores sugerem ações para intensificação da produção agropecuária, recuperação de pastagens e de manutenção da vegetação nativa.

A temática da insegurança jurídica relativa à propriedade da terra e os efeitos do modelo de concessão a partir da posse e exploração comercial é desenvolvida em dois trabalhos nos quais se investigam se o modelo vigente cria incentivos para que ocorra o desflorestamento preventivo tanto por proprietários de terras para evitar desapropriação por improdutividade, quanto por invasores para obtenção de reconhecimento da posse. Parte-se da premissa, portanto, de que o ambiente inseguro desvaloriza a preservação da floresta na propriedade e estimula sua exploração agropecuária de forma acelerada e, muitas vezes, não planejada.

As conclusões são de que a insegurança jurídica é variável significativa na explicação do desflorestamento da Amazônia e que modelo atual de concessão da propriedade deve ser modificado de forma a contemplar a exploração sustentável de florestas como atividade econômica para que eliminar o risco de expropriação. Isso foi constatado pela utilização de estatísticas de homicídios ligados a conflitos agrários e as expropriações do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) como *proxy* da insegurança [181].

Já a relação de causalidade entre as taxas de desflorestamento e a insegurança jurídica no campo - medida pela ocorrência de invasões de terras, bloqueios, homicídios e outras formas de violência no município, bem como a ocorrência de efeitos de desflorestamento nos municípios vizinhos foi avaliada por metodologia de painel espacial [182]. A potencial endogeneidade, decorrente da premissa de que as invasões ocorreriam preferencialmente em áreas já abertas para facilitar seu cultivo, foi controlada por variáveis instrumentais que refletem o tempo entre a ocupação e a data do desflorestamento. Os resultados indicaram que o desflorestamento tende a ocorrer de forma mais acentuada quanto maior o tempo desde a invasão da área, ou seja, esta variável é causa, e não consequência, daquele.

Outra preocupação recente, os efeitos indiretos da expansão agrícola no Brasil, são tidos como decorrentes de três possíveis mudanças: alterações nos preços e na rentabilidade da produção pela demanda; realocação do capital pela oferta; e, especialmente, pelas variações dos preços da terra [183]. Por meio de um modelo Spatial Durbin Model por primeiras diferenças e efeitos fixos, os autores testaram a hipótese de que as áreas mais próximas a terras mais valorizadas e com plantio intenso sofrem maior pressão pelo desmatamento, sendo a potencial endogeneidade corrigida pelo uso de duas defasagens temporais. A conclusão é de que cerca de $\frac{1}{3}$ do desmatamento ocorreu indiretamente devido à expansão da soja, sendo tal resultado obtido a partir da comparação com um cenário de menor área plantada com soja. O resultado é controverso, pois identifica a localização e atribui à soja parcela significativa do desflorestamento indireto tomando como contrafactual cenários alternativos de área de soja, a despeito de todas as mudanças profundas operadas na economia brasileira e mundial, bem como na governança ambiental, dentro do período analisado (2002-2011).

A influência da abertura comercial sobre os municípios da Amazônia Legal, cuja economia se assenta nas atividades do setor primário, é investigada por painel de efeitos fixos com autocorrelação espacial no qual também se consideram variáveis de controle relacionadas à produção de bens agropecuários e da extração mineral, insegurança jurídica dos direitos de propriedade, tipo de propriedade rural (própria, arrendada ou assentamentos), presença de áreas protegidas pelo governo e indicadores de condições climáticas [184]. Os resultados indicaram que a abertura comercial favoreceu a produção da soja e da pecuária e da extração madeira e contribuíram positivamente para o aumento do desflorestamento.

Cabe ressaltar também que, sendo um fenômeno complexo e espacial, o desflorestamento deve ser encarado como um processo que se inicia pela degradação florestal,

passa pelo corte raso da floresta e termina com um uso econômico da terra ou seu abandono e regeneração [160], a exemplo da abordagem que distingue as áreas desflorestadas de acordo com a dinâmica de uso da terra [175], [178]. De forma semelhante, análises espaciais foram desenvolvidas para a pecuária [152], [153], sobre a eficácia de áreas públicas protegidas [162], [167]–[169], [175] e sobre os efeitos das políticas públicas [185].

Sendo um fenômeno complexo, o desflorestamento reflete as condições econômicas, sociais e ambientais locais, bem como a efetividade da presença do Estado na região. Em diversas ocasiões, a análise desse fenômeno é prejudicada pela carência de fontes de dados adequadas. Não menos importante, a evolução relativamente recente de técnicas de econometria espacial modificou significativamente a disponibilidade e a forma de tratamento dos dados. Essas técnicas, utilizadas em conjunto com ferramentas de sensoriamento remoto com dados socioeconômicos, deverão favorecer ainda mais o entendimento das causas do desflorestamento.

Em suma, percebeu-se que, em alguns trabalhos, houve maior ênfase a aspectos de mercado, como preços e infraestrutura de transportes. Em outros, foram mais relevantes as questões socioeconômicas, como a presença de assentamentos rurais ou tamanho das propriedades. Um terceiro grupo concentrou sua análise em ações de políticas públicas. Portanto, é necessário o emprego de modelo que aborde simultaneamente todas as variáveis relevantes a fim de se evitar viés de omissão e que leve em conta a autocorrelação temporal e espacial dos dados.

3.4 Metodologia e base de dados

3.4.1 Uma breve discussão sobre as opções metodológicas disponíveis

Existem pelo menos cinco motivações para se usar técnicas de econometria espacial [186]. De forma bastante resumida, são elas:

1. Dependência temporal entre unidades vizinhas: são os casos em que os agentes tomam as decisões ao longo do tempo, porém tomam em consideração as decisões dos vizinhos no passado. Essas relações podem ser capturadas pelo modelo *Spatial Autoregressive Model (SAR)*;

2. Omissão de variáveis relevantes: a correlação entre as variáveis independentes e o termo de erro podem ser corrigidos pelo uso do modelo *Spatial Durbin Model* (*SDM*);
3. Heterogeneidade espacial: ocorrem quando o termo de intercepto, por exemplo, varia entre as unidades espaciais. Uma modelagem adequada é o *Spatial Error Model* (*SEM*), ou o *SDM* em casos de haver correlação entre o intercepto e as variáveis explicativas;
4. Externalidades: a presença de externalidades pode ser modelada pela média espacial das características regionais, por exemplo. Nesse caso, um modelo *Spatial Lag of X* (*SLX*) pode ser adequado;
5. Incerteza: a incerteza sobre qual modelo espacial utilizar, por exemplo *SAR* ou *SEM*, pode ser tratada com o uso de defasagens espaciais nas variáveis independente e explicativas.

Figura 5 – Relação entre os modelos de dependência espacial para dados em corte transversal.

Fonte: [100, p. 9].

Pela **Figura 5**, pode-se notar que o autor parte do modelo espacial mais completo (modelo *General Nesting Spatial Model* – *GNS*) no qual se incluem defasagens espaciais autorregressivas nas variáveis independentes e no termo de erro e caminha por meio de eliminações nos pressupostos de dependência espacial para o modelo de regressão linear simples.

As defasagens espaciais são tratadas por meio do uso de uma matriz de pesos espaciais usualmente referida por matriz *W* [100]. Essa matriz descreve os arranjos espaciais entre as unidades e deve ser previamente definida pelo econometrista por um dos critérios de construção:

- a) Ordem p de contiguidade: quando $p = 1$, somente são incluídos os primeiros vizinhos, $p = 2$ inclui os primeiros e os segundos vizinhos, e assim por diante. A contiguidade pode ser estabelecida como: *Rook* (localidades com fronteira comum), *Bishop* (todas que possuam vértice comum) ou *Queen* (unidades com fronteira ou vértice em comum);
- b) Inverso da distância: pode ou não incluir distância limite (*cut-off point*);
- c) q-vizinhos mais próximos: define-se um número fixo de vizinhos para fins de cálculo das interações espaciais;
- d) Bloco diagonal: cada bloco representa um grupo de unidades espaciais que interagem entre si, mas não com outras unidades de outros grupos.

Esses são os métodos mais comuns, porém também é possível utilizar critérios como fluxo de comércio, tempo de deslocamento etc.

A matriz W deve satisfazer uma das duas condições para sua não estacionariedade, sendo elas: i) as somas das linhas e colunas das matrizes W , $(I_N - \delta W)^{-1}$ e $(I_N - \lambda W)^{-1}$ devem ser uniformemente fechados em valores absolutos à medida que N tende ao infinito; ou ii) a soma das linhas de colunas de W antes de esta ser normalizada não deve divergir para o infinito a uma taxa igual ou superior à taxa de crescimento da amostra N [100].

Essas duas condições podem não ser satisfeitas por uma matriz de inverso da distância, exceto quando o número de unidades espaciais é fixo [187].

3.4.2 Metodologia e estimação econométrica

Neste trabalho, optou-se por utilizar uma concorrência de matrizes de vizinhança tipo Queen e por ordem de q-vizinhos. A escolha do número de q-vizinhos ou do inverso da distância, porém, dependerá do resultado dos testes Akaike (AIC), sendo escolhido o número de vizinhos que fornecer o menor valor para esse critério [188]. Conforme indica histograma de conectividade do GeoDa versão 1.8.16.4 (**Figura 6**), isso deverá ser feito com matrizes de 5 a 10 vizinhos:

Figura 6 – Histograma de conectividade dos municípios analisados

A modelagem espacial também permite estimar os efeitos/impactos diretos (na própria unidade espacial) e indiretos (nas vizinhas) [186]. Esses modelos são capazes de capturar essas interações pelo cálculo dos impactos médios total, direto e indireto (obtido pela diferença entre os dois anteriores). Esses impactos são calculados da seguinte maneira exposta na **Tabela 12**:

Tabela 12 – Efeitos diretos e de transbordamento de diferentes especificações de modelos

Modelo	Efeito direto	Efeito indireto
OLS e SEM	β_k	0
SAR e SAC	Elementos da diagonal de $(I_N - \delta W)^{-1} \beta_k$	Elementos fora da diagonal de $(I_N - \delta W)^{-1} \beta_k$
SLX e SDEM	β_k	θ_k
SDM e GNS	Elementos da diagonal de $(I_N - \delta W)^{-1} (\beta_k + W\theta_k)$	Elementos fora da diagonal de $(I_N - \delta W)^{-1} (\beta_k + W\theta_k)$

Fonte: [100, p. 22].

Essa tabela mostra que esses impactos não são obtidos diretamente pelos parâmetros de alguns modelos, pois requerem o cálculo das derivadas parciais [100], [186]. Além disso, a

necessidade de apresentação dos resultados levou à elaboração de estatísticas resumo para esses efeitos, pois os impactos diretos e indiretos são diferentes para cada unidade. Por isso, calculam-se os efeitos médios diretos pela média dos elementos da diagonal de $(I-\delta W)^{-1} \beta_k$ e os efeitos médios indiretos pela média dos elementos de uma linha ou coluna fora da diagonal de $(I-\delta W)^{-1} \beta_k$. Finalmente, os impactos totais médios são obtidos pela média de todos os elementos de uma linha ou coluna. Apesar de representarem conceitos diferentes (o efeito médio da linha indica o impacto das unidades em uma unidade particular e o efeito médio da coluna trata do impacto de uma unidade nas demais), o valor numérico é o mesmo nos dois casos.

Os modelos SLX, SEM, SDEM e GNS apresentam estrutura mais flexível para estimação dos efeitos diretos e indiretos relativamente aos modelos SAC e SAR [187]. Isso porque nestes dois últimos os efeitos indiretos não dependem de β e isso “torna a razão entre os efeitos diretos e indiretos a mesma para todas as variáveis explicativas, o que é improvável de ser em muitos estudos empíricos” [187, p. 346]. Contudo, os modelos GNS ainda requerem aprofundamento do referencial teórico e seu uso não é recomendado, pois seus parâmetros são fracamente identificados [100]. Nesse modelo, os parâmetros têm uma “tendência de eliminar-se mutuamente ou de se tornarem insignificantes e como resultado este modelo não ajudar a escolher entre os modelos SDM e SDM” [187, p. 347]. Para a escolha do modelo de partida, recomenda-se que as análises se iniciem pelo SLX, pois é o mais simples e permite o uso de técnicas não espaciais, como o uso de variáveis instrumentais [187, p. 360].

Relativamente à estimação dos dados por painel, é possível aplicar um teste de Hausman para decidir entre o modelo de efeitos fixos (FE) ou efeitos aleatórios (RE) [100]. Todavia, para os casos em que os dados representarem todas as unidades espaciais, o método de FE pode ser o mais indicado. Portanto, proceder-se-á à estimação do modelo de painel por efeitos fixos para os modelos SDM e SDEM, sendo escolhido aquele que obtiver o maior valor nesse teste. Para a estimação econométrica será empregado o *software* Matlab versão R2015a (8.5.0.197613) para Windows.

Neste trabalho, o modelo completo usado é dado pela **equação (2)**:

$$\Delta APS_{m,t} = \mu_m + \tau_t + X_{m,t-1}\beta + WX_{m,t-1}\theta + \Delta AD_{m,t-3}\zeta + \Delta AD_{m,t-2}\varsigma + u \quad (2)$$

sendo APS a área plantada de soja, AD a área desflorestada, m o município, t o ano, q o número de defasagens, μ_m e τ_t os efeitos específicos no espaço e no tempo, β , θ , ζ e ς são os parâmetros a serem estimados, X são os controles supramencionados, W a matriz de pesos

espaciais e u é o termo de erro. Neste caso, optou-se pela aplicação de 2 e 3 defasagens para a área desflorestada e de 1 defasagem para as demais variáveis.

3.4.3 Base de dados

Foram analisados os municípios inseridos total ou parcialmente no bioma Amazônia dos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia (**Figura 7**). A escolha desses municípios decorre de sua importância como fronteira de expansão da soja (**Figura 8**) e por se situarem em região foco das ações de combate ao desflorestamento.

Figura 7 – Mapa dos municípios analisados

Fonte: Elaborado por Joel Risso, a quem agradeço pela autorização de uso.

Figura 8 – Evolução da área plantada de soja por município no Brasil (2004, 2008 e 2012)

Fonte: Cartogramas elaborados a partir do banco de dados IBGE/SIDRA [189].

Legenda (cores indicam faixas de área plantada de soja no município em hectares):

Cor	De	Até
	1	50.000
	50.001	100.000
	100.001	300.000
	300.001	500.000
	500.001	1.000.000
////	Ausência de dados, (-) ou valor desidentificado	

Ao todo, essa região compreende um conjunto de 287 municípios pela grade de municípios do IBGE de 2010. A fim de proceder a uma análise simultânea dos principais elementos considerados relevantes para a análise da relação entre desflorestamento e agricultura, foram reunidas informações municipais de 2004 a 2011 (8 anos) para um painel balanceado referentes a:

- **Receitas:**
 - Preço médio da soja;
 - *Dummy* para a presença de indústrias de esmagamento de soja;
- **Crédito:** valor concedido de crédito rural oficial agrícola e pecuário;
- **Políticas setoriais:**
 - *Dummies* para os municípios monitorados pela Moratória da Soja multiplicadas pelo percentual de área desflorestada antes de 2006;
 - Extensão da área sob restrição de financiamento pela Moratória da Soja.
- **Custos:**
 - Salários médios de trabalhadores das atividades agrícolas, pecuárias e florestais;

- Preços do diesel mineral S-500 (relevantes para a composição dos custos de produção, pois são usados em máquinas agrícolas) multiplicados pelas distâncias mínimas da área de soja do município ou, caso este não a tenha produzido naquele ano, do centroide da área desmatada do município em relação aos seguintes pontos de escoamento de produtos agrícolas informados na **Tabela 13**, os quais representam as principais saídas de mercadorias para o mercado interno ou exportação:

Tabela 13 – Pontos de escoamento de produtos agrícolas

UF	Município	Longitude	Latitude	Tipo de terminal graneleiro
MT	Rondonópolis	-54,6684658	-16,5203111	Terminal ferroviário
PA	Marabá	-50,0169512	-5,6298065	Terminal ferroviário
PA	Santarém	-54,7376730	-2,4153440	Terminal portuário fluvial
RO	Porto Velho	-63,9135040	-8,7459640	Terminal portuário fluvial
TO	Porto Nacional	-48,4966925	-10,5443517	Terminal ferroviário

- **Desmatamento:** dados de desmatamento total e com presença de soja por ano calculados com base nos dados do Projeto PRODES. Os primeiros compreendem os desflorestamentos por corte raso. Já o plantio de soja por ano de desflorestamento foi desenvolvido a partir de metodologia que o obteve a partir do sensoriamento remoto de séries temporais de imagens do sensor MODIS [133];
- **Atividade econômica:**
 - PIB municipal nominal;
 - Índice de Abertura Comercial.
- **Políticas públicas:**
 - Área do IBAMA sob embargo ambiental;
 - *Dummy* para os municípios que tiveram Operações ambientais da Polícia Federal na região resultando em prisões;
 - *Dummy* para os municípios da lista prioritária de combate ao desmatamento do MMA.
- **Insegurança jurídica:** *dummy* para a ocorrência de conflitos de terras reportada pela Comissão Pastoral da Terra.

Consta na **Tabela 14** a relação completa das fontes empregadas neste trabalho e, na **Tabela 15**, as estatísticas descritivas das variáveis. Além dessas variáveis, também foram aplicadas *dummies* de inclinação nas variáveis VAD, QAI, Psoja e SalMed com valores a partir de 2008, ano de início dos sobrevoos da Moratória da Soja. Com isso, pretendeu-se analisar se houve mudança nos parâmetros a partir desse ano com a aplicação dessa política privada setorial. As demais *dummies* de inclinação foram excluídas do modelo devido à alta correlação com a variável original.

Tabela 14 – Relação e descrição das variáveis utilizadas no modelo

Variável	Descrição	Unidade	Fonte
Ano	Ano de colheita da safra de soja	..	-
VAPS	Variação da área plantada com soja	10 ⁴ ha	INPE
VAD	Variação da área total plantada desflorestada	10 ⁴ ha	INPE
D_IndSoja	<i>Dummy</i> de intercepto da presença de indústria de soja	..	ABIOVE
D_MS	<i>Dummy</i> de intercepto do monitoramento da Moratória da Soja	..	ABIOVE
D_MunPrior	<i>Dummy</i> de intercepto do monitoramento oficial	..	MMA
D_PF	<i>Dummy</i> de intercepto da presença de operação ambiental da PF	..	MJ/DPF
D_CPT	<i>Dummy</i> de intercepto da ocorrência de conflitos de terras	..	CPT
MS_CAR	Área das propriedades rurais com restrição de compra e financiamento pelas signatárias da Moratória da Soja	10 ⁵ ha	Greenpeace
QAI	Quantidade de Autos de Infração	..	MMA
Aemb	Área embargada no município	10 ⁴ ha	MMA
Psoja	Preço médio da soja ao produtor	R\$/kg	IBGE
SalMed	Salário nominal do tratorista	10 ³ R\$	MTE
Reb	Número de cabeças de rebanho bovino	..	IBGE
CredAg	Crédito oficial concedido para agricultura	10 ⁶ R\$	BCB
CredPec	Crédito oficial concedido para pecuária	10 ⁶ R\$	BCB
IDD	Índice da distância mínima do município em relação a pontos de exportação multiplicada pelo preço médio do diesel na revenda	R\$/mês	Autor
PIBm	PIB municipal a preços correntes	10 ⁶ R\$	IBGE
AbertCom	Índice de abertura comercial municipal	..	*

Obs.: .. - não se aplica dado numérico. * Elaborada a partir de dados de comércio exterior do Ministério da Indústria e Comércio Exterior e Serviços, PIB municipal do IBGE e taxa de câmbio comercial anual R\$ / US\$ do Banco Central do Brasil.

Tabela 15 – Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas no modelo

Variável	n	Média	Desvio-padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
VAPS	2.583	0,055	0,317	0,000	-2,268	4,912
VAD-2	2.583	0,578	1,193	0,168	0,000	16,908
VAD-3	2.583	1,894	5,299	0,273	0,000	71,101
D_IndSoja-1	2.583	0,004	0,062	0,000	0,000	1,000
D_MS-1	2.583	0,038	0,186	0,000	0,000	0,985
MS_CAR-1	2.583	0,003	0,042	0,000	0,000	0,914
D_MunPrior-1	2.583	0,044	0,205	0,000	0,000	1,000
D_PF-1	2.583	0,041	0,198	0,000	0,000	1,000
D_CPT-1	2.583	0,270	0,444	0,000	0,000	1,000
QAI-1	2.583	0,020	0,046	0,006	0,000	1,108
Aemb-1	2.583	0,032	0,181	0,000	0,000	4,792
Psoja-1	2.583	0,434	0,127	0,417	0,209	0,850
SalMed-1	2.583	0,541	0,330	0,540	0,002	3,126
Reb-1	2.583	1,588	1,832	1,079	0,000	20,224
CredAg-1	2.583	0,591	2,068	0,066	0,000	26,650
CredPec-1	2.583	0,452	0,673	0,211	0,000	7,764
IDD-1	2.583	0,731	0,326	0,744	0,030	1,813
PIBm-1	2.583	0,277	0,978	0,089	0,004	18,801
AbertCom-1	2.583	0,068	0,227	0,000	0,000	3,022
D*VAD-3	2.583	0,193	0,655	0,000	0,000	14,037
D*Psoja-1	2.583	0,209	0,244	0,000	0,000	0,850
D*SalMed-1	2.583	0,279	0,327	0,000	0,000	1,597
D*AbertCom-1	2.583	0,033	0,159	0,000	0,000	2,562

Obs.: O número seguido às variáveis indica defasagem temporal.

Na **Tabela 16**, simétrica, é apresentada a correlação entre essas variáveis. Pode-se observar que não há indicativos de problemas graves de multicolinearidade entre elas:

Tabela 16 – Correlação entre as variáveis utilizadas no modelo

	VAPS	VAD-2	VAD-3	D_IndSoja-1	D_MS-1	MS_CAR-1	D_MunPrior-1	D_PF-1	D_CPT-1	QAI-1	Aemb-1	Psoja-1	SalMed-1	Reb-1	CredAg-1	CredPec-1	IDD-1	PIBm-1	AbertCom-1	D*VAD-3	D*psoja-1	D*SalMed-1	D*AbertCom-1
VAPS	1,00																						
VAD-2	0,05	1,00																					
VAD-3	0,09	0,34	1,00																				
D_IndSoja-1	0,00	-0,03	-0,02	1,00																			
D_MS-1	0,21	-0,04	-0,06	0,18	1,00																		
MS_CAR-1	0,05	-0,02	-0,02	0,01	0,35	1,00																	
D_MunPrior-1	0,13	0,12	-0,02	-0,01	0,27	0,21	1,00																
D_PF-1	-0,02	0,07	-0,03	0,05	0,10	0,14	0,04	1,00															
D_CPT-1	0,01	0,24	0,10	0,03	-0,01	-0,01	0,05	0,11	1,00														
QAI-1	0,04	0,26	0,08	0,05	0,11	0,03	0,19	0,26	0,19	1,00													
Aemb-1	0,02	0,25	0,03	-0,01	0,08	0,04	0,30	0,02	0,06	0,23	1,00												
Psoja-1	0,02	-0,02	-0,19	0,04	0,20	0,04	0,18	0,00	0,02	0,08	0,06	1,00											
SalMed-1	0,25	0,01	0,39	0,03	0,11	0,06	0,10	-0,03	0,04	0,05	0,04	-0,07	1,00										
Reb-1	0,00	0,47	0,20	-0,03	0,02	0,00	0,28	0,11	0,24	0,24	0,32	0,09	0,08	1,00									
CredAg-1	0,24	-0,01	-0,02	0,46	0,26	0,11	0,05	0,07	0,03	0,05	0,00	0,08	0,15	-0,03	1,00								
CredPec-1	0,03	0,21	0,03	0,09	0,10	0,05	0,24	0,11	0,12	0,18	0,26	0,11	0,09	0,71	0,14	1,00							
IDD-1	0,07	-0,13	-0,17	0,06	0,16	0,05	0,11	0,03	-0,24	-0,04	0,06	0,04	0,07	-0,05	0,10	0,06	1,00						
PIBm-1	-0,01	0,02	-0,02	0,08	0,04	0,02	0,05	0,26	0,08	0,41	0,01	0,02	0,04	0,04	0,10	0,08	-0,04	1,00					
AbertCom-1	0,03	-0,01	-0,02	0,10	0,04	0,00	0,01	0,01	0,06	0,04	0,00	0,00	0,05	-0,01	0,16	0,05	-0,04	0,21	1,00				
D*VAD-3	0,00	0,25	0,03	-0,01	0,08	0,07	0,41	0,08	0,11	0,23	0,51	0,07	0,09	0,42	-0,01	0,33	0,01	0,07	0,00	1,00			
D*psoja-1	0,03	-0,18	-0,24	0,08	0,29	0,10	0,29	0,03	-0,06	0,04	0,15	0,40	0,24	0,06	0,05	0,18	0,28	0,08	0,02	0,31	1,00		
D*SalMed-1	0,04	-0,19	-0,23	0,08	0,27	0,12	0,28	0,05	-0,07	0,03	0,14	0,28	0,31	0,07	0,07	0,21	0,31	0,08	0,03	0,32	0,93	1,00	
D*AbertCom-1	0,05	-0,05	-0,06	0,16	0,10	0,02	0,07	0,00	0,04	0,02	0,02	0,06	0,07	0,01	0,18	0,08	0,04	0,20	0,67	0,07	0,22	0,23	1,00

Obs.: O número seguido às variáveis indica defasagem temporal.

Pela **Figura 9**, pode-se ver que parte significativa da Amazônia Legal brasileira é ocupada por áreas de não floresta, presente em grande medida nos estados de Mato Grosso, Tocantins e Maranhão, e por manchas em Roraima e no Amapá. Estas áreas se caracterizam essencialmente por vegetação de savana do bioma Cerrado.

Figura 9 – Mapa do desflorestamento por corte raso nos estados da Amazônia Legal de acordo com os dados do PRODES (acumulado até 2004, 2005 a 2008, 2009 a 2012).

Fonte: Elaborado pelo pesquisador do INPE, Marcos Adami, a quem agradeço pela autorização de uso.

A respeito do bioma Cerrado, explica ROSS, J.L.S. [190, pp. 180–181] que:

O cerrado tem sido definido como floresta-ecótono-campo. O conceito de ecótono, menos rígido do que as classificações fisionômicas e florísticas, refere-se ao mosaico cerrado. As formações intermediárias que ocorrem no ecótono floresta-campo estão ilustradas na Figura 31. Ao longo desse ecoclíneo (cerradão-campo limpo), a biomassa arbórea e arbustiva decresce paulatinamente. Os ecótonos seriam produzidos pela ação de alguns fatores de controle do desenvolvimento da biomassa arbórea e arbustiva. Os fatores principais desse ecoclíneo são, principalmente, as condições do solo e a ação das queimadas.

Contudo, a maior parte da Amazônia Legal compreende áreas de floresta, sendo esta, “um termo genérico para designar um tipo de formação no qual o elemento dominante são as árvores, formando dossel” [190, p. 155]. No caso específico da região objeto de análise deste trabalho, trata-se da floresta tropical úmida da Amazônia. A respeito das florestais tropicais úmidas, estas “ocorrem entre os trópicos, nas terras baixas ou pouco elevadas e que recebem uma precipitação elevada e bem distribuída durante o ano todo” [190, p. 140] e que “a bacia amazônica é formada por uma grande extensão de terras de baixas altitudes que contêm uma complexa rede de canais, lagos e lagunas que drenam dos Andes, das Guianas e do Brasil Central”, sendo essa rede hidrográfica “responsável por cerca de 20% de toda a água doce que chega aos oceanos” [190, pp. 159–160].

Vê-se também pela **Figura 9** que parte importante da superfície da Amazônia Legal brasileira compreende a vasta rede hidrográfica da região com seus cursos e corpos d’água, um elemento que a distingue de outras regiões brasileiras. Também é possível observar que a maior parte do desflorestamento na região ocorreu de forma acumulada até 2004, porém essa ação ainda foi intensa entre os anos de 2005 e 2008. No quadriênio seguinte, percebe-se a redução das taxas anuais pela menor presença de polígonos correspondentes a essa categoria.

3.5 Resultados e discussão

3.5.1 Base de dados

A construção da base de dados para este trabalho envolveu grande esforço de compilação de informações públicas dispersas pelos diversos órgãos cuja competência está relacionada com o tema do desflorestamento da Amazônia. Neste aspecto, foi necessário compatibilizá-las para uma mesma unidade geográfica e de tempo, sendo que neste último foi preciso considerar que a soja tem calendário de plantio diverso entre as diversas regiões

brasileiras e, sendo assim, foi necessária uma escolha criteriosa do período de defasagem para se evitar problemas de endogeneidade.

Ainda assim, muitas informações não puderam ser incorporadas no modelo, pois apresentaram problemas de colinearidade, sendo este o caso das variáveis população e PIB municipal. Outras não se mostraram adequadas para inclusão no modelo por não possuírem um histórico adequado para se analisar por dados em painel, como foram os indicadores relacionados ao Programa Terra Legal. Finalmente, algumas variáveis foram excluídas para evitar a singularidade da matriz, entre elas as *dummies* de ano de mudança de ministros do Ministério de Meio Ambiente e de vigência do PPCDAm. Especialmente com relação ao Programa Terra Legal, vislumbra-se a possibilidade de novos estudos para entendimento dos impactos dessa iniciativa federal.

Portanto, pode-se afirmar com segurança que as variáveis escolhidas atendem aos requisitos de exogeneidade necessários para a estimação com consistência e eficiência de dados em painel.

3.5.2 Modelo e estimativas

Foram feitas as concorrências entre as matrizes espaciais de q vizinhos e tipo Queen, sendo a que melhor descreveu o processo gerador de dados foi a de 9 vizinhos. Dadas essas considerações, expõe-se na **Tabela 17** os resultados dos modelos estimados pela rotina em Matlab [187]. Na **Tabela 18**, são apresentadas suas principais estatísticas, sendo o modelo SDEM considerado o que melhor explica a variação da área plantada de soja no bioma Amazônia. Nessas estimações, foram subtraídos os efeitos fixos de espaço e de tempo.

Tabela 17 – Resultados dos modelos

(continua)

Modelo	OLS		SLM		SEM		SLX		SDM		SDEM	
Variável	Coef.	Estat. t	Coef.	Estat. t	Coef.	Estat. t	Coef.	Estat. t	Coef.	Estat. t	Coef.	Estat. t
VAD-2	-0,010	-1,169	-0,010	-1,266	-0,013	-1,485	-0,012	-1,353	-0,013	-1,476	-0,013	-1,495
VAD-3	0,003	1,728 *	0,001	0,897	0,004	2,678 ***	0,004	2,328 **	0,005	3,196 ***	0,004	2,778 ***
D_IndSoja-1	-0,243	-2,402 **	-0,169	-1,805 *	-0,092	-0,971	-0,235	-2,334 **	-0,155	-1,624	-0,199	-2,040 **
D_MS-1	0,023	0,650	0,006	0,184	-0,007	-0,172	-0,035	-0,849	-0,007	-0,192	-0,001	-0,034
MS_CAR1	-0,373	-2,841 ***	-0,199	-1,661 *	-0,080	-0,634	-0,189	-1,417	-0,105	-0,830	-0,153	-1,201
D_MunPrior-1	0,078	2,349 **	0,048	1,582	0,062	1,969 **	0,069	2,040 **	0,063	1,981 **	0,062	1,940 *
D_PF-1	-0,038	-1,360	-0,036	-1,393	-0,015	-0,560	0,003	0,104	-0,007	-0,250	-0,023	-0,848
D_CPT-1	0,001	0,043	0,007	0,525	0,008	0,579	-0,006	-0,448	0,002	0,129	0,000	0,013
QAI-1	0,048	0,279	0,049	0,306	0,052	0,333	0,024	0,141	0,027	0,169	0,050	0,303
Aemb-1	0,008	0,210	0,002	0,057	0,006	0,181	0,013	0,351	0,006	0,165	0,000	0,001
Psoja-1	0,004	0,033	0,014	0,311	-0,030	-0,327	-0,034	-0,237	-0,032	-0,239	-0,031	-0,241
SalMed_ag-1	0,167	5,688 ***	0,081	4,180 ***	0,090	3,341 ***	0,075	2,450 **	0,059	2,034 **	0,076	2,742 ***
Reb-1	0,049	3,205 ***	0,024	1,731 *	0,024	1,540	0,016	0,969	0,019	1,181	0,020	1,281
CredAg-1	0,003	4,292 ***	0,001	1,771 *	0,000	0,429	0,000	0,367	0,000	-0,122	0,000	0,490
CredPec-1	0,001	0,938	0,001	0,946	0,002	1,323	0,002	1,260	0,002	1,619	0,002	1,599
IDD-1	-0,059	-0,556	-0,049	-0,653	-0,173	-1,092	-0,190	-0,552	-0,341	-1,046	-0,380	-1,171
PIBm-1	0,008	0,539	0,001	0,106	0,003	0,246	-0,002	-0,172	0,000	0,024	0,003	0,220
Abert_com-1	-0,041	-0,652	-0,041	-0,715	-0,054	-0,940	-0,038	-0,629	-0,044	-0,758	-0,029	-0,485
D*VAD-3	-0,041	-3,413 ***	-0,025	-2,271 **	-0,028	-2,278 **	-0,026	-1,871 *	-0,025	-1,931 *	-0,026	-2,052 **
D*Psoja	-0,030	-0,163	0,030	0,464	0,079	0,753	-0,145	-0,692	-0,154	-0,778	-0,160	-0,858
D*SalMed_ag-1	-0,053	-0,721	-0,027	-0,544	-0,011	-0,167	-0,069	-0,865	-0,036	-0,482	-0,050	-0,693
D*AbertCom-1	0,013	0,297	0,011	0,263	0,006	0,155	0,030	0,689	0,018	0,426	0,015	0,358

Obs.: o número seguido às variáveis indica defasagem temporal.

Tabela 17 – Resultados dos modelos

(conclusão)

Modelo	OLS		SLM		SEM		SLX		SDM		SDEM	
Variável	Coef.	Estat. t	Coef.	Estat. t	Coef.	Estat. t	Coef.	Estat. t	Coef.	Estat. t	Coef.	Estat. t
W*VAD-2							-0,006	-0,313	0,003	0,152	0,000	0,011
W*VAD-3							-0,010	-4,276 ***	-0,008	-3,441 ***	-0,009	-2,803 ***
W*D_IndSoja-1							-1,545	-5,299 ***	-1,022	-3,690 ***	-1,335	-4,051 ***
W*D_MS-1							0,251	3,555 ***	0,137	2,048 **	0,160	1,648 *
W*MS_CAR1							-2,632	-8,626 ***	-1,213	-4,154 ***	-1,345	-3,241 ***
W*D_MunPrior-1							0,011	0,124	-0,039	-0,484	0,030	0,278
W*D_PF-1							-0,182	-2,697 ***	-0,163	-2,536 **	-0,306	-3,517 ***
W*D_CPT-1							-0,011	-0,310	-0,022	-0,646	-0,035	-0,755
W*QAI-1							-0,309	-0,680	-0,265	-0,618	-0,087	-0,155
W*Aemb-1							-0,184	-1,610	-0,128	-1,187	-0,180	-1,358
W*Psoja-1							-0,043	-0,283	-0,005	-0,034	-0,011	-0,069
W*SalMed_ag-1							0,205	5,048 ***	0,045	1,161	0,171	3,017 ***
W*Reb-1							0,056	1,577	0,011	0,321	0,035	0,738
W*CredAg-1							0,017	9,568 ***	0,009	5,019 ***	0,010	4,116 ***
W*CredPec-1							-0,003	-0,810	-0,003	-0,949	-0,003	-0,777
W*IDD-1							0,185	0,501	0,357	1,021	0,360	0,935
W*PIBm-1							-0,021	-0,544	-0,020	-0,560	-0,001	-0,032
W*Abert_com-1							0,004	0,022	0,059	0,346	0,159	0,769
W*D*VAD-3							-0,008	-0,251	0,017	0,550	-0,003	-0,078
W*D*Psoja							0,236	1,037	0,162	0,754	0,278	1,111
W*D*SalMed_ag-1							-0,092	-0,845	-0,009	-0,086	-0,105	-0,689
W*D*AbertCom-1							0,124	0,986	0,067	0,560	0,043	0,309

Obs.: significância dos parâmetros a 10% (*), 5% (**) e 1% (***).O número seguido às variáveis indica defasagem temporal.

Tabela 18 – Estatísticas dos modelos

Modelo	Efeitos fixos	SLM	SEM	SLX	SDM	SDEM
R ²	0,04	0,55	0,39	0,16	0,56	0,45
Log-verossimilhança	7,83	273,43	266,74	94,17	311,51	304,55
AIC	28,35	-500,86	-487,48	-100,35	-533,03	-519,09
I-Moran (probabilidade)	0,28 (0,00)			0,53 (0,00)		
LM $\rho = 0$ (prob.)				1.621,80 (0,00)		
LM robusto $\rho = 0$ (prob.)				2.167,44 (0,97)		
LM $\lambda = 0$ (prob.)				2.295,64 (0,00)		
LM robusto $\lambda = 0$ (prob.)				3.541,27 (0,00)		

A **Tabela 17** sintetiza o elevado conjunto de variáveis analisadas simultaneamente neste trabalho, especialmente quando são incorporadas as defasagens espaciais pelos modelos SLX, SDM e SDEM. A **Tabela 18**, por sua vez, mostra que há indicadores da existência de correlação espacial pela estatística I de Moran de valor igual a 0,28 para o modelo de efeitos fixos. Esses resíduos espaciais permanecem no modelo SLX, no qual a estatística I de Moran é de 0,53. A partir do modelo SLX, aplicam-se as estatísticas LM e LM robusto que indicam os modelos com correlação espacial nos erros como os mais adequados. A escolha do modelo SDEM decorre do valor menor da estatística LM.

Os resultados indicam uma relação positiva entre a variação da área plantada de soja e a variação da área desflorestada três anos antes (VAD-3). Esse resultado é coerente com o ciclo de consolidação dessa lavoura ao qual, após o desflorestamento, se segue a remoção dos tocos das árvores, o plantio de uma lavoura intermediária para preparo do solo (arroz, por exemplo) e somente então é feito o cultivo da soja. Do ponto de vista espacial (W*VAD-3), também cabe destacar a concorrência entre municípios com maior área aberta disponível, visto que o aumento nas taxas de desflorestamento de municípios vizinhos tinha por efeito a redução da variação da área planta de soja no município central.

Contudo, a *dummy* de inclinação (D*VAD-3) mostra que, após 2008, houve reversão dessa tendência e a soja deixou de crescer em áreas recém desflorestadas, sendo os novos plantios realizados em áreas de desflorestamento mais antigo. Tal resultado está de acordo com [133], com os relatórios anuais da Moratória da Soja e corrobora a efetividade dessa iniciativa para redução da presença de plantios de soja em áreas desflorestadas após 2006.

Detectou-se também aumento da área plantada de soja no município central quando os vizinhos sofreram restrição de compra e financiamento pelas empresas signatárias da Moratória da Soja (W*MS_CAR-1 e W*D_MS-1). Portanto, um controle mais efetivo em

uma localidade pode gerar incentivos para o plantio de soja no seu entorno, possivelmente em áreas já desflorestadas a fim de que estas também não sejam objeto de restrição.

Os resultados também mostraram relação negativa da presença de indústrias processadoras relacionada com o plantio da oleaginosa no município e em seus vizinhos ($D_IndSoja-1$ e $W*D_IndSoja-1$). Interpreta-se esse resultado como mais um indicativo da efetividade da Moratória da Soja, pois essa redução ocorreu na porção localizada no bioma Amazônia, enquanto a área total nesses municípios aumentou nesse mesmo período.

A soja é uma lavoura com alta mecanização e uso intensivo de capital em todas as etapas que envolvem o plantio até a colheita. Essa característica a exige em qualificação de funcionários encarregados da operação dos equipamentos envolvidos para que o produto tenha a menor perda possível e a qualidade esteja dentro dos padrões internacionais. Por essa razão, partindo da premissa de que o salário médio ($SalMed$ e $W*SalMed$) reflete a produtividade, e sendo esta correlacionada com a qualificação do trabalhador, conclui-se que o sinal positivo dessa variável indica que a lavoura da soja tende a crescer em regiões com maior disponibilidade de trabalhadores qualificados. Sendo essa relação válida no município e no seu entorno, o crescimento continuado da produção e a demanda derivada por trabalho gera um ciclo regional virtuoso de renda e emprego.

Com relação às políticas públicas, destacam-se os coeficientes relacionados com a implementação da lista de municípios prioritários para combate ao desflorestamento ($D_MunPrior-1$) e com as operações da Polícia Federal ($W*D_PF-1$).

No primeiro, o coeficiente positivo indica que as fortes restrições e controles impostos aos municípios objeto dessa lista do MMA foram efetivos para a redução do desflorestamento, conforme já destacado na revisão de literatura, e também geraram incentivos para o melhor aproveitamento das áreas abertas para uso agrícola.

Já o coeficiente negativo relacionado às operações da PF em municípios vizinhos indica que a variação do plantio de soja teve forte impacto com a redução do desflorestamento e à abertura de novas áreas no entorno de uma região. Depreende-se, portanto, que o combate às causas do desflorestamento pelas ações da PF também teve influência sobre a redução de novos plantios de soja no bioma Amazônia.

Esses resultados descrevem a dinâmica de crescimento da lavoura de soja baseada em elementos estruturais e de longo prazo, entre eles a qualificação dos trabalhadores, a

possibilidade de se estabelecer relações contratuais seguras entre produtores rurais e empresas compradoras e a concessão de crédito. A forte concentração da lavoura em polos de produção no norte do estado de Mato Grosso também é um indicativo de externalidades ligadas à troca de conhecimento e informação entre produtores, fundamental para a redução de custos e aumento de produtividade. Esses elementos foram de grande importância para o desenvolvimento da soja no Brasil a despeito das adversidades da economia e da má qualidade da infraestrutura de armazenagem e transportes.

Diversamente de outros trabalhos que estudaram as causas do desflorestamento, buscou-se nesta investigação analisar especificamente o crescimento da soja no bioma Amazônia e a sua relação com o desflorestamento. Por isso, foram inseridas variáveis macroeconômicas (PIBm-1 e AbertCom-1) ligadas ao desflorestamento, cujos coeficientes não se apresentaram significantes. Entende-se que esse resultado se deve ao fato de que o desflorestamento é um processo mais complexo e que se observa em escala distinta da ocupação da soja no bioma Amazônia. Entende-se, portanto, que a atividade macroeconômica não tem influência direta sobre os plantios de soja, pois estes seguem variáveis estruturais, como já destacado. Também não se verificou relação direta entre as variáveis relacionadas com a produção pecuária (Reb e CredPec) com o crescimento da soja.

Conforme exposto na **Tabela 12**, os efeitos diretos do modelo SDEM são os próprios parâmetros das variáveis aplicadas ao município (X), enquanto os indiretos são estimados pelos parâmetros das variáveis aplicadas aos municípios vizinhos (WX). Pode-se então concluir que a cadeia produtiva da soja tem efeitos diretos e indiretos significativos. Especificamente quanto aos fatores que influenciam o aumento ou redução da variação de área plantada da soja no bioma Amazônia entre 2003 e 2011, pode-se afirmar que a maior parte da queda da variação pode ser atribuída a ações de políticas públicas, notadamente a redução do desflorestamento, e o restante decorreu das ações da Moratória da Soja.

3.5.3 Análise da produtividade agrícola

Investigou-se a evolução da produtividade de soja nos municípios produtores no bioma a fim de se entender se a restrição imposta ao crescimento de área gerou um incentivo ao aumento de produtividade acima da média nos municípios sob restrição da Moratória da Soja. Para tanto, foram analisados os municípios que produziram soja em todos os anos do período de 2002 a 2011, o que levou ao descarte de alguns municípios devido à ausência de

produção em um ou mais períodos. O subconjunto analisado representou, em média, 59,21% da produção total do bioma.

Para a escolha do modelo de painel por efeitos fixos ou aleatórios, aplicou-se um teste de Hausman, o qual tem por hipótese nula a premissa de que o modelo correto é o de efeitos aleatórios e que este, sendo o correto, também é o mais eficiente. Contudo, se o termo aleatório não observável estiver correlacionado com as variáveis explicativas, então o modelo de efeitos fixos será consistente e deve-se rejeitar a hipótese nula.

A estatística H de Hausman segue uma distribuição Qui-Quadrado com M graus de liberdade, sendo M o número de variáveis com variação ao longo do tempo, pois somente estas podem ser estimadas pelo modelo de efeitos fixos [88, p. 718]. Neste caso, a estatística calculada foi de $H = 300$ com 20 graus de liberdade e p-valor $< 2 * 10^{-16}$. Portanto, rejeitou-se a hipótese nula e procedeu-se pela estimação por modelos de painéis por efeitos fixos relacionados ao município. Também se aplicou o teste de Breusch-Godfrey, cujo estatística foi de $BG = 60$ com 9 graus de liberdade e p-valor $= 4 * 10^{-9}$, o que indica correlação serial.

O modelo foi estimado em painel por Mínimos Quadrados Generalizados Factíveis para controle de heterocedasticidade e correlação serial, conforme **equação (3)**:

$$\text{Produt}_{m,t} = \mu_m + \text{Produt}_{m,t-1} + \text{Preço}_{m,t}\theta + X_{m,t-1}\beta + \varepsilon \quad (3)$$

sendo Produt a produtividade média de soja, Preço é o preço médio da soja no município, X são as variáveis de controle, m é o município, t é o ano, μ_m o efeito específico de espaço, α , β e θ são parâmetros e ε é o termo de erro.

Neste caso, houve alteração da magnitude e significância com a inclusão das *dummies* de ano, porém somente serão apresentados os resultados relacionados às variáveis de controle na **Tabela 19**. Neste modelo, optou-se pela utilização do preço da soja no ano corrente ao da produtividade por se entender que o preço local é determinado de forma exógena (depende do mercado internacional, taxa de câmbio e custo de transporte) e reflete de maneira mais adequada a expectativa de rentabilidade do produtor para fins de aquisição de insumos:

Tabela 19 – Resultados dos modelos

Variável	Coefficiente	Estatística t
Produt-1	0,036	0,90
Preço	-0,015	-1,06
Aemb-1	0,000	1,09
SalMed-1	0,003	0,67
CredAg-1	0,000	2,83 ***
IDD-1	0,048	0,42
D_MS-1	-0,001	-0,37
D_IndSoja-1	-0,009	-1,33
D_PF-1	0,003	0,96
R ² múltiplo	0,554	

Obs.: Significância dos parâmetros a 10% (*), 5% (**) e 1% (***).

O número seguido às variáveis indica defasagem temporal.

Nota-se que, após a inclusão dos controles, a produtividade está relacionada principalmente com a concessão de crédito agrícola, sendo este fator determinante na decisão do produtor rural de adquirir mais insumos, realizar investimentos e melhorias na propriedade e optar por melhores pacotes tecnológicos. Não se verificou, todavia, relação da produtividade agrícola com a Moratória da Soja. O mesmo pode ser afirmado com relação às variáveis de políticas públicas para redução do desflorestamento.

3.6 Conclusões

A relação da sociedade com o meio ambiente sofreu profundas transformações nas últimas décadas. Essa nova visão influenciou de forma profunda os modelos econômicos adotados pelos países. No Brasil, foram criados diversos programas governamentais para o monitoramento e controle da degradação ambiental a fim de reduzir as taxas de desflorestamento no bioma Amazônia.

A cadeia produtiva da soja, fortemente ligada aos fluxos de comércio exterior, foi questionada nesses mesmos moldes e respondeu com a implementação de uma iniciativa setorial em que se auto impôs limites ao crescimento em áreas de floresta nativa do bioma Amazônia.

As ações públicas e privadas caminharam, portanto, no mesmo sentido e o objetivo principal deste trabalho foi avaliar a efetividade de cada uma delas em um quadro onde a simultaneidade dessas iniciativas gerou um debate sobre qual o peso de cada uma delas.

Os resultados sugerem que a cadeia produtiva da soja cresce com base em elementos estruturais ligados à segurança jurídica, ao crédito e ao relacionamento com os demais elos da cadeia produtiva. Sendo intensiva em capital e mão de obra qualificada, a lavoura da soja depende de condições estáveis para gerar um ciclo virtuoso de crescimento.

Se em um primeiro momento a expansão da área plantada assentava-se na utilização de áreas recém-desflorestadas, a implementação das ações públicas e privadas modificou de forma significativa esse padrão de crescimento. A queda das taxas de desflorestamento e o controle severo do uso das novas áreas com a imposição de alto risco de embargos e multas tornaram-se impeditivos para o cultivo de uma lavoura intensiva em investimentos.

Da mesma forma, os resultados indicam que a Moratória da Soja, iniciativa que trouxe fortes restrições à compra e ao financiamento da soja em áreas desflorestadas após julho de 2006, veio a reforçar uma nova tendência da cadeia produtiva de crescer principalmente em áreas de conversão mais antiga. Para isso, contou com a disponibilidade de um elevado estoque de pastagens subproveitadas aptas à conversão em lavouras.

As iniciativas públicas e setoriais se reforçam e se complementam, sendo as primeiras essenciais para a definição de um novo ordenamento da expansão agrícola e de exploração das terras cultiváveis, e as segundas necessárias para o estabelecimento de políticas específicas para a maior lavoura cultivada no Brasil. Os reflexos destas se fazem sentir também em outras cadeias produtivas que buscam formas de se ajustar às novas exigências do consumidor.

Portanto, a queda das taxas de desflorestamento formou o alicerce necessário para a implementação da Moratória da Soja. Ao criar uma nova percepção da sociedade sobre a dinâmica da abertura de novas áreas, permitiu o sucesso da iniciativa setorial para desacelerar ainda mais o crescimento da soja no bioma Amazônia.

Dentro do quadro exposto, atribui-se às iniciativas de governança pública a parcela majoritária da redução da expansão da soja no bioma Amazônia, sendo as ações setoriais complementares e importantes para assegurar essa nova dinâmica.

Finalmente, deve-se mencionar que a produtividade média da soja não foi influenciada pela Moratória da Soja. Como mencionado, essa lavoura é intensiva em capital e está relacionada a uma cadeia produtiva moderna, exportadora e seu crescimento depende de elementos estruturais relacionados a expectativas de longo prazo. Nesse sentido, a produtividade decorre, essencialmente, da disponibilidade de recursos do produtor rural para investir nos pacotes tecnológicos mais adequados com o objetivo de buscar a melhoria contínua.

Referências

- [1] M. Mazoyer and L. Roudart, *A History of World Agriculture from the Neolithic Age to the Current Crisis*. London, England, 2006.
- [2] J. M. Roberts and O. A. Westad, *The Penguin History of the World*, Sixth edit. London, England: Penguin Books, 2014.
- [3] E. Hobsbawm, *A Era do Capital: 1848-1875*, 5ª edição. Rio de Janeiro, RJ: Paz e Terra, 1996.
- [4] J. M. Roberts, *The Penguin History of the Twentieth Century*. Penguin Books, 1999.
- [5] E. Hobsbawm, *The Age of Extremes: a History of the World, 1914-1991*. New York, USA: Vintage Books, 1996.
- [6] J. P. Holdren and P. R. Ehrlich, "Human Population and the Global Environment: Population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force," *Am. Sci.*, vol. 62, no. 3, pp. 282–292, 1976.
- [7] P. Moutinho, R. Guerra, and C. Azevedo-Ramos, "Achieving zero deforestation in the Brazilian Amazon: What is missing?," *Elem. Sci. Anthr.*, vol. 4, p. 000125, 2016.
- [8] L. C. P. Dias, F. M. Pimenta, A. B. Santos, M. H. Costa, and R. J. Ladle, "Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture," *Glob. Chang. Biol.*, vol. 22, no. 8, pp. 2887–2903, 2016.
- [9] C. A. Silva and M. Lima, "Soy Moratorium in Mato Grosso: Deforestation undermines the agreement," *Land use policy*, vol. 71, no. November 2017, pp. 540–542, 2018.
- [10] L. J. Sonter, D. Herrera, D. J. Barrett, G. L. Galford, C. J. Moran, and B. S. Soares-Filho, "Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon," *Nat. Commun.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–7, 2017.
- [11] FAO, *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Rome, 2017.
- [12] 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, DF, 2013.
- [13] A. A. C. do Lago, *Stockholm, Rio, Johannesburg: Brazil and the Three United Nations Conferences on the Environment*. Brasília, DF, 2009.

- [14] L. A. de C. Neves and R. H. Dalaqua, *De Estocolmo72 à Rio+20: uma análise sobre a atuação brasileira nas principais conferências internacionais sobre meio ambiente e desenvolvimento*, vol. Junho, no. Edição especial: caminhos para a sustentabilidade. Rio de Janeiro, RJ, 2012.
- [15] A. A. C. do Lago, *Conferências de Desenvolvimento Sustentável*. Brasília, DF: FUNAG, 2013.
- [16] X. Arnauld de Sartre and R. Taravella, “National sovereignty vs. sustainable development lessons from the narrative on the internationalization of the Brazilian Amazon,” *Polit. Geogr.*, vol. 28, no. 7, pp. 406–415, 2009.
- [17] BRASIL, *Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. 1981.
- [18] BRASIL, *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF, 1988.
- [19] BRASIL, *Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Brasília, DF, 2012.
- [20] BRASIL, *Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965*. Brasília, DF, 1965.
- [21] BRASIL, *Medida Provisória nº 1.511, de 25 de julho de 1996*. Brasília, DF, 1996.
- [22] INPE, “Taxas anuais do desmatamento - 1988 até 2014,” 2015. [Online]. Available: http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2014.htm. [Accessed: 01-Nov-2015].
- [23] C. Santos, “Agronegócio já pode crescer sem desmatar,” *Valor Econômico*, 22-Jun-2016.
- [24] F. de Lorenzo, “Agricultura pode crescer sem prejudicar ambiente, diz Ministério,” *Valor Econômico*, Oct-2010.
- [25] “Área agrícola pode crescer 30 milhões de hectares sem desmatar,” *Revista Dinheiro Rural*, Aug-2014.
- [26] “Produção sem desmatar,” *Agronovas*, 11-Nov-2016.
- [27] “Agronegócio já reconhece que é possível produzir sem desmatar,” *Estadão*, 05-May-2010.
- [28] J. H. Ribeiro, C. Dassie, and C. Fazzio, “Produtores enfrentam o desafio de dobrar a produção sem desmatar,” *Globo Rural*, Nov-2015.
- [29] ACRISUL, “Brasil lidera produção de soja com recuperação de áreas degradadas,” 21-Jan-2016. [Online]. Available: <http://www.acrissul.com.br/noticias/ver/6922/brasil?lidera?producao?de?soja?com?recuperacao?de?areas?degradadas>. [Accessed: 04-Jul-2016].
- [30] “Recuperação de pastagem evita desmatar novas áreas,” *Canal Rural*, 27-Apr-2015. [Online]. Available: <http://www.canalrural.com.br/noticias/rural?noticias/recuperacao?pastagem?evita?desmatar?novas?areas?56163>. [Accessed: 04-Jul-2016].
- [31] FIESP, “Intensificação da produtividade pecuária pode liberar até 70 mi hectares para agricultura,” 04-Jul-2011. [Online]. Available: <http://www.fiesp.com.br/noticias/intensificacao?da?produtividade?pecuaria?pode?liberar?ate?70?mi?hectares?para?agricultura/>. [Accessed: 04-Jul-2016].

- [32] A. L. Azevedo, “Com 1 boi por hectare , pecuária extensiva degrada cerrado,” *O Globo*, 04-Jul-2015. [Online]. Available: <http://oglobo.globo.com/economia/com-um-boi-por-hectare-pecuaria-extensiva-degrada-cerrado-17490426>. [Accessed: 09-Jul-2016].
- [33] Observatório ABC, “Intensificar pecuária pode liberar 44 milhões de hectares de pastagens,” 10-Dec-2014. [Online]. Available: <http://www.observatorioabc.com.br/intensificar-pecuaria-pode-liberar-44-milhoes-de-hectares-de-pastagens?locale=pt-br>. [Accessed: 09-Jul-2016].
- [34] Observatório ABC, “Em 10 anos , ABC pode poupar 100 milhões de hectares de pastagens,” 04-Apr-2016. [Online]. Available: <https://www.observatorioabc.com.br/em?10?anos?abc?pode?poupar?100?milhoes?de?hectares?de?pastagens?locale=pt?br>. [Accessed: 07-Apr-2016].
- [35] M. B. Dias-Filho, “Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira,” *Rev. Bras. Zootec.*, vol. 40, no. Suplemento especial, pp. 243–252, 2011.
- [36] BRASIL, *Nationally appropriate mitigation actions of developing country Parties*. UNFCCC, 2010.
- [37] BRASIL, *Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*, vol. 9. Brasília, DF, 2015.
- [38] BRASIL, *Lei 12.187*. Brasília, DF, 2009, pp. 1–5.
- [39] BRASIL, *Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010*. Brasília, DF, 2010.
- [40] MAPA, “Plano ABC: histórico,” 2016. [Online]. Available: <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc/historico>. [Accessed: 17-Jul-2016].
- [41] A. Angelsen, “Agricultural expansion and deforestation: modelling the impact of population, market forces and property rights,” *J. Dev. Econ.*, vol. 58, no. 1, pp. 185–218, 1999.
- [42] E. B. Barbier, “The Economics of Tropical Deforestation and Land Use: An Introduction to the Special Issue,” *Land Econ.*, vol. 77, no. 2, pp. 155–171, 2001.
- [43] R. M. Ewers, W. F. Laurance, and C. M. Souza, “Temporal fluctuations in Amazonian deforestation rates,” *Environ. Conserv.*, vol. 35, no. 04, p. 303, 2008.
- [44] D. Byerlee, J. Stevenson, and N. Villoria, “Does intensification slow crop land expansion or encourage deforestation?,” *Glob. Food Sec.*, vol. 3, no. 2, pp. 92–98, 2014.
- [45] J. Godar, T. A. Gardner, E. J. Tizado, and P. Pacheco, “Actor-specific contributions to the deforestation slowdown in the Brazilian Amazon,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 111, no. 43, pp. 15591–15596, 2014.
- [46] FAO, “How to Feed the World in 2050,” *Insights from an Expert Meet. FAO*, vol. 2050, no. 1, pp. 1–35, 2009.
- [47] D. M. Lapola *et al.*, “Pervasive transition of the Brazilian land-use system,” *Nat. Clim. Chang.*, vol. 4, no. 1, pp. 27–35, 2014.

- [48] H. W. Kendall and D. Pimentel, "Constraints on the expansion of the global food supply," *R. Swedish Acad. Sci.*, vol. 23, no. 3, pp. 198–205, 1994.
- [49] M. B. Dias-Filho, *Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação*, 4^a edição. Belém, PA: MBDF, 2011.
- [50] H. R. Grau and M. Aide, "Globalization and land-use transitions in Latin America," *Ecol. Soc.*, vol. 13, no. 2, p. 16, 2008.
- [51] INPE, "Projeto Terraclass," 2016. [Online]. Available: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2010.php. [Accessed: 17-Jul-2016].
- [52] C. A. de Almeida *et al.*, "High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data," *Acta Amaz.*, vol. 46, no. 3, pp. 291–302, 2016.
- [53] C. E. F. Young, "Public policy and deforestation in the Brazilian Amazon," *Planej. e Políticas Públicas*, vol. 18, pp. 201–222, 1998.
- [54] J. L. C. Camargo, I. D. K. F. Ferraz, and A. M. Imakawa, "Rehabilitation of degraded areas of Central Amazonia using direct sowing of forest tree seeds," *Restor. Ecol.*, vol. 10, no. 4, pp. 636–644, 2002.
- [55] G. Parayil and F. Tong, "Pasture-led to logging-led deforestation in the Brazilian Amazon: the dynamics of socio-environmental change," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 8, no. 1, pp. 63–79, 1998.
- [56] S. M. Ichihara, "Desmatamento e recuperação de pastagens degradadas na região amazônica: uma abordagem através das análises de projetos," USP. ESALQ., 2003.
- [57] M. F. Simon and F. L. Garagorry, "The expansion of agriculture in the Brazilian Amazon," *Environ. Conserv.*, vol. 32, no. 3, pp. 203–212, 2006.
- [58] J.-L. Arcand, P. Guillaumont, and S. G. Jeanneney, "Deforestation and the real exchange rate," *J. Dev. Econ.*, vol. 86, no. 2, pp. 242–262, 2008.
- [59] S. S. Scrieciu, "Can economic causes of tropical deforestation be identified at a global level?," *Ecol. Econ.*, vol. 62, no. 3–4, pp. 603–612, 2007.
- [60] O. Damette and P. Delacote, "On the economic factors of deforestation: What can we learn from quantile analysis?," *Econ. Model.*, vol. 29, no. 6, pp. 2427–2434, 2012.
- [61] A. J. Peron and A. R. Evangelista, "Degradação de pastagens em regiões de cerrado," *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 28, no. 3, pp. 655–661, 2004.
- [62] C. R. Townsend, N. de L. Costa, and R. G. de A. Pereira, "Aspectos econômicos da recuperação de pastagens no bioma Amazônia," *Pubvet*, vol. 4, no. 14, p. 31, 2010.
- [63] S. McCormick, N; Jenkins, M.; Maginnis, "Biofuels and Degraded Land The potential role of intensive agriculture in landscape restoration," 2014.
- [64] J. L. N. Carvalho, J. C. Avanzi, M. L. N. Silva, C. R. de Mello, and C. E. P. Cerri, "Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas no Brasil," *Rev. Bras. Ciência do Solo*, vol. 34, no. 2, pp. 277–289, 2010.
- [65] G. L. Galford *et al.*, "Greenhouse gas emissions from alternative futures of deforestation and agricultural management in the southern Amazon," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 107, no. 46, pp. 19649–19654, 2010.

- [66] P. M. Fearnside, "Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest," *For. Ecol. Manage.*, vol. 80, no. 1–3, pp. 21–34, 1996.
- [67] A. Albrecht and S. T. Kandji, "Carbon sequestration in tropical agroforestry systems," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 99, no. 1–3, pp. 15–27, 2003.
- [68] S. P. Braz *et al.*, "Soil Carbon Stocks under Productive and Brachiaria Degraded Pastures in the Brazilian Cerrado," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 77, no. 3, pp. 914–928, 2013.
- [69] T. Desjardins, E. Barros, M. Sarrazin, C. Girardin, and A. Mariotti, "Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 103, no. 2, pp. 365–373, 2004.
- [70] P. M. Fearnside and R. I. Barbosa, "Soil carbon changes from conversion of forest to pastures in Brazilian Amazonia," *For. Ecol. Manage.*, vol. 108, no. 1–2, pp. 147–166, 1988.
- [71] M. M. L. Müller, M. F. Guimarães, T. Desjardins, and D. Mitja, "The relationship between pasture degradation and soil properties in the Brazilian amazon: a case study," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 103, no. 2, pp. 279–288, 2004.
- [72] T. D. D. A. Sá, O. R. Kato, C. J. R. Carvalho, and R. D. O. Figueiredo, "Queimar ou não queimar?," *Rev. USP*, vol. 72, pp. 90–97, 2007.
- [73] F. Montagnini, "Strategies for the recovery of degraded ecosystems: experiences from Latin America," *Interciencia*, vol. 26, no. 10, pp. 498–503, 2001.
- [74] C. Uhl, R. Buschbacher, and E. A. S. Serrao, "Abandoned Pastures in Eastern Amazonia . I. Patterns of Plant Succession," *Br. Ecol. Soc.*, vol. 76, no. 3, pp. 663–681, 1988.
- [75] A. N. Kichel, C. H. B. M. Miranda, and A. H. Zimmer, "Degradação de pastagens e produção de bovinos de corte com a integração agricultura x pecuária," in *I Simpósio de Produção de Gado de Corte*, 1999, pp. 201–234.
- [76] J. L. N. Carvalho *et al.*, "Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil," *Soil Tillage Res.*, vol. 110, no. 1, pp. 175–186, 2010.
- [77] N. C. Noronha *et al.*, "Recovery of degraded pasture in Rondônia: macronutrients and productivity of brachiaria brizantha," *Rev. Bras. Ciência do Solo*, vol. 34, no. 5, pp. 1711–1720, 2010.
- [78] L. C. Balbino, L. Adriano, M. Cordeiro, V. Porfírio, and A. De Moraes, "Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura - pecuária - floresta no Brasil," *Pesqui. Agropecuária Bras.*, vol. 46, no. 10, pp. i–ix, 2011.
- [79] M. B. Dias-Filho, "Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens," *Supl. Espec. da Rev. Bras. Zootec.*, vol. 35, pp. 535–553, 2006.
- [80] R. Perin, G. C. Martins, S. R. Muniz, and G. M. Linhares, "Sistema de pastejo rotacionado intensivo como alternativa para a recuperação de áreas degradadas no estado do Amazonas," *Amaz. Ciência Desenvolv.*, vol. 4, no. 8, pp. 235–244, 2009.
- [81] M. M. L. Muller, M. de F. Guimarães, T. Desjardins, and P. F. D. S. Martins, "Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes," *Pesqui. Agropecu. Bras.*, vol. 36, no. 11, pp. 1409–1418, 2001.

- [82] B. B. N. Strassburg *et al.*, “When enough should be enough: improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil,” *Glob. Environ. Chang.*, vol. 28, no. 1, pp. 84–97, 2014.
- [83] A. M. Mazzetto, B. J. Feigl, R. L. M. Schils, C. E. P. Cerri, and C. C. Cerri, “Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system,” *Livest. Sci.*, vol. 175, pp. 101–112, 2015.
- [84] R. N. Lubowski, A. J. Plantinga, R. N. Stavins, N. Ruben, J. Plantinga, and N. Robert, “What drives Land-Use Change in the United States? A National Analysis of Landowner Decisions,” *Land Econ.*, vol. 84, no. 4, pp. 529–550, 2008.
- [85] D. J. Lewis and A. J. Plantinga, “Policies for Habitat Fragmentation: Combining Econometrics with GIS-Based Landscape Simulations,” *Land Econ.*, vol. 83, no. 2, pp. 109–127, 2007.
- [86] B. S. Rashford, J. A. Walker, and C. T. Bastian, “Economics of Grassland Conversion to Cropland in the Prairie Pothole Region,” *Conserv. Biol.*, vol. 25, no. 2, pp. 276–284, 2011.
- [87] B. S. Rashford, C. T. Bastian, and J. G. Cole, “Agricultural Land-Use Change in Prairie Canada: Implications for Wetland and Waterfowl Habitat Conservation,” *Can. J. Agric. Econ.*, vol. 59, no. 2, pp. 185–205, 2011.
- [88] A. C. Cameron and P. K. Trivedi, *Microeconometrics: Methods and Applications*. New York: Cambridge University Press, 2005.
- [89] A. G. Billé and G. Arbia, “Spatial discrete choice and spatial limited dependent variable models: a review with an emphasis on the use in regional health economics,” 2, 2013.
- [90] T. E. Smith and J. P. LeSage, “A bayesian Probit model with spatial dependencies,” in *Spatial and Spatiotemporal Econometrics*, vol. 18, Emerald Group Publishing Limited, 2004, pp. 127–160.
- [91] R. Chakir and O. Parent, “Determinants of land use changes: A spatial multinomial probit approach,” *Pap. Reg. Sci.*, vol. 88, no. 2, pp. 327–344, 2009.
- [92] X. C. Wang, K. M. Kockelman, and J. D. Lemp, “The dynamic spatial multinomial probit model: Analysis of land use change using parcel-level data,” *J. Transp. Geogr.*, vol. 24, pp. 77–88, 2012.
- [93] E. Y. Arima, “A Spatial Probit Econometric Model of Land Change: The Case of Infrastructure Development in Western Amazonia, Peru,” *PLoS One*, vol. 11, no. 3, p. e0152058, 2016.
- [94] B. S. Rashford, S. E. Albeke, and D. J. Lewis, “Modeling grassland conversion: Challenges of using satellite imagery data,” *Am. J. Agric. Econ.*, vol. 95, no. 2, pp. 404–411, 2013.
- [95] J. M. Wooldridge, *Econometric analysis of cross section and panel data*, Second Edi. The MIT Press, 2010.
- [96] G. T. Parady and E. Hato, “Accounting for spatial correlation in tsunami evacuation destination choice: a case study of the Great East Japan Earthquake,” *Nat. Hazards*, pp. 1–11, 2016.

- [97] M. M. Fleming, "Techniques for Estimating Spatially Dependent Discrete Choice Models," in *Advances in Spatial Econometrics: Methodology, Tools and Applications*, L. Anselin, R. J. G. M. Florax, and S. J. Rey, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004, pp. 145–168.
- [98] C. R. Bhat and J. Guo, "A mixed spatially correlated logit model: Formulation and application to residential choice modeling," *Transp. Res. Part B Methodol.*, vol. 38, no. 2, pp. 147–168, 2004.
- [99] I. N. Sener, R. M. Pendyala, and C. R. Bhat, "Accommodating spatial correlation across choice alternatives in discrete choice models: An application to modeling residential location choice behavior," *J. Transp. Geogr.*, vol. 18, no. 5, pp. 624–633, 2010.
- [100] J. P. Elhorst, R. Devillers, F. Group, D. Del, T. Internacional, and M. José, *Spatial Econometrics From Cross-Sectional Data to Spatial Panels*, vol. 16. Springer, 2014.
- [101] F. A. López, J. Mur, and A. Angulo, "Spatial model selection strategies in a SUR framework. The case of regional productivity in EU," *Ann. Reg. Sci.*, vol. 53, no. 1, pp. 197–220, 2014.
- [102] INPE and Embrapa, "Projeto TerraClass: levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia - Sumário Executivo," 2011.
- [103] INPE and Embrapa, "TerraClass 2004 a 2014: dinâmica do uso e cobertura da terra no período de 10 anos nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal Brasileira," Brasília, DF, 2016.
- [104] CONAB, "Séries históricas de área plantada, produtividade e produção relativas às safras de grãos 1976/77 a 2014/15: soja." Brasília, DF, 2016.
- [105] D. Weinhold, E. Killick, and E. J. Reis, "Soybeans, poverty and inequality in the Brazilian Amazon," *World Dev.*, vol. 52, pp. 132–143, 2013.
- [106] P. Richards, H. Pellegrina, L. VanWey, and S. Spera, "Soybean Development: the impact of a decade of agricultural change on urban and economic growth in Mato Grosso, Brazil," *PLoS One*, vol. 10, no. 4, p. e0122510, 2015.
- [107] Greenpeace, "Comendo a Amazônia," Manaus, AM, 2006.
- [108] ABIOVE, "Moratória da Soja: Declaração das Empresas," São Paulo, SP, 2006.
- [109] ABIOVE, "Banco do Brasil adere à Moratória da Soja," São Paulo, SP, 2010.
- [110] Greenpeace, "Indústria da soja promete não financiar produtores que causem novos desmatamentos na Amazônia," 2007. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/ind-stria-da-soja-promete-n-o/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [111] Greenpeace, "Indústria da soja anuncia moratória no desmatamento da Amazônia depois de pressão de consumidores," 2006. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/ind-stria-da-soja-anuncia-mora/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [112] Greenpeace, "Moratória da soja é renovada pela última vez," 2014. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Moratoria-da-soja-e-renovada-pela-ultima-vez/>. [Accessed: 20-Nov-2015].

- [113] Greenpeace, “Mais um ano de trégua para a Amazônia,” 2010. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Mais-um-ano-de-tregua-para-a-Amazonia/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [114] Greenpeace, “Seis anos de moratória,” 2012. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Seis-anos-de-moratoria/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [115] ABIOVE, “Moratória da Soja: Termo de Compromisso,” São Paulo, SP, 2009.
- [116] Greenpeace, “Monitoramento na Amazônia comprova: moratória da soja deu resultado,” 2008. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/monitoramento-comprova-morat/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [117] Greenpeace, “Moratória da soja vale até 2010,” 2009. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/morat-ria-da-soja-vale-ate-201/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [118] ABIOVE, “ABIOVE: Moratória da Soja no Bioma Amazônia foi renovada,” São Paulo, SP, 2016.
- [119] ABIOVE, “Moratória da Soja: 2º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2009.
- [120] ABIOVE, “Moratória da Soja: 3º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2010.
- [121] ABIOVE, “Moratória da Soja: 4º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2011.
- [122] ABIOVE, “Moratória da Soja: 5º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2012.
- [123] ABIOVE, “Moratória da Soja: 6º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2013.
- [124] ABIOVE, “Moratória da Soja: 7º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2014.
- [125] ABIOVE, “Arquivos com Estatísticas do Biodiesel,” 2015. [Online]. Available: www.abiove.com.br. [Accessed: 06-Jul-2015].
- [126] ABIOVE, “Moratória da Soja: 8º ano de mapeamento e monitoramento da soja no bioma Amazônia,” São Paulo, SP, 2016.
- [127] B. F. T. Rudorff *et al.*, “The soy moratorium in the Amazon biome monitored by remote sensing images,” *Remote Sens.*, vol. 3, no. 1, pp. 185–202, 2011.
- [128] B. F. T. Rudorff *et al.*, “Remote Sensing Images to Detect Soy Plantations in the Amazon Biome-The Soy Moratorium Initiative,” *Sustainability*, vol. 4, no. 12, pp. 1074–1088, 2012.
- [129] ABIOVE, “Reconhecimento Público,” 2010. [Online]. Available: http://www.abiove.org.br/site/_FILES/Portugues/17072012-140138-ms4_reconhecimento_clientes_2010_br.pdf. [Accessed: 20-Nov-2015].

- [130] The European Soy Consumer Group, “2010 Joint Statement of the European Soy Customer Group,” 2010. [Online]. Available: http://www.abiove.org.br/site/_FILES/English/17072012-145031-ms03a_reconhecimento_clientes_2010_us.pdf. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [131] The European Soy Consumer Group, “European Soy Customer Group Statement,” 2011. [Online]. Available: http://www.abiove.org.br/site/_FILES/Portugues/18062012-174233-ms_reconhecimento_2011_us.pdf. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [132] IPEA, GIZ, and Cepal, “Avaliação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal: PPCDAm 2007-2010,” 2011.
- [133] J. Risso, “Diagnóstico espacialmente explícito da expansão da soja no Mato Grosso de 2000 a 2012,” INPE, 2013.
- [134] J. Assunção, C. Gandour, and R. Rocha, “Deforestation Slowdown in the Brazilian Amazon: Prices or Policies?,” Rio de Janeiro, RJ, 2015.
- [135] J. Assunção, C. Gandour, and R. Rocha, “DETERring deforestation in the Brazilian Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement - Webinar Slides,” Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- [136] D. Boucher, P. Elias, J. Faires, and S. Smith, “Histórias de sucesso no âmbito do desmatamento,” Cambridge, MA, 2014.
- [137] H. K. Gibbs *et al.*, “Brazil’s Soy Moratorium - Supplementary Material,” *Sci. - Policy Forum Environ. Dev.*, vol. 347, no. 6220, pp. 377–378, 2014.
- [138] H. K. Gibbs, “The End of Brazil’s Soy Moratorium Will Mean More Deforestation,” 2014.
- [139] D. Nepstad *et al.*, “Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains,” *Science* (80-.), vol. 344, no. 6188, pp. 1118–23, 2014.
- [140] M. N. Macedo, R. S. DeFries, D. C. Morton, C. M. Stickler, G. L. Galford, and Y. E. Shimabukuro, “Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 109, no. 4, pp. 1341–1346, 2012.
- [141] H. K. Gibbs *et al.*, “Did Ranchers and Slaughterhouses Respond to Zero-Deforestation Agreements in the Brazilian Amazon?,” *Conserv. Lett.*, p. 18, May 2015.
- [142] Greenpeace, “Bertin, Carrefour, Wal Mart e Pão de Açúcar respondem ao relatório do Greenpeace,” 2009. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/bertin-carrefour-wal-mart-e/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [143] D. C. Morton *et al.*, “Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 103, no. 39, pp. 14637–14641, 2006.
- [144] T. Searchinger *et al.*, “Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change,” *Science* (80-.), vol. 423, no. February, pp. 1238–1241, 2008.
- [145] J. Fargione, J. Hill, D. Tilman, S. Polasky, and P. Hawthorne, “Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt,” *Science* (80-.), vol. 319, no. February, pp. 1235–1239, 2008.

- [146] E. Barona, N. Ramankutty, G. Hyman, and O. T. Coomes, "The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon," *Environ. Res. Lett.*, vol. 5, no. 2, p. 9, 2010.
- [147] D. M. Lapola *et al.*, "Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 107, no. 8, pp. 3388–3393, 2010.
- [148] E. Y. Arima, P. Richards, R. Walker, and M. M. Caldas, "Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon," *Environ. Res. Lett.*, vol. 6, no. 2, p. 024010, 2011.
- [149] ABIOVE, "Moratória da Soja: Safra 2016/2017," São Paulo, SP, 2017.
- [150] Greenpeace, "Desmatamento Zero," 2015. [Online]. Available: <http://www.desmatamentozero.org.br/>. [Accessed: 01-Nov-2015].
- [151] A. A. Azevedo, M. C. C. Stabile, and T. N. P. Reis, "Commodity production in Brazil: Combining zero deforestation and zero illegality," *Elem. Sci. Anthr.*, vol. 3, no. 1, p. 12, 2015.
- [152] M. S. Bowman, B. S. Soares-Filho, F. D. Merry, D. C. Nepstad, H. Rodrigues, and O. T. Almeida, "Persistence of cattle ranching in the Brazilian Amazon: a spatial analysis of the rationale for beef production," *Land use policy*, vol. 29, no. 3, pp. 558–568, 2012.
- [153] A. S. Cohn *et al.*, "Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation.," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 111, no. 20, pp. 7236–7241, 2014.
- [154] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, "Censo Agropecuário 2006," Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- [155] J. B. De Souza Ferreira Filho, L. Ribera, and M. Horridge, "Deforestation control and agricultural supply in Brazil," *Am. J. Agric. Econ.*, vol. 97, no. 2, pp. 589–601, 2015.
- [156] D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, and W. W. Behrens III, *The Limits to Growth*. New York: Universe Brooks, 1972.
- [157] MMA, *O Brasil na Agenda Internacional para o Desenvolvimento Sustentável*. Brasília, DF, 2013.
- [158] INPE, "Projeto PRODES," 2015. [Online]. Available: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>. [Accessed: 17-Nov-2015].
- [159] Greenpeace, "Artigo publicado na revista Science reconhece eficácia da Moratória da Soja," 2015. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Artigo-publicado-na-revista-Science-reconhece-eficacia-da-Moratoria-da-Soja/>. [Accessed: 20-Nov-2015].
- [160] INPE, "Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites: sistemas PRODES, DETER, DEGRAD e Queimadas 2007-2008," São José dos Campos - SP, 2008.
- [161] A. B. Coelho and D. R. D. de Aguiar, "O Modelo Quadratic Almost Ideal Demand System (Quaid): Uma Aplicação Para O Brasil," in *Gasto e Consumo das Famílias Brasileiras Contemporâneas - Volume 2*, IPEA, 2007, pp. 485–514.

- [162] G. M. de Espindola, A. P. D. de Aguiar, E. Pebesma, G. Câmara, and L. Fonseca, "Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data," *Appl. Geogr.*, vol. 32, no. 2, pp. 240–252, 2012.
- [163] J. Hargrave and K. Kis-Katos, "Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon: A Panel Data Analysis for the 2000s," *Environ. Resour. Econ.*, vol. 54, no. 4, pp. 471–494, 2013.
- [164] M. Cropper, J. Puri, and C. Griffiths, "Predicting the Location of Deforestation : The Role of Roads and Protected Areas in North Thailand," *Land Econ.*, vol. 77, no. 2, pp. 172–186, 2001.
- [165] A. Etter, C. McAlpine, K. Wilson, S. Phinn, and H. Possingham, "Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 114, no. 2–4, pp. 369–386, 2006.
- [166] A. S. P. Pfaff, "What Drives Deforestation in the Brazilian Amazon?," *J. Environ. Econ. Manage.*, vol. 37, no. 1, pp. 26–43, 1999.
- [167] K. S. Andam, P. J. Ferraro, A. Pfaff, G. A. Sanchez-Azofeifa, and J. A. Robalino, "Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing deforestation," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 105, no. 42, pp. 16089–16094, 2008.
- [168] A. Pfaff, A. Pfaff, J. Robalino, C. Sandoval, and D. Herrera, "Protected area types, strategies and impacts in Brazil's Amazon: public protected area strategies do not yield a consistent ranking of protected area types by impact," *Phil. Trans. R. Soc. B*, vol. 370, 2015.
- [169] A. Pfaff, J. Robalino, D. Herrera, and C. Sandoval, "Protected Areas' Impacts on Brazilian Amazon Deforestation: Examining Conservation – Development Interactions to Inform Planning," *PLoS One*, vol. 10, no. 7, p. e0129460, 2015.
- [170] E. Y. Arima, P. Barreto, E. Araújo, and B. Soares-Filho, "Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil," *Land use policy*, vol. 41, pp. 465–473, 2014.
- [171] L. C. Andrade, "Spillover effects of blacklisting policy in the Brazilian Amazon," Universidade de São Paulo, 2016.
- [172] W. F. Laurance *et al.*, "Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon," *J. Biogeogr.*, vol. 29, pp. 737–748, 2002.
- [173] K. R. Kirby *et al.*, "The future of deforestation in the Brazilian Amazon," *Futures*, vol. 38, no. 4, pp. 432–453, 2006.
- [174] M. C. Vera-Diaz, R. K. Kaufmann, and D. C. Nepstad, "The environmental impacts of soybean expansion and infrastructure development in Brazil's Amazon Basin," Working Paper No. 09-05, 2009.
- [175] A. P. D. Aguiar, G. Câmara, and M. I. S. Escada, "Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity," *Ecol. Modell.*, vol. 209, no. 2–4, pp. 169–188, 2007.
- [176] A. Pfaff *et al.*, "Road investments, spatial spillovers and deforestation in the Brazilian Amazon," *J. Reg. Sci.*, vol. 47, no. 1, pp. 109–123, 2007.
- [177] D. Weinhold and E. Reis, "Transportation costs and the spatial distribution of land use in the Brazilian Amazon," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 18, no. 1, pp. 54–68, 2008.

- [178] M. J. Mendonça, P. R. A. Loureiro, and A. Sachsida, "The dynamics of land-use in Brazilian Amazon," *Ecol. Econ.*, vol. 84, pp. 23–36, 2012.
- [179] S. Rodrigues-Filho, R. Verburg, M. Bursztyn, D. Lindoso, N. Debortoli, and A. M. G. Vilhena, "Land Use Policy Election-driven weakening of deforestation control in the Brazilian Amazon," *Land use policy*, vol. 43, pp. 111–118, 2015.
- [180] R. Verburg, S. R. Filho, D. Lindoso, N. Debortoli, G. Litre, and M. Bursztyn, "The impact of commodity price and conservation policy scenarios on deforestation and agricultural land use in a frontier area within the Amazon," *Land use policy*, vol. 37, pp. 14–26, 2014.
- [181] C. Araujo, C. A. Bonjean, J. L. Combes, P. Combes Motel, and E. J. Reis, "Property rights and deforestation in the Brazilian Amazon," *Ecol. Econ.*, vol. 68, no. 8–9, pp. 2461–2468, 2009.
- [182] D. S. Brown, J. C. Brown, and C. Brown, "Land occupations and deforestation in the Brazilian Amazon," *Land use policy*, vol. 54, pp. 331–338, 2016.
- [183] P. D. Richards, R. T. Walker, and E. Y. Arima, "Spatially complex land change: the indirect effect of Brazil's agricultural sector on land use in Amazonia," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 29, pp. 1–9, 2014.
- [184] W. R. Faria and A. N. Almeida, "Relationship between openness to trade and deforestation: Empirical evidence from the Brazilian Amazon," *Ecol. Econ.*, vol. 121, pp. 85–97, 2016.
- [185] J. Assunção, C. Gandour, and R. Rocha, "Deforestation Slowdown in the Legal Amazon: Prices or Policies? Executive Summary," Rio de Janeiro, RJ, 2012.
- [186] J. P. LeSage and R. K. Pace, *Introduction to Spatial Econometrics*, vol. 123, no. 123. Taylor & Francis Group, 2009.
- [187] S. Halleck Vega and J. P. Elhorst, "The slx model," *J. Reg. Sci.*, vol. 55, no. 3, pp. 339–363, 2015.
- [188] S. Stakhovych and T. H. A. Bijmolt, "Specification of spatial models: A simulation study on weights matrices," *Pap. Reg. Sci.*, vol. 88, no. 2, pp. 389–408, 2009.
- [189] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, "Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA," 2016. [Online]. Available: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. [Accessed: 28-Jul-2016].
- [190] J. L. S. Ross, *Geografia do Brasil*, 6^a edição,. São Paulo, SP: Editora EdUSP - Editora da Universidade de São Paulo, 2011.
- [191] J. M. Borwein and R. E. Crandall, "Closed Forms: What They Are and Why We Care," *Not. Am. Math. Soc.*, vol. 60, no. 1, pp. 50–65, 2013.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A percepção de que o crescimento econômico deve estar aliado a mecanismos de conservação dos recursos naturais é recente do ponto de vista da história da humanidade. Datam pouco mais de 50 anos as conferências mais importantes que versaram sobre o tema e são ainda mais novos os acordos internacionais a esse respeito.

Essa mudança reflete, por um lado, a percepção dos impactos ambientais causados pela produção agrícola e industrial nos últimos 200 anos e, por outro, o aumento da renda e da conscientização da sociedade de que a manutenção desse ritmo de degradação trará consequências negativas permanentes para as próximas gerações.

O Brasil, economia em desenvolvimento de médio poder aquisitivo, viu-se em uma situação peculiar na qual passou a ser questionado sobre o uso de suas riquezas naturais, especialmente sobre a abertura de novas áreas de florestas, ao passo que países desenvolvidos concluíram esse processo séculos atrás e atualmente usufruem de terras para uso agropecuário. Durante esse tempo, pouco avançaram os mecanismos internacionais de valorização e pagamento pelos serviços ambientais, os quais poderiam ser um instrumento efetivo de incentivo à preservação dos recursos domésticos.

A despeito desse desequilíbrio entre a cobrança por um uso controlado e a dotação de recursos naturais, que opôs países nas mesas de negociação e das crises econômicas das últimas décadas, o Brasil fortaleceu continuamente suas estruturas estatais de forma a melhorar a governança pública, sendo notável essa mudança no bioma Amazônia.

Sem dúvida, houve progressos significativos nos últimos anos, os quais se traduzem, principalmente, na redução das taxas de desflorestamento decorrente das ações de comando e controle. Porém, ainda são incipientes os programas nacionais voltados para o pagamento pelos serviços ambientais. Dessa forma, a continuidade desses avanços no Brasil dependerá de melhor coordenação das políticas públicas e de alinhamento com o setor produtivo para que ocorra a remuneração pelas externalidades positivas dos ativos ambientais brasileiros, públicos e privados, e o reconhecimento do valor desses recursos nas ações governamentais.

O setor privado também modificou sua relação frente a essas novas demandas. Iniciativas setoriais foram implementadas, entre elas a Moratória da Soja, com o intuito de garantir o fornecimento de produtos com origem controlada e de acordo com as novas

exigências dos consumidores por sustentabilidade socioambiental. São ações que complementam e reforçam as ações públicas, mas não as substituem, porque somente o Estado dispõe dos recursos e do poder necessário para modificar o ambiente institucional vigente de forma ampla e coordenada.

Ressalta-se que a legislação brasileira impõe a manutenção de percentuais de vegetação nativa na forma de Reserva Legal e Área de Preservação Permanente, o que diferencia o Brasil dos demais países e confere ao setor privado papel importante na manutenção dessas áreas. Para ações futuras, é necessário aperfeiçoar as políticas públicas a fim de que estas reforcem os incentivos positivos e para que os elos iniciais da cadeia produtiva, em especial os proprietários de terras, sejam motivados economicamente a promover a preservação dos recursos naturais, sobretudo no que se refere às discussões sobre desmatamento zero, como se viu no caso dos efeitos dos preços da madeira sobre as áreas de vegetação.

Portanto, o desenvolvimento equilibrado defendido externamente pelo Brasil ainda não é uma realidade no bioma Amazônia. A geração de empregos e renda ocorre em áreas com produção agropecuária intensificada, mas estas ainda são restritas a um percentual pequeno da extensão territorial analisada, e as atividades ligadas à valorização das externalidades ambientais das florestas não receberam a mesma atenção das políticas públicas, sendo essa, possivelmente, uma das razões de não ter produzido resultados positivos semelhantes ao que se verificou na área ambiental com a queda do desflorestamento.

O crédito público é uma variável-chave para que isso ocorra. Cadeias produtivas agropecuárias comprometidas com indicadores de sustentabilidade e programas de valorização das externalidades socioambientais positivas podem ser enquadradas em políticas públicas que valorizem e reforcem essas características. A estabilidade de regras e a previsibilidade das políticas públicas também são essenciais para fomentar ações com resultados no longo prazo.

Por fim, é necessário que os programas e ações políticas sejam direcionados de forma mais homogênea aos municípios do bioma Amazônia. Além de evitar deslocamentos da produção e impactos sociais negativos, ações dessa natureza potencializam os efeitos positivos e permitem o desenvolvimento regional mais homogêneo. Nesta categoria, enquadram-se as obras de infraestrutura de transporte, comunicações e as políticas de educação voltadas ao aumento da produtividade do trabalho.

Também há espaço considerável para melhor integração e harmonização das estatísticas, bem como para ferramentas que facilitem seu acesso e utilização. Além disso, cabe reforçar a necessidade de criação de bases de dados públicas mais detalhadas em nível municipal sobre cadeias produtivas importantes, a exemplo de um indicador de preços para a pecuária.

Recomenda-se adicionalmente o aprofundamento dos estudos sobre o uso e ocupação do solo no bioma Amazônia com maior desagregação nas classes de uso do solo, possivelmente usando regiões menores que a analisada neste trabalho, e a avaliação de impacto das iniciativas públicas e privadas de valorização dos ativos ambientais e suas externalidades.