Insper
Mestrado Profissional em Economia

Felipe Spiri

Conhecimento e meio ambiente: efeitos do ensino superior no uso da terra e consequências no desmatamento

São Paulo
2022

Felipe Spiri

Conhecimento e meio ambiente: efeitos do ensino superior no uso da terra e consequências no desmatamento

Dissertação apresentada ao programa de Mestrado Profissional em Economia como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Economia. Área de concentração: Economia dos negócios

Orientador: Prof. Rogério Bianchi Santarrosa

São Paulo

2022

Spiri, Felipe

Conhecimento e meio ambiente: efeitos do ensino superior no uso da terra e consequências no desmatamento / Felipe Spiri – São Paulo, 2022.
f. 63

Dissertação (Mestrado) – Insper, 2022
Orientador: Rogério Bianchi Santarrosa

1. Educação. 2. Agricultura. 3. Uso da Terra. 4. Desmatamento.

Felipe Spiri

Conhecimento e meio ambiente: efeitos do ensino superior no uso da terra e consequências no desmatamento

Dissertação apresentada ao programa de Mestrado Profissional em Economia como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Rogério Bianchi Santarrosa

Data da Aprovação: 21/01/2022

Banca Examinadora

Prof. Dr. Rogério Bianchi Santarrosa
Insper

Prof. Dr. Naercio Aquino Menezes Filho
Insper

Prof. Dr. Arthur Amorim Bragança
PUC-Rio & *Climate Policy Initiative*

Dedico esse trabalho aos meus pais
Sandra Spiri e Nilton Spiri e a todos os
professores do país.

Agradecimentos

Agradeço os meus pais pelo apoio e amor incondicional, fundamentais para minha formação como pessoa e minha jornada até aqui. Agradeço a Juliana pelo companheirismo, e muitas vezes paciência e dedicação, em discutir meus aprendizados por todo tempo desse mestrado.

Gostaria de agradecer e dedicar esse estudo a todos os professores que um dia passaram por mim, tenham certeza de que levo para minha vida pessoal e profissional muito do que cada um de vocês ensinou. Ao Insper e seus professores, pela infraestrutura e conhecimento transmitido nesses dois últimos anos, em especial ao Professor Rogério Bianchi pela orientação e toda contribuição nesse estudo.

Resumo

O presente estudo tem o objetivo de avaliar o efeito da criação de novos cursos de ciências agrícolas ofertados por instituições federais de ensino superior no uso da terra, produção agropecuária e adoção de boas práticas agrícolas, com o intuito de identificar possíveis consequências nas áreas de matas nas fazendas brasileiras.

Com dados em painel obtidos a partir das pesquisas do Censo Agropecuário, Produção Agrícola Municipal e do Censo da Educação Superior, e a partir de uma variação exógena, relacionada à expansão das universidades federais no início dos anos 2000, diante do programa de apoio a planos de reestruturação e expansão das universidades, obtém-se o efeito da presença dos novos cursos pelo método de *diff-in-diff*.

Os resultados apontam que a presença dos cursos de ciências agrícolas não exerceu influência substancial nas áreas totais das fazendas, em seu perfil de uso e na adoção de práticas agrícolas, sem pressão ambiental nas áreas de fronteiras agrícolas. Por outro lado, foi observado um aumento da produção de soja em detrimento da produção de cana-de-açúcar nas áreas tratadas, principalmente em locais com elevado potencial agronômico de soja sob regime de alta tecnologia, sugerindo a introdução de um novo método de cultivo que combina soja e milho nesses locais. Essa variação destaca a importância do conhecimento gerado pela presença das universidades e seu impacto em setores econômicos.

Palavras-Chave: Educação, Agricultura, Uso da Terra e Desmatamento.

Abstract

This paper evaluates the effect of the creation of agricultural science courses offered by federal universities on land use, agricultural production, and adoption of agricultural practices. This effect is obtained by a diff-in-diff method based on an exogenous variation, related to the expansion of federal universities in the early 2000s and boosted after 2007 after the formalization of a federal program to support university restructuring and expansion plans, named *Reuni*. The data is organized in a panel data and from several years of the Agricultural Census and the Higher Education Census.

The results indicate that the presence of agricultural science courses did not exert a substantial influence on agricultural areas or their practices. Furthermore, there is no evidence of higher environmental pressure in treated areas located in agricultural frontiers. On the other hand, an increase in soybean production was observed at the expense of sugarcane production in treated areas, especially in places more suitable for soybean under high technology assumption, suggesting the introduction of a new cultivation method which combines soy and corn in these locations. This variation highlights the importance of knowledge generated by the presence of universities and its impact on economic sectors.

Keywords: Education. Agriculture. Land Use. Deforestation.

Sumário Executivo

A agricultura brasileira possui um papel fundamental não somente do ponto de vista econômico, como geração de emprego e renda, mas também como provedor de alimento para acompanhar o crescimento populacional mundial, uma vez que o Brasil é um dos principais exportadores de soja, milho, gado, dentre outras commodities agrícolas. No entanto, a expansão da agricultura comercial foi um dos principais motivos do aumento da pressão ambiental nas fronteiras agrícolas no Brasil e no mundo nos últimos anos, sendo responsável por 40% do desmatamento nas áreas tropicais.

Para acompanhar a crescente demanda por commodities e atender à expansão da atividade agrícola, diversas inovações tecnológicas foram desenvolvidas desde novos processos relacionados à gestão e boas práticas das fazendas até melhorias genéticas que adaptaram as sementes às características geoclimáticas específicas de cada região do planeta. Porém, as dimensões continentais do Brasil implicam em uma série de dificuldades para adoção dessas tecnologias, principalmente por conta da grande variabilidade de clima e solo. A adoção de tecnologia e práticas agrícolas pode ser facilitada por meio da interação entre fazendeiros que participam de associações e cooperativas, além da atuação da Embrapa - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária, que possui papel relevante tanto no desenvolvimento como na implementação de soluções tecnológicas para o campo.

E quanto a presença de universidades? Como a presença de universidades influencia no perfil de uso da terra, na produção agropecuária e na adoção de tecnologias nos municípios brasileiros? Segundo Theodore Schultz, laureado com Nobel de economia em 1979 e conhecido por seus trabalhos nas áreas do investimento em capital humano e economia agrícola, a Revolução Verde, que deu origem a grande parte das inovações tecnológicas no campo, dificilmente ocorreria sem uma pesquisa acadêmica organizada, fundos públicos, escolas agrícolas e estações experimentais. Sendo assim, a presença de universidades pautadas nas áreas de ciências agrícolas poderia afetar a alocação de recursos das fazendas, como o perfil de uso da terra, o tipo de produção agrícola e consequentemente a participação de matas nessas áreas.

Na literatura ainda não existe um consenso a respeito do impacto do desenvolvimento regional no uso da terra. Se por um lado existem evidências que apontam que investimentos decorrentes do desenvolvimento regional, como a construção de rodovias, que fomentam o crescimento de municípios em seu entorno, amplia a pressão ambiental nessas áreas, por outro lado, alguns artigos indicam que o investimento em infraestrutura de energia elétrica nas fazendas ou o

avanço tecnológico dos métodos de produção, podem reduzir a pressão ambiental através de mecanismos como a intensificação do uso da terra diante da migração da pecuária para lavouras em determinadas situações.

O estudo teve com objetivo avaliar as possíveis mudanças no perfil de uso da terra, na produção agropecuária (soja, milho, arroz, cana-de-açúcar, gado e suínos) e em boas práticas agrícolas em regiões que receberam cursos universitários relacionados às ciências agrícolas, através de uma variação exógena associada a expansão das universidades federais no início dos anos 2000 e impulsionada após 2007 com a formalização do programa de apoio a planos de reestruturação e expansão das universidades federais, conhecido como Reuni.

Os resultados apontam que não existem evidências de expansão substancial das áreas totais das fazendas em locais que receberam as universidades, além ausência de variações estatisticamente significantes no perfil de uso da terra tampouco nas práticas agrícolas tanto em nível nacional como na região de fronteiras agrícolas, aqui delimitadas por Amazônia Legal e região de Matopiba. Adicionalmente, não foram encontradas evidências de evolução de desmatamento fora das áreas das fazendas, nas áreas tratadas localizadas na Amazônia legal, sugerindo que a presença de universidades federais não afetou a área de matas dentro e fora das fazendas.

Além disso, a presença de cursos de ensino superior das áreas de ciências agrícolas afetou positivamente a produção de soja, uma vez que as áreas que receberam tais cursos apresentaram aumentos significativos desse cultivo associados a desaceleração da produção de cana-de-açúcar. Esse resultado contribui com a literatura relacionada ao investimento no capital humano com destaque para o impacto do conhecimento gerado pelas universidades, uma vez que o cultivo de soja tende a ser mais intensivo em capital e tecnologia. Essa afirmação é reforçada quando se observa uma variação positiva na produção de soja em áreas tratadas com alto potencial agronômico sob elevado regime tecnológico acompanhado de uma redução da produção de milho, o que sugere a entrada de um método de cultivo que combina a produção dessas duas culturas.

Lista de Siglas

AMC - Área Mínima Comparável

CPI – *Climate Policy Initiative*

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO – *Food and Agriculture Organization*

IAC – Instituto Agronômico de Campinas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira

MAPA – Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ONU – Organização das Nações Unidas

PAM – Produção Agrícola Municipal

Pronaf – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura

Sumário

1. INTRODUÇÃO 13

2. REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA E CONTEXTO HISTÓRICO 16

2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16

2.2. PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA NO BRASIL 21

3. BASE DE DADOS E DESCRIÇÃO DA BASE 24

3.1. BASE DE DADOS 24

3.2. DESCRIÇÃO DA BASE DE DADOS 27

4. MÉTODO EMPÍRICO 33

5. RESULTADOS PARA O USO DA TERRA 37

5.1. USO DA TERRA - NÍVEL NACIONAL 37

5.2. USO DA TERRA - NÍVEL REGIONAL 39

6. RESULTADOS ADICIONAIS – PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA 42

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 47

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 49

APÊNDICE I: AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PRESENÇA DE UNIVERSIDADES FEDERAIS NO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL 53

APÊNDICE II: HETEROGENEIDADES PARA O USO DA TERRA 54

APÊNDICE III: MÉTODO, DADOS E RESULTADOS PARA PRÁTICAS AGRÍCOLAS 59

APÊNDICE IV: RESULTADOS DA ESPECIFICAÇÃO COM O MÉTODO TWFE 62

1. Introdução

Como a educação pode afetar o uso da terra, a produção e as práticas agrícolas nas fazendas brasileiras? A adoção de tecnologia e boas práticas pode ampliar a presença de matas nativas aliviando a pressão ambiental nessas áreas?

O desenvolvimento econômico associado ao aumento da população mundial acelerou a demanda por alimento. Segundo estimativas da FAO/ONU, até 2050 a população mundial contará com 10 bilhões de habitantes. Nesse cenário, como a sociedade conseguirá atender de forma sustentável a limitada disponibilidade de recursos? Intensificar o uso da terra destinada a agricultura é uma possível forma de atingir esse objetivo. Para isso é necessário investimento em tecnologia, pesquisa e desenvolvimento, preparo da terra, equipamentos e capital humano.

O Brasil tem papel relevante nesse desafio já que em 2019 o país ultrapassou os Estados Unidos e se tornou o maior produtor de soja do mundo, responsável por cerca de 115 milhões de toneladas do grão, e o terceiro maior produtor de milho nesse mesmo ano, com 100 milhões de toneladas produzidas. O país ainda foi o segundo maior produtor de carne bovina, com mais de 300 mil toneladas produzidas nesse ano[1].

Por outro lado, a expansão da agricultura comercial foi um dos principais motivos do aumento da pressão ambiental nas fronteiras agrícolas no Brasil e no mundo nos últimos anos, sendo responsável por 40% do desmatamento nas áreas tropicais, enquanto a agricultura de subsistência representou 33% do desmatamento (FAO and UNEP., 2020). Ainda nesse sentido, o desmatamento é responsável pela liberação de bilhões de toneladas de gás carbônico na atmosfera, além de impactar diretamente no ciclo da água, e por variáveis que podem influenciar na temperatura da terra potencialmente ampliando a quantidade de queimadas, outro fator responsável pelo desmatamento nos últimos anos.

As últimas décadas foram marcadas por inúmeras inovações no setor agropecuário que resultaram em aumento do rendimento agrícola, desde novos processos relacionados à gestão e boas práticas das fazendas até melhorias genéticas que adaptaram as sementes às características geoclimáticas específicas de cada região do planeta, porém as dimensões continentais do Brasil implicam em uma série de dificuldades para adoção dessas tecnologias por conta das diferentes características do clima e do solo. De acordo com o Censo Agropecuário[2] de 2017, menos de 20% dos estabelecimentos utilizam o Sistema de Plantio Direto, prática sustentável que, no caso

1 Consultado em 25.07.2021: http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity

2 Consultado em 20.07.2021: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/estabelecimentos.html

da soja e milho, quando associada à rotação de culturas pode ampliar o rendimento. Mais de 58% das fazendas ainda não fazem a adubação do solo, enquanto a grande maioria ainda não possui equipamentos como colheitadeiras ou semeadeiras. A adoção de tecnologia e práticas agrícolas podem ser facilitadas por meio da interação entre fazendeiros que participam de associações e cooperativas, além da atuação da Embrapa - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária, que possui papel relevante tanto no desenvolvimento como na implementação de soluções tecnológicas para o campo. E quanto a presença de universidades? Como a presença de universidades influencia no perfil de uso da terra, na produção agropecuária e na adoção de tecnologias nos municípios brasileiros? Quais seriam as consequências nas áreas de matas das fazendas?

Identificar evidências empíricas para as questões acima são relevantes pois, se por um lado, o desenvolvimento econômico e regional podem levar à expansão das atividades econômicas, incluindo a agropecuária, ampliando a pressão ambiental nas regiões, por outro lado, existem evidências na literatura que apontam que o desenvolvimento regional, representado pela presença de infraestrutura, como energia elétrica nas fazendas ou pelo avanço tecnológico dos métodos de produção, pode reduzir a pressão ambiental através de mecanismos como a intensificação do uso da terra diante da migração da pecuária para lavouras sob restrição de capital, como apontado por Assunção et al., 2016; Assunção & Bragança, 2015.

Utilizando dados do Censo Agropecuário, da Produção Agrícola e Pecuária Municipal e do Censo da Educação Superior, este estudo avalia possíveis mudanças no perfil de uso da terra, na produção agropecuária (soja, milho, arroz, cana-de-açúcar, gado e suínos) e em boas práticas agrícolas em Áreas Mínimas Comparáveis (AMCs) que receberam cursos universitários relacionados às ciências agrícolas através de uma variação exógena associada a expansão das universidades federais no início dos anos 2000 e impulsionada após 2007 com a formalização do programa de apoio a planos de reestruturação e expansão as universidades federais, conhecido como Reuni.

Para isso, o método empírico adotado é o de diferenças em diferenças *(diff-in-diff)* em múltiplos períodos (Callaway & Sant'Anna, 2020). O método surge como um complemento ao método tradicional de estimativa por *diff-in-diff 2x2,* uma vez que se propõe cobrir dois possíveis *gaps* do método tradicional: (i) grande parte dos estudos empíricos possui mais do que dois períodos de observação, no método tradicional os períodos considerados são antes e depois do tratamento e (ii) o efeito do tratamento pode ser variado ao longo do tempo, isto é, o tratamento não afeta necessariamente o grupo tratamento no mesmo momento.

A estratégia de identificação é baseada na premissa de tendências paralelas, isto é, condicionado aos efeitos fixos e variáveis controle, não haveria alteração no comportamento das variáveis agrícolas de interesse na ausência da entrada de novos cursos de ciências agrícolas. O efeito do tratamento é obtido a partir de estimadores *doubly robust* que combinam o *propensity score*, para lidar com as diferenças existentes entre as AMCs dos grupos tratamento e controle utilizando variáveis geográficas, socioeconômicas e setoriais antes do período de tratamento, seguido de uma regressão linear simples das variáveis agrícolas de interesse.

Os resultados apontam que não existem evidências de expansão substancial nas áreas totais das fazendas, além de não ter ocorrido alterações estatisticamente significantes no perfil de uso da terra tampouco nas práticas agrícolas em nível nacional e na região de fronteiras agrícolas, aqui delimitadas por Amazônia Legal e região de Matopiba. Adicionalmente, não foram encontradas evidências de evolução de desmatamento fora das áreas das fazendas, nas áreas tratadas localizadas na Amazônia legal, sugerindo que a presença de universidades federais não afetou a área de matas dentro e fora das fazendas. Esses resultados corroboram com a literatura que busca compreender os fatores econômicos que influenciam no uso da terra, com destaque para os impactos no meio ambiente.

Além disso, a presença de cursos de ensino superior das áreas de ciências agrícolas afetou positivamente a produção de soja, uma vez que as áreas tratadas apresentaram aumentos significativos desse cultivo associados a desaceleração da produção de cana-de-açúcar. Tal resultado contribui com a literatura relacionada ao investimento no capital humano com destaque para o impacto do conhecimento gerado pelas universidades, uma vez que o cultivo de soja tende a ser mais intensivo em capital e tecnologia. Essa afirmação é validada quando se observa uma variação positiva na produção de soja em áreas tratadas com alto potencial agronômico sob elevado regime tecnológico.

Os próximos capítulos estão organizados da seguinte maneira, o capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica e contexto histórico da pesquisa e desenvolvimento da agricultura no Brasil. No capítulo 3 encontra-se a descrição das bases de dados utilizadas, seguido pelos capítulos 4 de método empírico e estratégia de identificação, 5 para apresentação de resultados referentes ao uso da terra, 6 para método e resultados para a produção agropecuária e 7 para as considerações finais.

2. Revisão Bibliográfica e Contexto Histórico

2.1. Revisão Bibliográfica

Nos últimos anos os efeitos da mudança climática têm sido cada vez mais percebidos, sendo que um dos principais fatores para essa variação é a emissão dos gases de efeito estufa representados majoritariamente pelo dióxido de carbono (CO_2). As causas da liberação desse gás e os efeitos são variados nas diferentes economias e setores, em 2020 a emissão do gás no planeta foi de 31 bilhões de toneladas[3]. Se por um lado, uma variação positiva de até 1,1° Celsius na temperatura da terra estima-se que ainda possam existir benefícios econômicos, por outro lado, variações acima dessa temperatura impactam negativamente o PIB, ainda que um grau elevado de incerteza quanto a sua intensidade, podendo atingir uma queda de até 14% do indicador após uma variação de 3° Celsius na temperatura. (Tol, 2009).

Um dos motivos da maior presença de CO_2 na atmosfera é o desmatamento uma vez que a ação libera na atmosfera o carbono presente nas plantas e no solo em forma desse gás, reduz a capacidade de armazenamento das florestas e reduz o processo de evaporação da água (Bala et al., 2007), por isso afeta diretamente e indiretamente o clima na terra. Segundo o Serviço Florestal Brasileiro (SFB), o Brasil possui 500 milhões de hectares cobertos por florestas, dos quais 97% são de florestas naturais ou matas nativas, somente a floresta amazônica possui 334 milhões de hectares enquanto a Mata Atlântica possui 19 milhões de hectares[4]. Com isso, o Brasil possui a segunda maior área de floresta do mundo, atrás somente da Rússia com 815 milhões de hectares de florestas. Segundo a FAO, entre os anos de 2000 e 2010, a expansão da agricultura comercial, principalmente a produção de gado, soja e óleo de palma, foi responsável por 40% do desmatamento nas áreas tropicais, enquanto a agricultura de subsistência responsável por 33%. (FAO and UNEP., 2020). Outro fator responsável pelo avanço do desmatamento são as queimadas. Em alguns ecossistemas as queimadas naturais são importantes para a dinâmica do ecossistema, biodiversidade e produtividade. Porém, muitas vezes os focos de incêndio são causados por pessoas e fogem do controle, em 2015, no mundo, cerca de 98 milhões de hectares de florestas foram destruídos por queimadas, além disso, com o aumento da temperatura na terra e maiores períodos de seca, as queimadas passarão a ter mais importância para a preservação das florestas.(FAO, 2020).

[3] Consultado em 24.08.2021: https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020,

[4] Consultado em 24.08.2021: https://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/4261-florestas-do-brasil-em-resumo-digital/file

Diversos autores buscam identificar as causas e consequências econômicas do desmatamento no Brasil, especialmente na região da floresta amazônica, a mais representativa do país. Intuitivamente e em uma parte da literatura, uma maior população e densidade demográfica resultariam em maior desmatamento, porém ao considerar outras variáveis econômicas e um termo quadrático da população foi possível encontrar evidências de que o desmatamento é mais intenso quando as primeiras pessoas povoam um município, enquanto em uma região já povoada, o incremento marginal da população resulta em menor impacto no desmatamento. (Pfaff, 1999).

O preço das *commodities* no mercado internacional, principalmente soja e gado, são fatores considerados nas análises de diversos autores, ainda que a literatura indique que os preços direcionem o aumento do desmatamento, a intensidade desse efeito ainda é inconclusiva. (Andersen, 1996; Ewers et al., 2008; Hargrave & Kis-Katos, 2013). A disponibilidade de crédito agrícola também é um fator de discussão uma vez que existem conclusões divergentes sobre o efeito dessa variável. (Assunção et al., 2020; CPI, 2013; Hargrave & Kis-Katos, 2013; Pfaff, 1999)

No que diz respeito ao desenvolvimento econômico e meio ambiente, parte da literatura aponta que um aumento da capacidade produtiva e consequente incremento da produção agrícola resulta em aumento do desmatamento, evidências alinhadas ao Paradoxo de Jevons em que a adoção de uma nova tecnologia que visa reduzir o consumo de recursos naturais não necessariamente causa essa redução prevista, um exemplo, é o caso de tecnologias de irrigação que pode tornar o uso da água mais eficiente e menos custoso, induzindo maior adoção de plantações intensivas em água e por consequência ampliando o uso de água. Nesse caso, ainda que de maneira mais eficiente, em termos absolutos pode ocorrer um aumento do uso de recurso natural, resultado oposto do esperado em programas de conservação.(Sears et al., 2018).

O investimento em infraestrutura, como a presença de malhas rodoviárias e energia elétrica é um fator divergente na literatura. A presença de infraestrutura como uma malha rodoviária mais densa ampliou o desmatamento no município que recebeu o investimento e nos municípios ao seu redor, de forma similar, projetos do governo de desenvolvimento regional também resultaram em pressão ambiental aumentando o desmatamento. (Pfaff, 1999) Se por outro lado, o investimento em energia elétrica gera um impacto negativo nas vegetações nativas ao redor de fazendas, por outro, evidências empíricas sugerem que na presença de eletricidade houve uma mudança no perfil das fazendas que migraram de um cultivo extensivo em terra, como a pecuária, para intensivo em capital, como grãos. Além disso, as fazendas passaram a adotar

novas tecnologias, ampliando a produtividade e a presença de matas nativas na área das fazendas, mais do que compensando o desmatamento originado do investimento na geração e distribuição elétrica.(Assunção et al., 2016). Um dos motivos para essa divergência pode se dar por conta de diferentes contextos das regiões avaliadas, em outro artigo, os mesmos autores apontam que o custo para adotar novas tecnologias e intensificar o uso da terra pode ser diferente entre países como o Brasil ou Índia justificando possíveis diferentes conclusões para os mesmos mecanismos avaliados.

Ao observar os efeitos de uma mudança tecnológica na agricultura, representada pela introdução de grãos adaptados de soja, sob o uso da terra e suas consequências no desmatamento na região Central do Brasil entre os anos de 1960 e 1985, notam que a introdução dos grãos modificados viabilizou a ampliação do cultivo de soja, capital intensivo, sem avanço das áreas das fazendas e da participação de áreas de matas nativas nos municípios de fronteira agrícola avaliados (Assunção & Bragança, 2015).

As evidências destacadas por esses autores seguem a linha da hipótese de Borlaug, que é contrária às afirmações do Paradoxo de Jevons. Essa hipótese parte da afirmação que um aumento da produtividade dos grãos poderia desacelerar a expansão das áreas cultiváveis reduzindo a pressão ambiental gerada pelo desmatamento sem impactar na fome ou pobreza.

A atividade agropecuária está no centro das discussões que relacionam o desenvolvimento regional e desmatamento. Dessa forma, compreender os desafios dos diferentes produtores agropecuários é essencial para identificar oportunidades que elevem a produtividade dos fazendeiros e possam reduzir a pressão ambiental nas matas nativas, especialmente nas áreas de fronteiras agrícolas.

Os fatores que poderiam elevar o ganho de produtividade de produtores agrícolas estão associados ao acesso a crédito, a adoção de tecnologia, ao arrendamento da terra, a presença de cooperativas e ao investimento em infraestrutura (CPI, 2013). Uma pesquisa de campo com 250 fazendeiros produtores de gado na região do Mato Grosso apontou que a adoção de boas práticas agrícolas resultaria em aumento de produtividade, maior lucratividade e boas práticas administrativas da propriedade. Além disso, as principais restrições à adoção de boas práticas estão ligadas à falta de mão de obra e restrições financeiras.(Latawiec et al., 2017). No Brasil, a produtividade das áreas de pasto é de cerca de 32% do seu potencial, se atingir 50% do potencial de produtividade poderia ser suficiente para atender a demanda por carne, grãos, produtos de madeira e biocombustíveis até 2040 ainda evitando a emissão de 14,3 Gt de CO2. Esse incremento deve ser atingido através de uma combinação de fatores como seleção

aprimorada das gramas para forragem, incorporação de legumes, redução do preparo do solo, cercas elétricas, pastejo rotativo e introdução de sistemas mistos.(Strassburg et al., 2014)

Diversos autores avaliam a importância da escolaridade dos fazendeiros para adoção de tecnologias e ganho de produtividade (CPI, 2013; Levin et al., 1983; Paltasingh & Goyari, 2018; Reimers & Klasen, 2013; Vicente, 2002). Por exemplo, no Brasil, pecuaristas com ensino fundamental completo tiveram maior produtividade do que seus pares com menor nível de educação, enquanto para o cultivo de grãos um nível de educação mais elevado, representado pelo superior completo, apontou ganhos maiores de produtividade, uma possível explicação é que o cultivo de grãos demanda maior conhecimento técnico e maior investimento de capital do que em outras culturas (CPI, 2013). Mais recentemente, ainda que em *working paper*, evidências empíricas indicam que na região de Matopiba, uma nova fronteira agrícola brasileira, representada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, a migração e maior taxa de escolaridade da população não foram afetadas pelo crescimento da produção agrícola nessa região entre os anos de 2000 e 2010. (Bragança, 2016)

Outro fator amplamente considerado na literatura é o da disponibilidade de canais formais de difusão de tecnologia (Bandiera & Rasul, 2006; Conley & Udry, 2000; Foster & Rosenzweig, 2010; Munshi, 2004; Rosenzweig & Foster, 1995). Esses autores avaliam a importância da informação, especialmente como os produtores se beneficiam da disponibilidade ou do acesso à informação referentes as práticas que foram bem sucedidas e implementadas por produtores vizinhos, o chamado aprendizado social. No Brasil, a presença de associações e cooperativas minimizaram os efeitos da grande heterogeneidade do solo para adoção do Sistema de Plantio Direto (SPD), método considerado sustentável e mais produtivo, porém que ainda possui baixa adoção no país principalmente pela grande heterogeneidade do solo.(Assunção et al., 2013).

O advento de novas tecnologias e boas práticas na agricultura, como mecanização, uso de fertilizantes, sementes modificadas dentre outras práticas citadas anteriormente, recebeu o nome de Revolução Verde, porém pouca relação foi feita com a presença da ciência que gerou todo o conhecimento necessário para criação desses insumos, técnicas e habilidades do homem para que enfim fossem utilizados como fatores de produção. (Schultz, 1972) Segundo Schultz, a Revolução Verde não teria ocorrido sem uma pesquisa agrícola organizada, apoiada por fundos públicos, escolas agrícolas e estações experimentais. A presença dessas estações experimentais associadas às universidades e fazendas resultou em aumento de produtividade com impacto de longo prazo, de 20 a 30 anos nos EUA, atingindo um pico de incremento de produtividade de 36% nesse período. (Kantor & Whalley, 2013). Ainda nos EUA, as taxas de

emprego e salários no longo prazo cresceram nas indústrias associadas às universidades locais após uma lei que ampliou os recursos para pesquisas acadêmicas. Essa relação é ampliada conforme a proximidade geográfica da universidade. (Hausman, 2012)

O aumento da produtividade é um dos possíveis resultados das externalidades positivas geradas pela presença de universidade em uma região. Dentre os canais de externalidades positivas estão (i) a maior oferta de capital humano, (ii) mais inovação diretamente por conta de parcerias entre universidades e firmas locais ou indiretamente por ampliar a oferta de ensino na região, (iii) apoio à valores democráticos e de forma menos intensiva um efeito da demanda dos membros das universidades. (Valero & Van Reenen, 2019). A proximidade de universidades foi utilizada como um instrumento para educação na área de engenharia em um estudo que identificou evidências de que existe relação entre essa variável e criadores de patentes na Finlândia. Nesse caso, a redução do custo de viagem ou da mudança de determinado indivíduo incentivou o individuo a cursar engenharia, um curso com grande correlação com a criação de patentes no país do estudo. (Toivanen & Vaananen, 2015). A oferta de cursos universitários nas áreas de administração e medicina próximos aos hospitais resultou em menor taxa de mortalidade nesses locais quando comparado a outros hospitais com oferta de apenas um desses cursos ou nenhum. (Bloom et al., 2020)

No Brasil, a recente expansão das instituições de ensino superior, resultado de programas federais de incentivo à educação implementados nos anos 2000 como o Prouni, Fies e principalmente o Reuni, programa voltado a reestruturação e expansão de universidades federais, motivou a avaliação econométrica dos efeitos de curto prazo decorrentes dessa expansão por diversos autores.

Utilizando o método de *diff-in-diff* com pareamento por escore de propensão foi possível estimar que um choque de política pública, representado pela expansão das universidades federais no Brasil, afetou positivamente a renda per capita local no curto prazo, especialmente em municípios com até 65 mil habitantes que tiveram um salto de 5,2% em comparação com a média dos municípios tratados que foi de 3,3%. (Vinhais, 2013) Com a mesma abordagem (Casqueiro et al., 2020) relacionam a presença de novos *campi* de universidades federais com a redução da porcentagem de pobres nos municípios tratados. Os autores ainda encontram alguma evidência, porém fraca, entre a presença desses *campi* com a renda per capita e percentual de pessoas ocupadas com nível superior e médio. Além disso, identificaram fatores comuns entre os municípios que receberam as novas universidades federais, dentre os fatores

estão a presença de universidades particulares, uma população superior a 50 mil habitantes e maior representatividade no PIB em suas respectivas microrregiões.

Os métodos mencionados acima utilizam o *diff-in-diff* de forma binária para o tratamento, isto é, presença ou não de *campi* de universidades em determinado período, desconsiderando o impacto econômico nos municípios vizinhos aos municípios que receberam o tratamento. Como alternativa, uma forma para capturar as externalidades geradas ao redor do tratamento considera o tratamento como uma função do raio de distância em relação ao município mais próximo afetado pela implementação dos novos campi universitários. (Niquito et al., 2018)

Nesse sentido, esse estudo tem como objetivo contribuir com a literatura que busca relacionar o investimento em capital humano e conhecimento, aqui representadas pela adição de novos cursos nas áreas de ciências agrícolas, às variáveis microeconômicas, identificadas pelas variáveis de práticas agrícolas e produção agropecuária das fazendas, além de estimar as possíveis consequências sob o uso da terra, mais especificamente ao desmatamento nas áreas agrícolas, contribuindo por fim com a literatura que avalia os impactos do desenvolvimento econômico no meio ambiente.

2.2. Pesquisa e Desenvolvimento da Agricultura no Brasil

O desenvolvimento do setor agropecuário e consequente expansão territorial do país foi favorecido pela grande extensão de terra e clima no Brasil. O desenvolvimento agrícola no país iniciou no século XVI no Nordeste com a cana de açúcar e criação de gado, atingindo o Maranhão com o algodão no século XIX até a região Sudeste com o café nesse mesmo século. No entanto, apesar de extensa, a qualidade do solo, representada por baixa fertilidade, impunha desafios aos produtores rurais. Diante da baixa produtividade e vislumbrando a importância da produção agrícola para o desenvolvimento do país, o imperador D. Pedro II fundou o Instituto Agronômico de Campinas (IAC) em 1887 que seria responsável por desenvolver pesquisas para o setor cafeeiro, mas exerceu a atividade para diversos solos e plantas do país. (Castro, 2016) Atualmente o IAC conta com inúmeros centros de pesquisa no interior de São Paulo e um centro experimental focados na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias destinados à produção agrícola sustentável, produtos de qualidade e desenvolvimento econômico.

No final da década de 60 o governo lança o Plano Estratégico de Desenvolvimento direcionando o setor agrícola para um processo de modernização nas décadas seguintes pautado pelo maior consumo de máquinas agrícolas e insumos modernos, incentivando também o desenvolvimento industrial do país. A execução do plano foi acelerada por incentivos promovidos por diversas

políticas governamentais, como crédito subsidiado, preços mínimos de garantia, pesquisa e extensão rural.(Vicente, 2002). Um marco para o setor está ligado a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em 1973, ligada diretamente ao ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (MAPA), com a formação da Embrapa uma série de centros de pesquisa vinculados à empresa foram criadas nos diferentes estados brasileiros. Um dos mais emblemáticos casos de sucesso está no desenvolvimento de sementes de soja adaptadas para o cultivo no cerrado. A pesquisa que envolveu os centros Embrapa Soja e Embrapa Cerrados foi iniciada em 1974. O grande desafio daquela época foi fazer com que uma planta típica de regiões temperadas, pudesse ser cultivada em condições brasileiras. Após cerca de 10 anos de pesquisa, foi lançada uma nova variedade de semente chamada "Doko", com destacado crescimento e produtividade. Dali para frente, inúmeros cultivares de soja modificados foram lançados adaptando as sementes à diferentes regiões do bioma de forma que nos últimos 30 anos a Embrapa lançou cerca de 50 variedades diferentes de soja[5].

Atualmente a Embrapa possui 42 centros de pesquisa espalhados pelo país e concentrados em diferentes áreas de atuação com infraestruturas variadas, como laboratórios e estações experimentais, direcionadas ao desenvolvimento e pesquisa de soluções para a produção agrícola. Alguns dos desses centros de pesquisa se encontram dentro ou anexadas à campus de universidades brasileiras.

Outro relevante mecanismo para o desenvolvimento do meio rural no Brasil é o serviço de assistência técnica e extensão rural (Ater). O primeiro movimento nesse sentido surgiu em meados da década de 40, inicialmente no Estado de Minas Gerais, representada pela Associação de Crédito e Assistência Rural – Acar - com o objetivo de oferecer assistência técnica e financeira aos estabelecimentos agrícolas com perfil familiar que adotassem inovações desenvolvidas em institutos de pesquisa agrícola. Em 1989, diante da crise fiscal em diversos estados brasileiros houve redução de instituições públicas oferecendo serviços Ater, restando em grande maioria instituições privadas, como consultorias e empresas de insumos, como ofertantes desse serviço que passaria a ser utilizado principalmente por produtores maiores e com mais acesso a crédito. Nos anos 90, surge o Pronaf, Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar, como uma forma de contornar o déficit gerado pela ausência de Ater público aos pequenos produtores e estabelecimentos familiares que por característica têm baixo acesso ao crédito. (Castro & Pereira, 2017)

5 Consulta realizada em 23.08.2021.
Disponível em: https://www.embrapa.br/documents/1355008/0/Folder+tecnologia+Soja/b7d86fc3-9754-4ad0-b9dc-1cff7191b199

De maneira similar às instituições acima, as universidades tiveram um papel relevante no desenvolvimento da produção agrícola brasileira. Muitas das universidades têm origem em escolas de ensino superior de agricultura do início do século XX e tinham como objetivo resolver os desafios do setor agropecuário brasileiro. Nas últimas décadas universidades como Esalq, Universidade Federal de Viçosa, Universidade Federal de Lavras, Universidade Federal de Pelotas, dentre outras universidades, foram responsáveis pelo desenvolvimento de 35 cultivares de aveia branca, 27 cultivares de feijoeiro, 59 de cana-de-açúcar, 62 de soja, 3 de trigo e incontáveis cultivares de milho. (Sediyama et al., 2012).

3. Base de Dados e Descrição da Base

3.1. Base de Dados

As variáveis apresentadas nesse capítulo foram obtidas em nível municipal, no entanto, ao longo do tempo podem ocorrer variações nas áreas dos municípios, originadas de segregação ou incorporação de um município por outro. Por isso, os municípios foram agrupados em unidades espaciais sem variações de área no período considerado. Essas unidades são denominadas **Áreas Mínimas Comparáveis (AMCs)**, conforme definido pelo IBGE e aplicado por Ehrl, 2017. Dessa maneira, a área de cada município foi obtida da base de dados de municípios do IBGE de 2020, agrupadas em AMC, bem como suas áreas apresentadas em hectares.

A principal fonte das variáveis agrícolas avaliadas nesse estudo é a pesquisa do **Censo Agropecuário do IBGE.** Apesar das longas janelas de publicação, a pesquisa contempla um levantamento detalhado sobre as fazendas brasileiras em nível municipal. Foram utilizados os anos do Censo Agropecuário de 1980, 1985, 2006 e 2017 e contemplam dados do **perfil de uso da terra nas fazendas e de boas práticas agrícolas (parâmetro para adoção de tecnologias).** O **uso da terra** é apresentado em hectares e é resumidamente composto por **áreas destinadas a lavouras, áreas destinadas a pastos e áreas destinadas a matas**[6], enquanto a somatória dessas áreas representa a área total das fazendas. A principal variável agrícola de interesse é a participação **(*share*) do uso da terra em relação às áreas totais das AMCs**. Sendo assim, essa razão é calculada para cada uma das áreas de uso das fazendas, obtendo o *share* de cada uma dessas áreas nas áreas totais das AMCs. O método empírico e os resultados para essa variável são apresentados no capítulo 4 e 5, respectivamente.

Para as boas práticas foram considerados os dados da pesquisa para fazendas que adotam em suas áreas **(i) o calcário, (ii) as práticas de conservação do solo e (iii) o uso de adubos e fertilizantes.** A variável agrícola avaliada é obtida a partir da razão entre o número de fazendas nas AMCs que indicam utilizar esses métodos e o número total de fazendas nas AMCs que responderam a pesquisa. O método empírico e os resultados para essa variável podem ser consultados no apêndice 3.

Além dos dados do Censo Agropecuário, foram coletados os dados de produção agrícola e pecuária da Pesquisa Agrícola Mensal (PAM) e Pesquisa Pecuária Municipal (PPM),

[6] A pesquisa ainda contempla o uso de outras áreas que representam menos de 10% das áreas totais das fazendas e por isso não foram consideradas no estudo.

respectivamente. Dessa publicação foram utilizados os dados da produção anual de 1980 a 2017 em toneladas para produção agrícola e em rebanho para pecuária. A produção agrícola considerada foi de **soja, milho, arroz e cana**. Enquanto a produção pecuária considerada foi de **gado e suínos**. A variável agrícola representa a evolução da produção agropecuária nas AMCs avaliadas, para isso foi calculada a relação entre produção, em quilogramas ou efetivo de rebanho, e a área em hectares da AMC avaliada. O método empírico utilizado e os resultados são apresentados no capítulo 6.

Uma das hipóteses avaliadas no capítulo 6 é de que o conhecimento gerado pelas universidades contribuiu para a maior adoção da soja em áreas com elevado potencial agronômico. Para isso foram coletadas e agrupadas por AMCs as estimativas do **potencial agronômico de soja sob alto regime tecnológico em quilogramas por hectare** do FAO-Gaez (*Global Agro-Ecological Zones*), um modelo que utiliza dados geográficos, climáticos e operacionais, como a escala da operação, gestão administrativa, uso de maquinarias, irrigação, insumos e outras tecnologias para estimar a maior produção possível de determinada plantação. O período adotado considera o potencial agronômico médio entre os anos de 1971 e 2000, isto é, anterior ao período de tratamento

A variável referente ao tratamento foi obtida da base de micro dados do Censo do Ensino Superior do Inep publicada em 2017. A pesquisa possui frequência anual em nível de instituição de ensino superior e em nível de curso do ensino superior. Foram compiladas as informações a nível de cursos do ensino superior, posteriormente agregadas a nível municipal e agrupadas em AMCs: (i) ano de criação do curso, (ii) município e estado, (iii) área geral, área detalhada e área CINE (classificação internacional normalizada de educação), e o (iv) campus universitário e a categoria administrativa; isto é, se o curso é de uma universidade federal, estadual, municipal ou particular. Com os dados acima, é possível identificar **se uma certa AMC recebeu ou não recebeu um curso de ensino superior de universidades federais nas áreas de ciências agrícolas em determinado ano.**

Um dos desafios do método empírico proposto é a possível diferença previamente existente em municípios com uma maior tendência ao desenvolvimento agrícola ou maior propensão a receber cursos de ciências agrícolas, o que pode ser observado no capítulo 3.2. Para mitigar esse risco, o método utiliza o *propensity score* que considera variáveis **geográficas, socioeconômicas e setoriais** como características específicas das fazendas nos municípios avaliados para aproximar os grupos controle e tratamento reduzindo o impacto das diferenças iniciais dos municípios. Essas características referem-se a períodos anteriores ao tratamento e

não são consideradas suas variações ao longo do tempo. Como variáveis geográficas, foram utilizadas a distância de Brasília e a distância da costa, para as covariadas socioeconômicas, o PIB per capita em R$ por habitante em 2000, a densidade demográfica em habitantes por km^2 em 2000, a taxa de urbanização, a taxa de casas com água encanada, a taxa de casas com energia elétrica, a taxa de atividade econômica, a taxa de envelhecimento da população, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino fundamental completo, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino médio completo e a porcentagem de pessoas com 25 anos ou mais com ensino superior completo, todas essas obtidas no Atlas Brasil com dados do IBGE dos anos 2000[7]. Por fim, foram utilizados dados do Censo Agropecuária referentes ao tamanho médio das fazendas, número de fazendas por município, número de fazendas que receberam orientação técnica por hectare, número de fazendas com acesso a energia elétrica por hectare, área total da fazenda, uso da área para lavouras, para pastos e matas. As AMCs ainda foram *clusterizadas* conforme suas respectivas mesorregiões.

Ainda que as publicações utilizadas nesse estudo disponibilizem dados desde 1980, algumas dessas variáveis só passaram a compor as pesquisas em anos posteriores a 1980, principalmente os dados referentes às boas práticas. A tabela abaixo sumariza os anos disponíveis no nível AMC para as variáveis de uso da terra, adoção de tecnologias e produção agropecuária bem como para a variável referente a presença de cursos de ensino superior. Sendo assim, foi possível construir uma base de dados em painel de forma que para cada AMC e para cada período da janela amostral abaixo existe uma informação para as variáveis agrícola de interesse que será utilizada na especificação descrita no capítulo 4 e resultados expostos no capítulo 5 e 6.

Tabela 1: Fonte dos dados e janela amostral

Variável	Fonte dos dados	Janela amostral
Uso da terra (área de fazendas)	Censo Agropecuário	1980, 1985, 1995, 2006 e 2017
Uso de calcário, adubos e fertilizantes e práticas de conservação do solo	Censo Agropecuário	1995, 2006 e 2017
Produção agropecuária	PAM e PPM	1980 a 2017 (anual)
Oferta curso de ensino superior na área de ciências agrícolas	INEP	1995 a 2017 (anual)
Covariadas geográficas	IBGE	2000
Covariadas socioeconômicas	Atlas Brasil / IBGE	2000
Covariadas setoriais	Censo Agropecuário	1980, 1985 e 1995
Potencial Agronômico da Soja	FAO/Gaez	2000

[7]- Consultado em 02/10/2021. Disponível em http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha

3.2. Descrição da Base de Dados

Variáveis Agrícolas

Na Tabela 2 são apresentadas as médias das variáveis agrícolas obtidas a partir de todos os anos da base de dados descrita anteriormente. É possível observar que existe uma diferença em todas as variáveis avaliadas entre os grupos tratamento e controle, reforçando a importância de adotar o *propensity score* com características geográficas e socioeconômicas das AMCs consideradas no modelo. Além disso, destaca-se a predominância de áreas de pastos em nível nacional, seguido por áreas de lavouras e matas. Tal característica pode ser observada tanto no grupo controle como no tratamento.

Tabela 2: Estatística descritivas das variáveis agrícolas

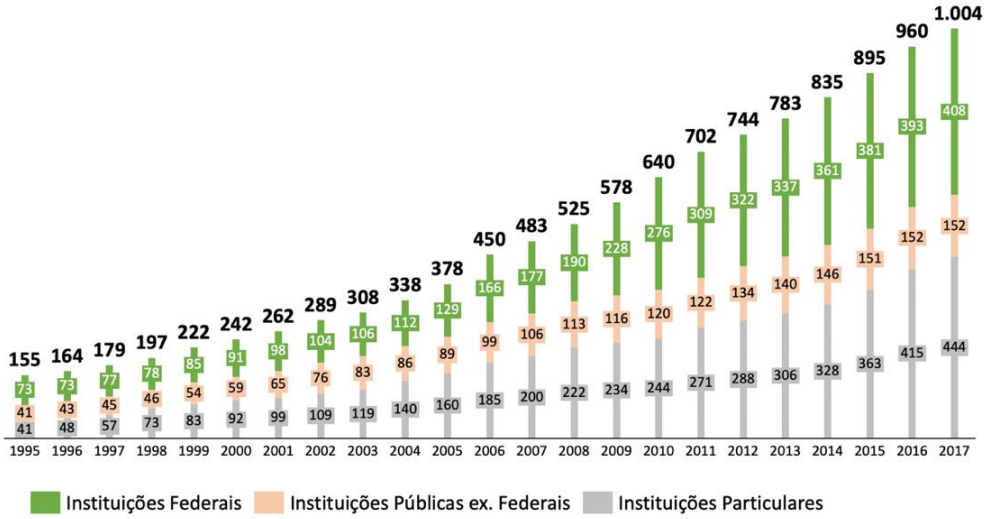
Estatística Descritiva - Nível Nacional	Tratamento		Controle	
	Média Simples	Desvio Padrão	Média Simples	Desvio Padrão
Uso da Terra (%)				
Share Área Total das Fazendas	57,65%	28,37%	63,56%	27,99%
Share Lavouras	15,72%	17,11%	18,26%	20,21%
Share Pastos	28,39%	21,04%	33,18%	23,05%
Share Matas	13,55%	15,20%	12,12%	11,16%
Adoção de práticas agrícolas (%)				
Taxa de Uso de Adubo	36,73%	27,14%	45,81%	30,41%
Taxa de Uso de Calcário	15,18%	18,24%	23,30%	20,88%
Taxa de Práticas de conservação do Solo	40,10%	26,59%	45,72%	29,31%
Produção Agrícola (quilogramas / hectare de AMC)				
Soja	19,23	50,56	12,61	44,82
Milho	23,10	45,93	23,67	50,87
Arroz	6,79	22,78	3,89	17,99
Cana-de-Açúcar	117,30	496,41	455,14	1.475,53
Produção Pecuária (1.000 x efetivo do rebanho / hectare de AMC)				
Gado	64,56	51,27	78,21	59,70
Suínos	29,56	78,15	27,74	82,20

Fonte: Elaboração Própria – Dados IBGE (Censo Agropecuário, PAM e PPM)

Ensino Superior

No que diz respeito a variável de tratamento, cursos de ensino superior das áreas de ciências agrícolas, a Figura 1 ilustra a evolução desses cursos conforme categoria administrativa nos últimos 22 anos com destaque para a oferta de instituições particulares, que saltou de 41 para 444 e para instituições federais que adicionaram 335 cursos nesse período, uma variação de 459%.

Figura 1:Evolução dos cursos de ensino superior das áreas de ciências agrícolas[8]



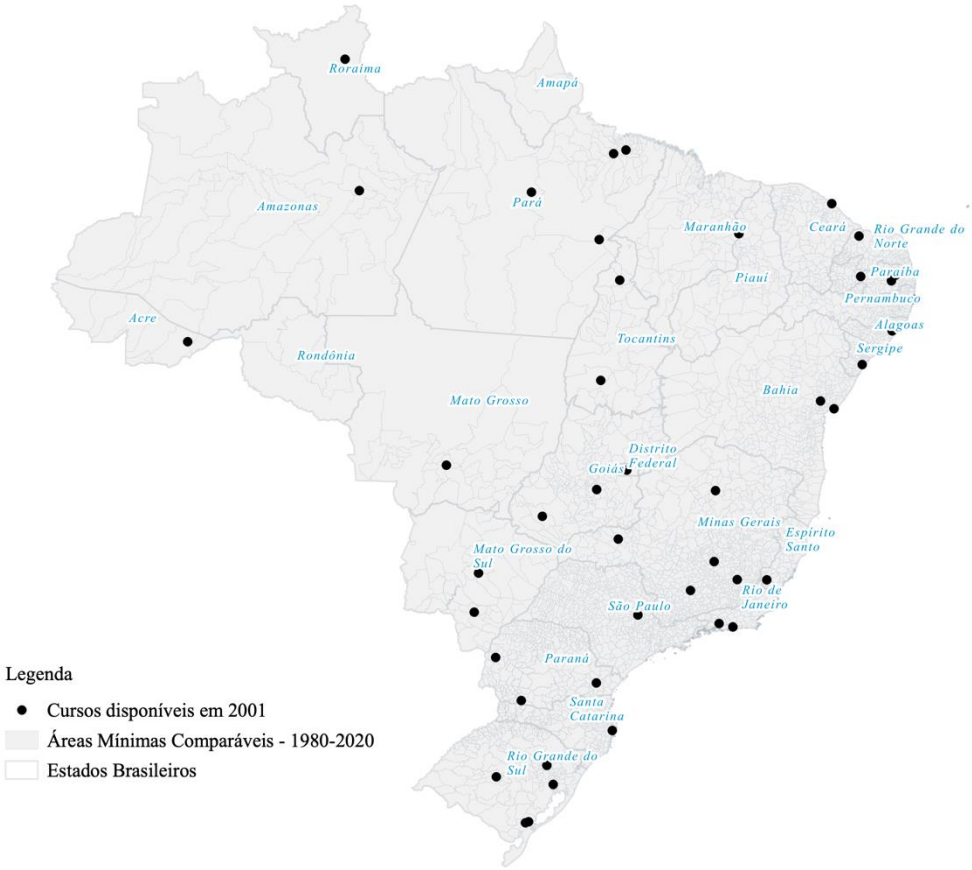
Fonte: Elaboração Própria – Dados MEC/IES

Em 2001 eram ofertados 98 cursos distribuídos em 37 diferentes instituições federais com destaque para a Universidade Federal de Viçosa, com 6 cursos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Universidade Federal de Pernambuco e Universidade Federal da Amazônia com 5 cursos cada instituição e as Universidades Federais do Paraná e Lavras também com 5 cursos. Nesse ano, os estados com maior disponibilidade de cursos eram Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Pará com oferta de 15, 10 e 8 cursos respectivamente. Como é possível observar na Figura 2 abaixo, os cursos eram ofertados em 44 diferentes municípios, dos quais 42% dos eram localizados em capitais, com Belém e Recife as capitais que mais ofereciam cursos, 5 em cada

[8] De acordo com a classificação do CINE estão inseridos nessa área os cursos de Agroecologia, Agroindústria, Agronegócio, Agronomia, Agropecuária, Aquicultura, Cafeicultura, Engenharia Agrícola, Engenharia de biossistemas, Engenharia de pesca, Engenharia florestal, Horticultura, Irrigação e drenagem, Medicina Veterinária, Produção pesqueira, Silvicultura, Viticultura e enologia e Zootecnia.

uma delas. Já os munícipios com maior disponibilidade de cursos, além dos dois mencionados acima, estão Viçosa com 6 cursos, Seropédica e Lavras com 5 cursos cada um.

Figura 2: AMCs com oferta de cursos das áreas de Ciências Agrícolas de universidades federais em 2001[9]

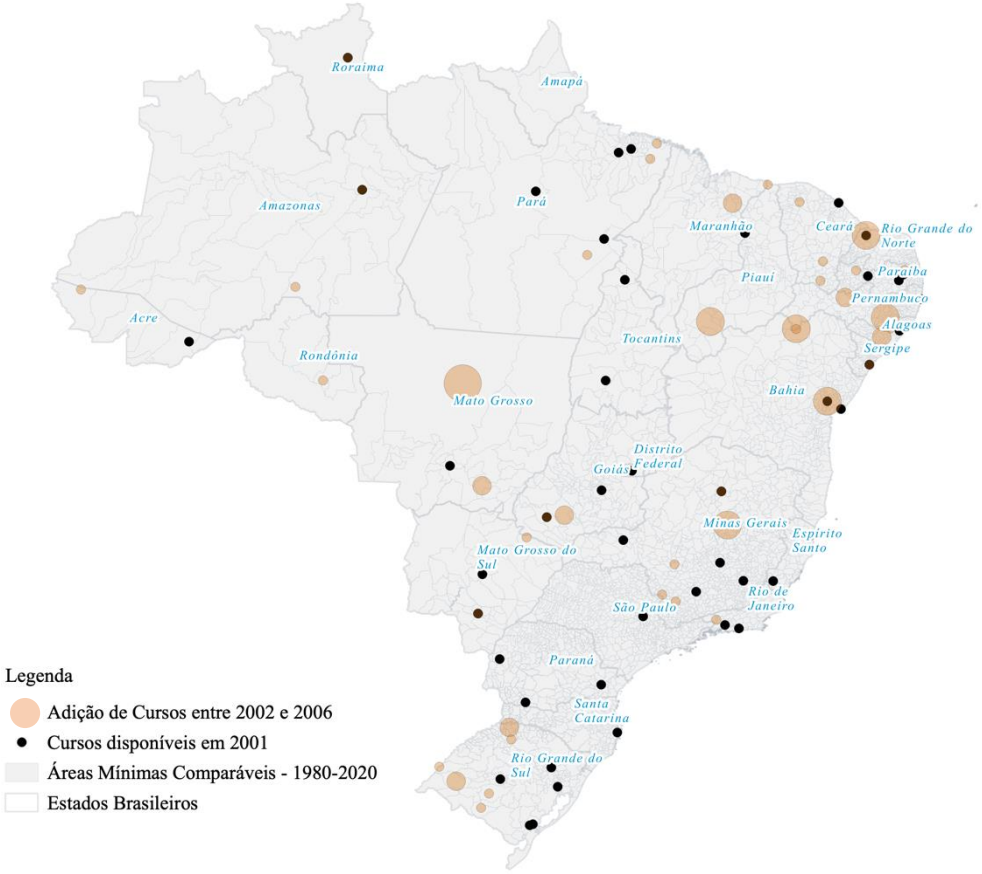


Fonte: Elaboração Própria – Dados MEC/IES

Já em 2006, o número de cursos ofertados foi de 166, distribuídos entre 49 diferentes instituições de ensino federal. As universidades que apresentaram a maior variação de cursos foram a Universidade Federal Rural de Pernambuco e Universidade Federal do Mato Grosso, adicionando 6 e 5 cursos respectivamente, seguidas pelas Universidades Federais do Piauí e do Alagoas com 4 novos cursos cada uma. Os estados que mais adicionaram foram Pernambuco e Rio Grande do Sul com 9 e 8 cursos adicionadas em cada estado, porém Minas Gerais permaneceu como principal estado ofertante dos cursos de ciências agrícolas com 22 cursos em 2006. Nesse ano, o número de munícipios que ofertavam esses cursos saltou de 44 para 80.

[9] No capítulo 4, método empírico e estratégia de identificação, é definido como período inicial de tratamento o ano de 2002, dessa forma o primeiro mapa ilustra a oferta de cursos no momento imediatamente anterior ao do tratamento. Essas AMCs são definidas como já tratadas e, portanto, são eliminadas da base de dados.

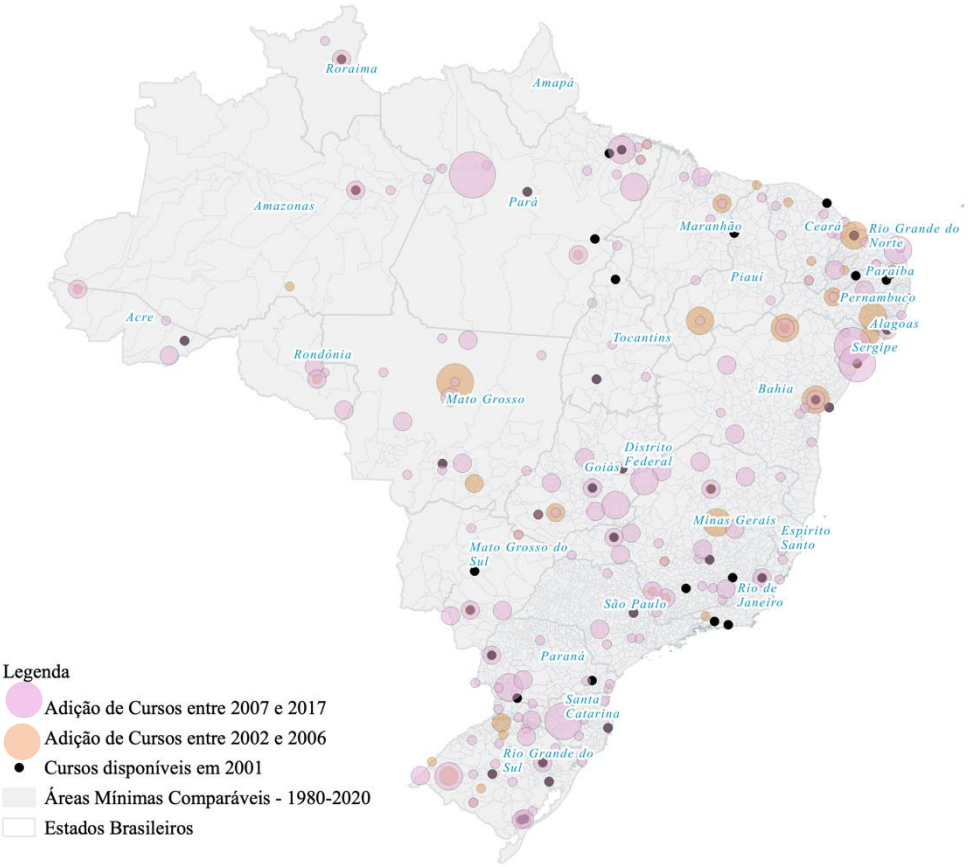
Figura 3: AMCs com oferta de cursos das áreas de ciências agrícolas de universidades federais em 2001 e 2006



Fonte: Elaboração Própria – Dados MEC/IES

Na Figura 3 é possível notar o aumento de cursos de ciências agrícolas em alguns locais em que já existia oferta por cursos nessa área, porém as maiores variações foram concentradas em municípios que não ofertavam esses cursos em 2001, os diferentes raios das circunferências ilustram essas variações para as áreas tratadas. É o caso de Sinop – MT, que adicionou 4 cursos na Universidade Federal do Mato Grosso, no campus Sinop - que recebeu esse título em 2006 após um convênio com o MEC, Garanhuns - PE, Petrolina – PE e Bom Jesus – PI, que apresentaram incremento de três cursos no período avaliado. Por fim, cabe destacar que apenas três cursos foram adicionados em capitais nesse período de forma que a oferta de cursos em capitais passou a ser de 27% ante 42% no período anterior.

Figura 4: AMCs com oferta de cursos das áreas de ciências agrícolas de universidades federais em 2007 e 2017



Fonte: Elaboração Própria – Dados MEC/IES

Entre os anos de 2007 e 2017, foram adicionados 242 cursos de ciências agrícolas atingindo um total de 408 ofertados por 84 diferentes instituições federais. O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso, que não apresentava cursos nos períodos anteriores, passou a ofertar 13 diferentes cursos, também vale destacar a Universidade Federal do Oeste do Pará que adicionou 7 cursos não ofertados anteriormente por essa instituição.

Na figura 4 é possível notar novas ofertas de cursos em todas as regiões do país. A região Sul apresentou variações menores, porém bem espalhadas entre o território enquanto Nordeste, Norte e Centro-Oeste apresentaram maiores variações e aparentemente mais concentradas. Dentre os estados que mais adicionaram cursos desta área estão MG, RS e PA que ampliaram em 37, 25 e 22 o número de cursos em seus respectivos estados de forma que são os estados que lideram a oferta de cursos no país nesse período.

Em 2017, 197 diferentes municípios ofertavam pelo menos um curso de ciências agrícolas, um aumento de 146% em relação a 2006. Dos municípios que passaram a ofertar cursos estão Santarém – PA, que adicionou 5, Nossa Senhora das Glórias – SE e Curitibanos – SC, que adicionaram cada 4 cursos de instituições públicas federais na área de ciências agrícolas. Com as adições observadas nesse período, é possível notar que houve um esforço para interiorizar a oferta de cursos de instituições federais nesse período, uma vez que dos 408 cursos ofertados apenas 15% estavam localizados em capitais, essa taxa era de 42% em 2001, conforme destacado anteriormente.

4. Método Empírico

O método utilizado é o *diff-in-diff* em múltiplos períodos obtendo o efeito do tratamento através de um estimador *doubly robust* que combina *propensity score* com regressão linear simples, conforme utilizado por Callaway & Sant'Anna, em 2020.

Para estimar o efeito da adição de cursos de ensino superior das áreas de ciências agrícolas sob o uso da terra em determinada AMC seria necessário comparar o comportamento dessa variável agrícola caso essa mesma AMC não tivesse recebido o curso, o que é inviável, uma vez que não é possível avaliar o efeito do tratamento e da ausência dele em um mesmo indivíduo. Para contornar esse desafio, são utilizadas como contrafactual as AMCs que não receberam o tratamento, mas possuíam comportamentos e características similares às AMCs que receberam, sob a premissa das tendências paralelas, isto é, antes ou na ausência desse tratamento as variáveis agrícolas apresentariam comportamento similar ao longo do tempo.

No entanto, é razoável afirmar que locais que receberam universidades possuem trajetórias diferentes das demais o que enfraqueceria a premissa das tendências paralelas. Sendo assim, para encontrar um grupo controle consistente e com características iniciais similares ao grupo tratado, a primeira etapa do método consiste em realizar o pareamento dos grupos tratamento e controle por *propensity score*, que é obtido a partir de características iniciais observáveis dos indivíduos, como variáveis geográficas, socioeconômicas e setoriais, e um modelo de estimação *logit* para o pareamento dos grupos controle e tratamento.

A definição do período inicial de tratamento é parte fundamental da estratégia de identificação. Como destacado no capítulo 3, a expansão das universidades federais teve início em 2002 com grande variabilidade regional e ocorreu por conta de programas voltados à revitalização, expansão e interiorização dos cursos de ensino superior nessas instituições. Essas características permitem considerar a expansão de instituições federais como um choque exógeno e aleatório às variáveis de interesse viabilizando a implementação do método proposto. Além disso, foram excluídas as AMCs que já possuíam cursos da área de ciências agrícolas ofertados por instituições federais antes de 2002, dessa forma serão considerados no grupo tratamento apenas as AMCs que receberam um curso a partir desse ano.

Sendo assim, após o pareamento por *propensity score* descrito anteriormente, a seguinte especificação é estimada por meio de uma regressão linear simples para obter o efeito do tratamento:

$$Y_{i,t} = \alpha_i + \gamma_t + \beta_1 * \mathrm{U_{i,t}} + \epsilon_{i,t} \quad (1)$$

Em que $Y_{i,t}$ é a variável o uso da terra para determinada AMC nos períodos t que podem ser os anos de 1980, 1985, 1995, 2006 e 2017 conforme as pesquisas do Censo Agropecuário. Como mencionado no capítulo 3, o uso da terra é composto pelas variáveis área de lavouras, área de pastos, área de matas e outras áreas[10], a somatória dessas áreas representa a área total das fazendas que também é estimada seguindo a metodologia proposta, $U_{i,t}$ é uma *dummy* que recebe o valor de 1 caso a AMC tenha recebido algum curso de ciências agrícolas a partir do ano de 2002, período definido como início do tratamento. Os coeficientes α_i e γ_t capturam os efeitos fixos da AMC e do tempo, respectivamente.

O método empírico de *diff-in-diff* em múltiplos períodos e grupos surge como uma forma de contornar o possível viés no estimador gerado pelo método mais comum para obter o ATT via *diff-in-diff,* denominado na literatura de *two-way fixed effects* – TWFE, ou DiD 2x2, em que são definidos apenas dois períodos, pré e pós-tratamento, e dois grupos, controle e tratamento, que pode gerar estimadores não robustos para o ATT[11]. Isso ocorre principalmente por conta do efeito heterogêneo do tratamento que poderá existir tanto entre as unidades tratadas como em relação aos diferentes períodos em que o tratamento foi recebido, afetando o tempo de exposição ao tratamento e por consequência seu efeito.

O *framework* sugerido por Callaway & Sant'Anna, em 2020, e que foi adotado no presente trabalho considera três passos para estimar os parâmetros de tratamento: (i) conduzir um pré-teste para a viabilidade da premissa de tendências paralelas, (ii) estimar os parâmetros de causalidade da política avaliada de forma desagregada, denominado pelos autores de "*group-time average treatment effect*". A forma geral para estimar o ATT para múltiplos grupos e períodos é definida da seguinte maneira:

$$ATT\ (g,t) = E[Y_t(g) - Y_t(0)|G = g\ ]$$

Em que ATT (g,t) é o efeito do tratamento para o indivíduo do grupo g no período t. No exemplo de aplicação apresentado pelos mesmos autores, a alocação de indivíduos para determinados grupos é feita conforme o primeiro período de tratamento, isto é, se um indivíduo recebe o primeiro tratamento no período t = 2, então esse será alocado no grupo g = 2, de forma que o ATT (2,3) será o efeito do tratamento dos indivíduos do grupo 2 no período 3, e assim

[10] Outras áreas representam menos de 10% das fazendas e são compostas por áreas não cultiváveis ou áreas destinadas a pesca e aquicultura, portanto não serão consideradas na estimação.

[11] Osresultados para a estimativa do tratamento via TWFE são apresentados no apêndice IV.

sucessivamente conforme a disponibilidade dos dados após o tratamento; e (iii) agrupar os parâmetros estimados no passo anterior de forma a sumarizar e mensurar o efeito de causalidade. Os autores sugerem alguns modos de fazer esse agrupamento como através da média do ATT (g,t) entre os diferentes grupos tratados, uma média ponderada do ATT (g,t) pela quantidade de indivíduos tratados ou através de um agrupamento que considera o tempo de exposição ao tratamento. O primeiro modo de agrupamento descrito acima é o *default* do modelo apresentado pelos autores e foi implementado nas estimativas apresentadas nos próximos capítulos.

Esse estudo também se beneficiará do método de agrupamento descrito acima como uma forma de contornar a baixa disponibilidade de dados amostrais após o período de tratamento, uma vez que a pesquisa do Censo Agropecuário foi realizada apenas nos anos 2006 e 2017, além de ser possível estimar, ainda que com uma menor precisão do que se os dados fossem contínuos, os efeitos de curto e médio prazo nas AMCs tratadas. A formação de grupos, recomendada pelo método empírico utilizado nesse estudo, se deu com base nos dois últimos períodos de divulgação do Censo Agropecuário, então, definiu-se como grupo 2006, as AMCs que receberam cursos entre 2002 e 2006 e grupo 2017, as AMCs que receberam cursos entre 2007 e 2017.

Embora o método sugerido acima contorne possíveis vieses relacionados aos diferentes momentos em que os indivíduos são tratados, alguns riscos foram identificados para essa especificação. Um desses riscos é o da causalidade reversa, isto é, a presença de universidades e cursos de ciências agrícolas poderia estar associada ao uso da terra e não como a especificação indica que a presença de universidades influenciou o uso da terra. De fato, pode existir uma tendência em que municípios mais propensos a agricultura ou em regiões de fronteira agrícola recebam cursos universitários para atender a uma possível demanda local. Por outro lado, a Figura 4 indica que a expansão dos cursos de universidades federais ocorreu por todo o território brasileiro, com um movimento para os municípios no interior do país sem necessariamente uma tendência clara de que os cursos foram adicionados em locais específicos. Um aprofundamento dos parâmetros ou regras de expansão das universidades federais seria necessário para avaliar a questão da causalidade reversa. Além disso, o uso do *propensity score* com variáveis geográficas e socioeconômicas visa aproximar a comparação de AMCs tratadas e não tratadas, de forma a mitigar o risco de comparar locais que poderiam ser alvo da política de expansão das universidades com locais que não receberam as universidades e são totalmente diferentes das AMCs tratadas.

Outro desafio a essa especificação diz respeito às variáveis não observadas, como por exemplo, a implementação do Cadastro Ambiental Rural, o CAR. Em 2012, o Novo Código Florestal estabeleceu uma série de regras sobre uso da terra e principalmente definiu a criação do Cadastro Ambiental Rural (CAR). O preenchimento do CAR com os dados de uso da terra do estabelecimento passou a ser obrigatório e é necessário para que os estabelecimentos possam comercializar sua produção. As informações geradas devem auxiliar o governo no monitoramento da regulação ambiental afetando variáveis de interesse como uso da terra e produção agrícola. Mesmo que a obrigatoriedade do CAR seja válida em território nacional, determinadas áreas poderiam apresentar mais estabelecimentos rurais portanto, maior tendência a serem afetadas pelo CAR ocasionando o viés, o método de *diff-in-diff* associado ao *propensity score* é uma forma de mitigar o risco de viés dessa variável não observada.

A presença de instituições de pesquisa e fomento ao uso de tecnologia, mais notadamente o Embrapa, ou outras instituições como Embrapii, instituições privadas como grandes fornecedoras ou startups que atuam oferecendo novas tecnologias com ou sem a participação de universidades também podem afetar a estimativa acima e devem ser consideradas em pesquisas futuras com dados atualizados dos próximos Censos Agropecuários ou de localização dessas instituições.

5. Resultados para o Uso da Terra

5.1. Uso da Terra - Nível nacional

Para estimar a especificação dada pela equação (1) apresentada no capítulo anterior para o uso da terra, foram considerados os dados do Censo Agropecuário realizado nos anos de 1980, 1985, 1995, 2006 e 2017, em nível municipal e agregados para o nível de AMCs, resultando em 3.829 AMCs para cada uma das variáveis que compõe o uso da terra, cobrindo todo o território nacional. Como mencionado anteriormente, o período estabelecido para início do tratamento, que é dado pela adição de cursos de ciências agrícolas, foi 2002. Desse período até 2017 foram adicionados 310 cursos em 188 diferentes AMCs, das quais 43 AMCs já ofertavam cursos antes do período de tratamento e por isso foram eliminadas da análise, portanto, restaram 145 AMCs tratadas e um total de 3.786 AMCs na base.

A adoção do *propensity score* como ferramenta para aproximar municípios com base em suas características geográficas, socioeconômicas e setoriais, antes de estimar o efeito do tratamento através da regressão linear, trouxe resultados positivos para o teste de tendências paralelas em todas as estimativas e variáveis que compõe o uso da terra. Nesse teste, a hipótese nula consiste em assumir que existe tendências paralelas entre AMCs tratadas e não tratadas, portanto, com um elevado p-valor, existem fortes evidências para não rejeitar tal hipótese.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 3, existem indícios de que a entrada de novos cursos afetou positivamente, com 95% de confiança, a participação das áreas totais das fazendas em relação as áreas totais das AMCs com aumento de 2,39%, o que representaria um incremento de 4,34% nas áreas totais das fazendas do grupo tratado. Como as variáveis que compõem o uso da terra, área para lavouras, pastos e matas, não apresentaram significância estatística, há evidências para afirmar que o tratamento não alterou o perfil de uso da terra. Mesmo que não se confirme uma alteração no perfil do uso da terra no sentido de uma menor participação de matas e a participação das áreas totais das fazendas em relação as áreas da AMC tenha apresentado uma variação relativamente baixa se comparado ao *share* total das fazendas antes do período de tratamento, não é possível afirmar que a pressão ambiental foi maior ou menor nessas áreas, uma vez que o avanço das áreas das fazendas pode ter ocorrido em detrimento das áreas de matas nas áreas municipais. Uma avaliação do desmatamento em nível

municipal e não dos estabelecimentos rurais seria necessário para afirmar se houve ou não aumento da pressão ambiental diante da presença de cursos de ciências agrícolas[12].

Tabela 3: Efeito do tratamento considerando todas as AMCs do Brasil - Uso da terra em relação a área total da AMC

Uso da Terra - Nível Nacional	share área total fazendas / área total AMC	share área de lavouras / área total AMC	share área de pastos / área total AMC	share área de matas / área total AMC
Presença de Cursos de Ciências Agrícolas	0,0239 **	0,0056	0,0083	0,0073
Desvio Padrão	(0,0116)	(0,0086)	(0,0065)	(0,0059)
Intervalo de Confiança (95%)	[0,0012 0,0466]	[-0,0112 0,0224]	[-0,0045 0,021]	[-0,0044 0,0189]
p-valor para tendências paralelas	0,85	0,26	0,81	0,36
Média da variável no grupo tratado no período anterior ao tratamento	0,55	0,13	0,30	0,11
Número de Observações	18.930	18.930	18.930	18.930
Número de AMCs	3.786	3.786	3.786	3.786
Número de AMCs Tratadas	145	145	145	145
Efeito fixo de município	Sim	Sim	Sim	Sim
Efeito fixo de período	Sim	Sim	Sim	Sim
Controles	Sim	Sim	Sim	Sim

Notas: A tabela reporta a estimativa da especificação 1 apresentada no capítulo 4. As variáveis agrícolas de interesse estão nas colunas e as covariadas utilizadas no *propensity score* foram: O PIB per capita em R$ por habitante em 2000, a densidade demográfica em habitantes por km2 em 2000, a taxa de urbanização, a taxa de casas com energia elétrica, a taxa de atividade econômica, a taxa de envelhecimento da população, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino fundamental completo, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino médio completo e a porcentagem de pessoas com 25 anos ou mais com ensino superior completo. As características das fazendas como o tamanho médio das fazendas, número de fazendas por município, número de fazendas que receberam orientação técnica por hectare, número de fazendas com acesso a energia elétrica por hectare, área total das fazendas, área de lavouras, área de pastos e área de matas. As AMCs foram clusterizadas com base em suas mesoregiões. *** $p < 0,01$ ** $p < 0,05$ * $p < 0,01$

O método empírico proposto dispõe de instrumentos para aproximar as AMCs tratadas e não tratadas para obter uma comparação com menor viés de atributos e viés de seleção, no entanto, podem existir características não observadas que podem geram vieses nos resultados apresentados acima, principalmente por se tratar de uma amostra a nível nacional. Com o intuito de mitigar esses riscos, a especificação 1 foi estimada considerando algumas variações na base amostral partindo inicialmente de uma segmentação regional entre fronteira agrícola e fora da fronteira agrícola. As AMCs presentes nas regiões de fronteiras agrícolas, aqui definidas como Amazônia Legal e Matopiba, podem ter uma sensibilidade diferente ao tratamento quando comparada às AMCs de regiões fora de fronteiras agrícolas em que as fazendas se encontram em áreas mais desenvolvidas, com produção agrícola consolidada e, portanto, menor pressão ambiental do que AMCs localizadas em fronteiras agrícolas.

[12] Essa avaliação foi feita utilizando dados do Prodes/INPE para a região da Amazônia Legal e pode ser consultada no apêndice I.

5.2. Uso da Terra - Nível Regional

A região considerada para esse exercício foi a da Amazônia Legal, composta pelos estados do Acre, Amazonas, Roraima, Rondônia, Mato Grosso, Pará, Tocantins, Amapá e Maranhão e da região do Matopiba, representada por Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Essa região é composta por 1.449 municípios que quando agrupadas em AMCs somam 741 unidades, das quais 44 unidades receberam cursos de ciências agrícolas de instituições federais. Para obter os resultados da Tabela 4, a equação (1) apresentada no capítulo 4 foi estimada pelo método proposto para todas as variáveis referentes ao uso da terra.

Tabela 4: Efeito do tratamento considerando as AMCs localizadas em fronteiras agrícolas e fora das fronteiras agrícolas - Uso da terra em relação a área total da AMC

Uso da Terra - Nível Regional	share área total fazendas / área total AMC	share área de lavouras / área total AMC	share área de pastos / área total AMC	share área de matas / área total AMC
Painel A. Fronteira Agrícola				
Presença de Cursos de Ciências Agrícolas	0,0206	-0,0049	0,0101	0,0104
Desvio Padrão	(0,0229)	(0,0088)	(0,0185)	(0,0102)
Intervalo de Confiança (95%)	[-0,0244 0,0655]	[-0,0222 0,0124]	[-0,0262 0,0463]	[-0,0096 0,0304]
p-valor para tendências paralelas	0,96	0,45	0,60	0,90
Média da variável no grupo tratado no período anterior ao tratamento	0,37	0,04	0,19	0,13
Número de Observações	3.640	3.640	3.640	3.640
Número de AMCs	728	728	728	728
Número de AMCs Tratadas	44	44	44	44
Painel B. AMCs fora da fronteira agrícola				
Presença de Cursos de Ciências Agrícolas	0,0234	0,011	0,0067	0,0061
Desvio Padrão	(0,0146)	(0,0105)	(0,0081)	(0,0065)
Intervalo de Confiança (95%)	[-0,0052 0,0521]	[-0,0095 0,0316]	[-0,0092 0,0226]	[-0,0066 0,0189]
p-valor para tendências paralelas	0,49	0,27	0,24	0,39
Média da variável no grupo tratado no período anterior ao tratamento	0,62	0,17	0,34	0,11
Número de Observações	15.290	15.290	15.290	15.290
Número de AMCs	3.058	3.058	3.058	3.058
Número de AMCs Tratadas	101	101	101	101
Efeito fixo de município	Sim	Sim	Sim	Sim
Efeito fixo de período	Sim	Sim	Sim	Sim
Controles	Sim	Sim	Sim	Sim

Notas: A tabela reporta a estimativa da especificação 1 apresentada no capítulo 4. As variáveis agrícolas de interesse estão nas colunas e as covariadas utilizadas no *propensity score* foram: O PIB per capita em R$ por habitante em 2000, a densidade demográfica em habitantes por km2 em 2000, a taxa de urbanização, a taxa de casas com energia elétrica, a taxa de atividade econômica, a taxa de envelhecimento da população, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino fundamental completo, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino médio completo e a porcentagem de pessoas com 25 anos ou mais com ensino superior completo. As características das fazendas como o tamanho médio das fazendas, número de fazendas por município, número de fazendas que receberam orientação técnica por hectare, número de fazendas com acesso a energia elétrica por hectare, área total das fazendas, área de lavouras, área de pastos e área de matas. As AMCs foram clusterizadas com base em suas mesoregiões. *** $p < 0,01$ ** $p < 0,05$ * $p < 0,01$

Ao avaliar o efeito do tratamento para AMCs localizadas na Fronteira Agrícola, Painel A, nota-se um sinal de redução do uso de lavouras, ampliação da área de pastos e maior participação de matas nas AMCs tratadas, porém, não é possível afirmar que houve algum impacto estatisticamente significante da implementação das instituições federais no uso da terra em fronteiras agrícolas, principalmente por conta da grande variabilidade do efeito do tratamento, algo também observado nos resultados anteriores. Tal conclusão é válida para as AMCs localizadas nas regiões fora da fronteira agrícola, Painel B. Nesse sentido, é possível afirmar que a expansão de universidades federais em regiões associadas ou não a fronteiras agrícolas não foi um motivo de alteração do perfil de uso da terra tampouco de expansão das áreas de fazendas, corroborando com o destacado nos resultados em nível nacional de que o aumento da participação das fazendas em relação a área total das AMCs, mesmo que estatisticamente significante a nível nacional, tem baixa representatividade. A variação dos resultados apresentados nas duas tabelas anteriores poderia ser justificada pela ausência da relação de causalidade entre as variáveis avaliadas ou que o prazo para firmar essa relação é maior do que o período considerado nesse estudo.

Embora não exista diferença estatisticamente significante tanto para as áreas totais das fazendas como para o perfil de uso da terra entre as AMCs tratadas e grupo controle, é razoável comparar a variação das AMCs tratadas nas duas áreas avaliadas, fronteira agrícola e fora da fronteira agrícola. Nesse caso, nota-se que antes do período do tratamento existem diferenças na característica dos estabelecimentos localizados nessas duas regiões. Por exemplo, a média da área total das fazendas localizadas nas fronteiras agrícolas era de 37% enquanto nas outras áreas foi de 62%. Nos anos seguintes, essa área passou a ser de 40% na AMCs tratadas, isto é, a diferença ainda era significante entre as duas regiões. As mesmas observações e conclusões são válidas para as áreas de lavouras e pastos, inviabilizando comparações entre as AMCs tratadas nas diferentes regiões. Por outro lado, ao observar a similaridade do *share* de matas nas duas regiões avaliadas pode ser oportuno realizar um teste para verificar se existe diferença estatisticamente significante entre essas duas regiões após o tratamento, uma vez que existe uma variação aparentemente maior nas áreas de matas na região de fronteiras agrícolas quando comparadas às AMCs localizadas fora dessa região.

Outras regressões baseadas na especificação 1 foram estimadas considerando as características dos estabelecimentos, como por exemplo, o tamanho da fazenda ou a presença de orientação técnica às fazendas[13]. Nesse caso, grandes fazendas poderiam possuir recursos suficiente para

[13] O resultado e interpretação dessas estimativas pode ser encontrado no apêndice II.

não depender da presença de universidades, devido a grande escala de operação podem ter maior acesso a mão de obra qualificada ou assistência técnica necessários para seus processos produtivos sendo não afetados pela entrada dos cursos. Ademais, AMCs com predominância de pequenas fazendas poderiam carecer de assistência técnica e a presença de cursos pode exercer influência maior nessas áreas ou, alternativamente, a ausência de assistência técnica diante do grande número de fazendas e do território brasileiro poderia ser compensada pela presença de cursos de ensino superior.

Embora em alguns casos foram identificados pequenos efeitos do tratamento, em linhas gerais, não foi possível encontrar resultados relevantes e consistentes nas estimativas realizadas para afirmar que a presença de cursos de ciências de agrícolas ofertados por instituições federais afetou de alguma forma o perfil de uso da terra e o tamanho das fazendas.

A presença de cursos de ensino superior das áreas de ciências agrícolas pode acelerar a adoção de tecnologias e boas práticas por meio de adaptações das tecnologias às culturas locais ou redução de seus custos de implementação de forma que as fazendas localizadas nas AMCs que receberam esse tratamento tenham melhor aproveitamento de suas áreas cultiváveis não avançando em áreas de matas. Esse resultado poderia ser confirmado através de um aumento da produção agrícolas nessas AMCs, sem variações significantes no tamanho das fazendas e no perfil de uso, como observado nesse capítulo. Portanto, o capítulo seguinte tem como objetivo avaliar se variáveis relacionadas a produção e boas práticas agrícolas sofreram impacto diante da adição de cursos de ciências agrícolas.

6. Resultados Adicionais – Produção Agropecuária

Embora os resultados obtidos no capítulo anterior indiquem pequenos efeito da presença de universidades sob o perfil de uso da terra e o tamanho das fazendas, é pertinente avaliar se esse tratamento alterou o tipo de cultivo dessas áreas, o que poderia influenciar no médio a longo prazo no uso das terras. Sendo assim, esse subcapítulo avalia uma especificação similar à apresentada anteriormente, porém aplicada a produção de lavouras em quilogramas (soja, milho, arroz e cana de açúcar) e pecuária em rebanho (gado e suínos) para cada hectare de AMC.

Os dados utilizados para estimar a especificação 2, apresentada abaixo, são da Produção Agrícola Municipal (PAM) e da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), ambas divulgadas pelo IBGE. Esses dados foram compilados em um painel com início em 1980 e término em 2017. Além disso, foram agrupados com o objetivo de suavizar possíveis variações sazonais nas safras, o que poderia enviesar as variáveis de produção, além de viabilizar a comparação com os resultados apresentados no capítulo 5. A tabela abaixo destaca esse agrupamento, bem como a evolução da média da produção ao longo dos anos. Como é possível observar, após o período de tratamento, definido como o ano de 2002, houve um grande salto na produção de soja, milho e cana de açúcar por hectare de AMC avaliada. Enquanto as demais variáveis apresentaram um crescimento menos expressivo após o período de tratamento, acompanhando a tendência de crescimento dos períodos anteriores. Vale destacar que a produção média de bovinos e suínos, mensurada em efetivo ou cabeças, foi multiplicada por 1.000 para facilitar a visualização e interpretação dos resultados; ou seja, por exemplo, para o período 6, o efetivo bovino foi de 0,084 cabeças de gado por hectare de AMC.

Tabela 5: Evolução da produção média por tipo produto agropecuário

Evolução da Produção Agropecuária Média		**Soja**	**Milho**	**Arroz**	**Cana**	**Bovinos**	**Suinos**
unidade		quilogramas / hectare de AMC	quilogramas / hectare de AMC	quilogramas / hectare de AMC	quilogramas / hectare de AMC	1.000 x cabeças / hectare de AMC	1.000 x cabeças / hectare de AMC
Anos	**Período**						
1975-1980	1	8,14	16,24	4,07	200,53	69,70	27,44
1981-1985	2	8,82	19,23	3,91	315,06	72,67	25,21
1986-1995	3	8,96	21,63	4,29	376,29	78,13	25,16
1996-2001	4	12,03	23,49	3,42	436,62	78,20	25,72
2002-2006	5	15,92	27,34	4,09	531,42	83,02	29,13
2007-2017	6	23,30	33,94	4,21	793,22	84,40	34,22

Assim como apresentado anteriormente, a variável $Y_{i,t}$ representa a produção agrícola para cada AMC nos períodos destacados na Tabela 5. Enquanto a variável $U_{i,t}$ é uma *dummy* que recebe o valor de 1 caso a AMC tenha recebido algum curso de ciências agrícolas a partir do ano de

2002, período definido como início do tratamento, portanto, os períodos 5 e 6 na tabela acima são definidos como pós-tratamento. Os coeficientes α_i e γ_t capturam os efeitos fixos da AMC e do tempo, respectivamente. Sendo assim, o coeficiente β retornará o impacto da presença de universidades na produção agropecuária, sob a mesma estratégia de identificação e premissas das especificações apresentadas no capítulo 4.

$$Y_{i,t} = \alpha_i + \gamma_t + \beta_1 * \mathrm{U_{i,t}} + \epsilon_{i,t} \quad (2)$$

Tabela 6: Impacto de cursos de ciências agrícolas na produção agropecuária em nível nacional

Produção Agropecuária - Nível Nacional	Soja (quilograma/hectare)	Milho (quilograma/hectare)	Arroz (quilograma/hectare)	Cana-de-açúcar (quilograma/hectare)	Gado (1.000 x cabeças/hectare) [1]	Suínos (1.000 x cabeças/hectare) [1]
Presença de Cursos de Ciências Agrícolas	4,8325 **	-0,7343	0,4005	-85,5404 **	1,5091	1,7998
Desvio Padrão	(2,08)	(2,89)	(1,01)	(38,52)	(1,26)	(3,22)
Intervalo de Confiança (95%)	[0,74 8,92]	[-63,91 49,23]	[-1,56 2,36]	[-161,03 -10,05]	[-0,95 3,97]	[-4,51 8,11]
p-valor para tendências paralelas	0,18	0,58	0,61	0,24	0,28	0,74
Média da variável no grupo tratado no período anterior ao tratamento	13,05	17,89	5,29	82,84	56,82	27,26
Número de Observações	22.686	22.686	22.686	22.686	22.686	22.578
Número de AMCs	3.781	3.781	3.781	3.781	3.781	3.763
Número de AMCs Tratadas	145	145	145	145	145	145
Efeito fixo de município	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Efeito fixo de período	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Controles	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Notas: A tabela reporta a estimativa da especificação 2 apresentada no capítulo 6. As variáveis agrícolas de interesse estão nas colunas e as covariadas utilizadas no *propensity score* foram: O PIB per capita em R$ por habitante em 2000, a densidade demográfica em habitantes por km2 em 2000, a taxa de urbanização, a taxa de casas com energia elétrica, a taxa de atividade econômica, a taxa de envelhecimento da população, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino fundamental completo, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino médio completo e a porcentagem de pessoas com 25 anos ou mais com ensino superior completo. As características das fazendas como o tamanho médio das fazendas, número de fazendas por município, número de fazendas que receberam orientação técnica por hectare, número de fazendas com acesso a energia elétrica por hectare, área total das fazendas, área de lavouras, área de pastos e área de matas. Foram consideradas como covariadas a própria variável de produção nos períodos anteriores ao tratamento. As AMCs foram clusterizadas com base em suas mesoregiões. *** p < 0,01 , ** p < 0,05 e * p < 0,01. [1] Para facilitar a visualização dos resultados, o efetivo bovino e suíno foi multiplicado por 1.000.

Os resultados obtidos acima evidenciam um crescimento estatisticamente significante da produção de soja de 4,83 quilogramas para cada hectare de AMC tratada, um incremento de 37% em relação a produção nessas áreas no período anterior ao tratamento. Por outro lado, uma desaceleração na produção de cana de açúcar de 85,54 quilograma para cada hectare de AMC tratada, praticamente zerando a produção desse tipo de lavoura nas áreas tratadas. Uma possível hipótese para isso é que a presença das universidades viabilizou a substituição para uma cultura mais intensiva em desenvolvimento tecnológico, no caso a soja, em detrimento de uma cultura com ciclos de produção mais longos e mais tradicional, representado pela cana-de-açúcar. Importante lembrar, conforme observado na tabela 5, a produção média de cana-de-açúcar cresceu significativamente em todo o período analisado, isto é, não existia uma tendência nacional de substituição de soja por cana, o que reforça a presença de universidade como um fator relevante para a adoção da soja nas áreas tratadas.

Para testar essa hipótese, foram compilados os dados de potencial agronômico do FAO/GAEZ do solo brasileiro para a soja, sob regime de alto uso de insumos e tecnologia.[14] O potencial agronômico do solo é uma estimativa que leva em consideração as características geológicas e climáticas de determinada região para estimar, nesse caso da soja, a maior produtividade possível em quilogramas por hectare, podendo variar conforme a intensidade de uso de tecnologia no local. Sendo assim, a tabela abaixo foi obtida a partir da especificação 2, porém considerando apenas as AMCs localizadas no terceiro quartil do potencial agronômico de soja, sob regime de alto uso de tecnologia e com produção de cana-de-açúcar. Alternativamente, a mesma especificação foi estimada para as AMCs localizadas no primeiro quartil, com o objetivo de comparar os efeitos em áreas com diferentes potenciais agronômicos.

Tabela 7: Impacto de cursos de ciências agrícolas na produção agropecuária em AMCs com alto potencial agronômico de soja com produção de cana-de-açúcar antes do tratamento

Produção Agropecuária - Alto potencial agronômico em regime tecnológico	Soja (quilograma/hectare)	Milho (quilograma/hectare)	Arroz (quilograma/hectare)	Cana-de-açúcar (quilograma/hectare)	Gado (1.000 x cabeças/hectare) [1]	Suínos (1.000 x cabeças/hectare) [1]
Painel A. Terceiro quartil alto potencial agronômico						
Presença de Cursos de Ciências Agrícolas	17,4948 ***	-14,7527 *	-1,8216	-21,2664	-2,9038	8,7924
Desvio Padrão	(3,89)	(8,16)	(1,3)	(61,13)	(4,59)	(10,86)
Intervalo de Confiança (95%)	[9,87 25,12]	[-30,74 1,23]	[-4,36 0,72]	[-141,08 98,55]	[-11,9 6,09]	[-12,5 30,08]
p-valor para tendências paralelas	0,38	0,89	0,33	0,79	0,16	0,35
Média da variável no grupo tratado no período anterior ao tratamento	50,96	51,81	8,96	53,05	78,93	71,52
Número de Observações	4.674	4.674	4.674	4.674	4.674	4.674
Número de AMCs	779	779	779	779	779	779
Número de AMCs Tratadas	29	29	29	29	29	29
Painel B. Primeiro quartil alto potencial agronomico						
Presença de Cursos de Ciências Agrícolas	1,9432	2,9635	0,294	-6,3907	1,9275	-0,6628
Desvio Padrão	(1,56)	(2,83)	(0,46)	(15,99)	(3,06)	(1,43)
Intervalo de Confiança (95%)	[-1,11 4,99]	[-2,59 8,52]	[-0,61 1,2]	[-37,75 24,97]	[-4,06 7,92]	[-3,47 2,15]
p-valor para tendências paralelas	0,63	0,48	0,20	0,72	0,34	0,33
Média da variável no grupo tratado no período anterior ao tratamento	4,26	15,99	2,16	7,90	27,84	13,84
Número de Observações	3.186	3.186	3.186	3.186	3.186	3.186
Número de AMCs	531	531	531	531	531	531
Número de AMCs Tratadas	37	37	37	37	37	37
Efeito fixo de município	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Efeito fixo de período	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Controles	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Notas: A tabela reporta a estimativa da especificação 2 apresentada no capítulo 6. As variáveis agrícolas de interesse estão nas colunas e as covariadas utilizadas no *propensity score* foram: O PIB per capita em R$ por habitante em 2000, a densidade demográfica em habitantes por km2 em 2000, a taxa de urbanização, a taxa de casas com energia elétrica, a taxa de atividade econômica, a taxa de envelhecimento da população, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino fundamental completo, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino médio completo e a porcentagem de pessoas com 25 anos ou mais com ensino superior completo. As características das fazendas como o tamanho médio das fazendas, número de fazendas por município, número de fazendas que receberam orientação técnica por hectare, número de fazendas com acesso a energia elétrica por hectare, área total das fazendas, área de lavouras, área de pastos e área de matas. Foram consideradas como covariadas a própria variável de produção nos períodos anteriores ao tratamento. As AMCs foram clusterizadas com base em suas mesoregiões. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$ e * $p < 0,01$. [1].Para facilitar a visualização dos resultados, o efetivo bovino e suíno foi multiplicado por 1.000.

Os resultados reforçam a hipótese de que a presença de universidades acelerou a produção de soja em locais com alto potencial produtivo sob regime tecnológico, a variação positiva de 17,4

[14] Os dados estão disponíveis em formato *raster* em https://gaez.fao.org/ , foram vetorizados e agrupados por AMC compondo a base de dados. Consulta realizada em 15.12.2021

quilogramas para cada hectare de AMC representa um aumento de 34,3% na produção das áreas tratadas antes da entrada das universidades. Ao mesmo tempo, diferentemente do observado na estimativa anterior, foi encontrada uma redução da produção de milho nessas áreas, porém sem uma tendência de substituição completa como observado no caso da cana-de-açúcar. Uma possível explicação para isso pode ser a introdução de um método de cultivo que combine a produção de soja e milho, facilitado pela presença das universidades nesses locais. Por outro lado, para as AMCs localizadas no primeiro quartil de potencial agronômico não foram encontradas evidências da influência dos cursos adicionados.

As variações no tipo de lavoura observadas acima poderiam impactar práticas agrícolas e a adoção de tecnologias pelas fazendas, portanto, foi estimado o efeito do tratamento para os indicadores: taxa de adoção de adubo, taxa de adoção de calcário e taxa de práticas de conservação do solo, todos esses indicadores obtidos a partir da relação entre os informantes que afirmam utilizar os métodos acima e o número total de informantes. No entanto, os resultados obtidos foram próximo de zero e estatisticamente não significantes[15].

Como observado anteriormente houve uma alteração no tipo de lavoura produzida nas áreas tratadas, da cana-de-açúcar para soja, porém sem alterações substanciais no perfil de uso da terra, nas áreas totais das fazendas e nas práticas agrícolas, representadas pelos indicadores acima. Uma possível explicação para isso é que ambas as lavouras possuem perfis similares de uso de terra e práticas agrícolas. Por outro lado, o tempo para que o perfil de uso da terra e essas práticas sofram variações pode ser superior ao período observado nesse estudo. Como no caso de Kantor e Whalley, 2013, que avaliam o impacto da entrada de estações de experimentação na produtividade agrícola, cujo pico da produtividade foi atingido após 20 a 30 anos da implementação da política. Portanto, seria razoável avaliar a evolução das AMCs tratadas por períodos mais longos.

Além disso, Assunção, Bragança e Hemsley, 2013, apontam que a heterogeneidade do solo brasileiro é uma grande barreira a adoção de tecnologias e boas práticas, sendo aliviada em situações em que ocorrem interações entre os fazendeiros. A alteração no perfil de produção indica que a presença das universidades exerceu influência na região, seja por meio da difusão do conhecimento ou promovendo a interação entre fazendeiros locais, ainda assim, seria necessária uma melhor caracterização geográfica das AMCs que receberam o tratamento com o objetivo de avaliar se nesse caso a heterogeneidade do solo foi um fator que influenciou tanto no uso da terra como na variação das práticas consideradas por esse estudo. A ausência de efeito

[15] O método utilizado, base de dados e tabela com resultados estão disponíveis no Apêndice III

da adição dos cursos de ensino superior na produção pecuária corrobora com a literatura que evidencia uma maior sensibilidade da pecuária na presença de fazendeiros com ensino fundamental, enquanto o cultivo de grãos apresenta saltos maiores de produtividade quando os estabelecimentos são administrados por fazendeiros com ensino superior completo, diante de uma demanda maior de conhecimento técnico e investimentos desse tipo de cultura.

Por fim, vale destacar que podem existir outras práticas e tecnologias não consideradas nesse estudo, por falta de dados, que poderiam sofrer variações com a entrada das universidades. É o caso do desenvolvimento de tecnologias com menor nível de maturidade, disponibilizados para testes na região, tecnologias associadas a modificação e certificação de sementes de soja ou agricultura de precisão, além de uma possível variação no investimento em equipamentos como semeadeiras, colheitadeiras, sistema de irrigação, entre outros.

7. Considerações finais

Mesmo que os movimentos iniciais de desenvolvimento na direção interior do país, como estabelecimento de novas cidades e construção de estradas, exerçam uma maior pressão ambiental, iniciativas que alavancam a adoção de tecnologia em fazendas podem amenizar a pressão por aumento da produção agrícola ao otimizar o uso da terra, o que foi observado em estudos do CPI, como o caso da eletrificação das fazendas, canais de difusão de tecnologia e o desenvolvimento da tecnologia *per se* no caso das sementes adaptadas da soja. Dessa forma, o debate em torno do impacto do desenvolvimento regional e tecnológico no uso da terra e consequentemente na pressão ambiental, ainda não é um consenso na literatura.

Os resultados obtidos sinalizam que, ao menos no curto e médio prazo, não há uma relação evidente entre o programa de expansão de universidades federais, o uso da terra nas fazendas e a adoção de tecnologia no Brasil. No entanto, no que diz respeito a produção agropecuária, foi possível observar uma tendência de adoção de produção de soja em detrimento da cana em nível nacional e um aumento da produção da soja, acompanhado de redução da produção de milho em áreas com alto potencial agronômico, indicando que a presença de cursos influenciou essas regiões, seja por meio da difusão de conhecimentos técnicos específicos à soja, por promover maior interação entre fazendeiros, ou mesmo por disponibilidade de mão de obra qualificada. Do ponto de vista de pressão ambiental, não foram encontradas evidências de uma relação de causalidade entre a presença das universidades e a variação de áreas de matas nas regiões tratadas. Ainda que tenha sido identificado um aumento relativamente baixo das áreas das fazendas, a estimativa do efeito do tratamento no desmatamento no bioma da Amazônia Legal sugere que não houve variação do desmatamento diante da presença desses cursos.

Embora não existam evidências de que houve aumento da pressão ambiental nas áreas tratadas, especialmente nas regiões de fronteiras agrícolas e na Amazônia Legal, é possível utilizar os dados disponibilizados pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite do Inpe, ou PRODES, para estimar a especificação apresentada para todos os biomas do país de forma obter o efeito desse tratamento a nível nacional. Um exercício complementar poderia considerar o efeito da adição de cursos das áreas de engenharia ambiental e florestal como *dummies* de tratamento.

Além disso, existe espaço para avaliar em pesquisas futuras o impacto nas áreas colhidas e na produtividade das áreas tratadas, bem como, estimar o efeito de outros fatores que poderiam explicar a maior variação da produção de soja, como por exemplo, a maior quantidade de equipamentos como semeadeiras, colheitadeiras ou aragem, a participação de áreas que

praticam o sistema de plantio direto ou utilizam sementes certificadas e modificadas, que não foram utilizadas no presente estudo por conta da disponibilidade limitada de dados, a taxa de pessoas com ensino superior completo, bem como o grau de escolaridade dos fazendeiros.

Sobre o impacto do investimento em educação, esse estudo avalia se a presença de universidades federais em determinada AMC afeta ou não afeta determinadas variáveis agrícolas, porém, a quantidade de cursos por habitante ou a proximidade dos cursos poderiam ser outras formas de avaliar o impacto da presença desses cursos. Ademais, outros programas federais afetaram universidades nos anos 2000, como os programas Prouni e Fies que viabilizaram a expansão de universidades particulares por todo o país. Nesse caso, um outro mecanismo poderia ser avaliado, o da maior disponibilidade de mão de obra qualificada, haja visto sua importância para lavouras capital intensivo conforme observado na literatura anteriormente.

Referências Bibliográficas

Andersen, L. E. (1996). The Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon. *The Journal of Environment & Development*, *5*(3), 309–328. http://www.jstor.org/stable/44319228

Assunção, J., & Bragança, A. (2015). Technological Change and Deforestation : Evidence from the Brazilian Soybean Revolution. *Climate Policy Initiative -Working Paper*.

Assunção, J., Bragança, A., & Hemsley, P. (2013). High Productivity Agricultural Techniques in Brazil : Adoption Barriers and Potential Solutions. *Climate Policy Initiative*, *October*.

Assunção, J., Gandour, C., Rocha, R., & Rocha, R. (2020). The Effect of Rural Credit on Deforestation: Evidence from the Brazilian Amazon. *Economic Journal*, *130*(626), 290–330. https://doi.org/10.1093/ej/uez060

Assunção, J., Lipscomb, M., Mobarak, A. M., & Szerman, D. (2016). Agricultural productivity and deforestation in Brazil. *Climate Policy Initiative*, unpublished manuscript.

Bala, G., Caldeira, K., Wickett, M., Phillips, T. J., Lobell, D. B., Delire, C., & Mirin, A. (2007). Combined climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *104*(16), 6550–6555. https://doi.org/10.1073/pnas.0608998104

Bandiera, O., & Rasul, I. (2006). Social Networks and Technology Adoption in Northern Mozambique*. *The Economic Journal*, *116*(514), 869–902. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2006.01115.x

Bloom, N., Lemos, R., Sadun, R., & van Reenen, J. (2020). Healthy business? Managerial education and management in health care. *Review of Economics and Statistics*, *102*(3), 506–517. https://doi.org/10.1162/rest_a_00847

Bragança, A. (2016). The causes and consequences of agricultural expansion in Matopiba. *Working Paper - CPI*.

Callaway, B., & Sant'Anna, P. H. C. (2020). Difference-in-Differences with multiple time periods. *Journal of Econometrics*, 1–45. https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.12.001

Casqueiro, M. L., Irffi, G., & Silva, C. da C. da. (2020). A expansão das Universidades Federais e os seus efeitos de curto prazo sobre os Indicadores Municipais TT - The expansion of Federal Universities and their short-term effects on Municipal Indicators. *Avaliação: Revista Da Avaliação Da Educação Superior (Campinas)*, *25*(1), 155–177. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-40772020000100155&lang=en

Castro, C. N., & Pereira, C. N. (2017). Agricultura familiar, assistência técnica e extensão rural

e a política nacional de Ater. *Texto Para Discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada*, *1*, 48. http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8114%0Ahttp://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8114/1/td_2343.PDF

Castro, C. N. de. (2016). Pesquisa Agropecuária Pública Brasileira: Histórico E Perspectivas. *IPEA - Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, *15*, 45–52. http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7104/1/BRU_n15_Pesquisa.pdf

Conley, T. G., & Udry, C. R. (2000). *Learning About a New Technology : Pineapple in Ghana*.

CPI. (2013). Production & Protection: A First Look at Key Challenges in Brazil. *Climate Policy Initiative -Núcleo de Avaliação de Políticas Climáticas PUC-Rio*, *December*, 87. http://climatepolicyinitiative.org/publication/production-protection-a-first-look-at-key-challenges-in-brazil/

Ehrl, P. (2017). Minimum comparable areas for the period 1872–2010: An aggregation of Brazilian municipalities. *Estudos Economicos*, *47*(1), 215–229. https://doi.org/10.1590/0101-416147182phe

Ewers, R. M., Laurance, W. F., & Souza, C. M. (2008). Temporal fluctuations in Amazonian deforestation rates. *Environmental Conservation*, *35*(4), 303–310. https://doi.org/DOI: 10.1017/S0376892908005122

FAO. (2020). Global Forest Resources Assessment. In *Reforming China's Healthcare System*. https://doi.org/10.4324/9781315184487-1

FAO and UNEP. (2020). The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. In *Turning Point in Timber Construction*. https://doi.org/10.1515/9783035608632-002

Foster, A. D., & Rosenzweig, M. R. (2010). Microeconomics of technology adoption. *Annual Review of Economics*, *2*(January), 395–424. https://doi.org/10.1146/annurev.economics.102308.124433

Hargrave, J., & Kis-Katos, K. (2013). Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon: A Panel Data Analysis for the 2000s. *Environmental and Resource Economics*, *54*(4), 471–494. https://doi.org/10.1007/s10640-012-9610-2

Hausman, N. (2012). University Innovation, Local Economic Growth, and Entrepreneurship. *U.S. Census Bureau, Center for Economic Studies Discussion Paper (CES 12-10)*. https://doi.org/10.2139/ssrn.2097842

Kantor, S., & Whalley, A. (2013). *Research and Regional Development : Evidence From*

American Agriculture.

Latawiec, A. E., Strassburg, B. B. N., Silva, D., Alves-Pinto, H. N., Feltran-Barbieri, R., Castro, A., Iribarrem, A., Rangel, M. C., Kalif, K. A. B., Gardner, T., & Beduschi, F. (2017). Improving land management in Brazil: A perspective from producers. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *240*, 276–286. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.043

Levin, H. M., Jamison, T., & Lau, L. I. (1983). Farmer Education and Farm Efficiency. *Journal of Policy Analysis and Management*, *2*(2), 304. https://doi.org/10.2307/3323296

Munshi, K. (2004). Social learning in a heterogeneous population: technology diffusion in the Indian Green Revolution. *Journal of Development Economics*, *73*(1), 185–213. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2003.03.003

Niquito, T. W., Ribeiro, F. G., & Portugal, M. S. (2018). Impacto Da Criação Das Novas Universidades Federais Sobre As Economias Locais. *Planejamento e Políticas Públicas (PPP)*, *51*, 367–394. http://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/839

Paltasingh, K. R., & Goyari, P. (2018). Impact of farmer education on farm productivity under varying technologies: case of paddy growers in India. *Agricultural and Food Economics*, *6*(1). https://doi.org/10.1186/s40100-018-0101-9

Pfaff, A. S. P. (1999). What Drives Deforestation in the Brazilian Amazon? *Journal of Environmental Economics and Management*, *37*(1), 26–43. https://doi.org/10.1006/jeem.1998.1056

Reimers, M., & Klasen, S. (2013). Revisiting the role of education for agricultural productivity. *American Journal of Agricultural Economics*, *95*(1), 131–152. https://doi.org/10.1093/ajae/aas118

Rosenzweig, M. R., & Foster, A. D. (1995). *Learning by Doing and Learning from Others: Human Capital and Technical Change in Agriculture*.

Sant'Anna, P. H. C., & Zhao, J. (2020). Doubly robust difference-in-differences estimators. *Journal of Econometrics*, *219*(1), 101–122. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.06.003

Schultz, T. W. (1972). *Knowledge , Agriculture and Welfare*. *2*(4), 361–368.

Sears, L., Caparelli, J., Lee, C., Pan, D., Strandberg, G., Vuu, L., & Lin Lawell, C.-Y. C. (2018). Jevons' Paradox and Efficient Irrigation Technology. In *Sustainability* (Vol. 10, Issue 5). https://doi.org/10.3390/su10051590

Sediyama, C. S., Carneiro, J. E. de S., Fritsche-Neto, R., Sediyama, T., Barbosa, M. H. P., Galvão, J. C. C., & Souza, M. A. de. (2012). Contribution of the universities to the

development of field crop cultivars. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, *12*(spe), 121–130. https://doi.org/10.1590/s1984-70332012000500013

Strassburg, B. B. N., Latawiec, A. E., Barioni, L. G., Nobre, C. A., da Silva, V. P., Valentim, J. F., Vianna, M., & Assad, E. D. (2014). When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Global Environmental Change*, *28*(1), 84–97. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.001

Toivanen, O., & Vaananen, L. (2015). Education and Invention. *Review of Economics and Statistics*, *98*. https://doi.org/10.1162/REST_a_00520

Tol, R. S. J. (2009). The economic effects of climate change. *Journal of Economic Perspectives*, *23*(2), 29–51. https://doi.org/10.1257/jep.23.2.29

Valero, A., & Van Reenen, J. (2019). The economic impact of universities: Evidence from across the globe. *Economics of Education Review*, *68*(January 2018), 53–67. https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2018.09.001

Vicente, J. R. (2002). Adoção de Tecnologia e Eficiência na Produção Agrícola. *Série Discussão Apta*, *2*, 151.

Vinhais, H. E. F. (2013). Estudo sobre o impacto da expansão das universidades federais no Brasil. *Tese (Doutorado Em Teoria Econômica) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Doi:10.11606/T.12.2013.Tde-20012014-152929. Acesso Em: 2021-08-30.*

Apêndice I: Avaliação do impacto da presença de universidades federais no desmatamento na Amazônia Legal

Os dados de desmatamento utilizados são gerados pelo acompanhamento de imagens de satélite do **Prodes/Inpe** da região Amazônia Legal por município. Os dados são disponibilizados desde os anos 2000 e contabilizam a área total desmatada em determinado ano. Com essa informação foi possível obter a evolução da **área desmatada em relação a área da AMC (*share* desmatamento)**, a partir do mesmo método de agrupamento de municípios mencionado anteriormente. Para obter os resultados apresentados abaixo, foram utilizados os anos de 2000 a 2002 como períodos antes do tratamento e os anos de 2006 e 2017 como períodos após o tratamento, o método empírico e premissas de identificação é o mesmo apresentado no capítulo 4 seguido da especificação (1).

Como é possível observar, as áreas tratadas apresentam uma variação próxima de zero e estatisticamente nula, indicando não existir relação entre a adição de cursos de ciências agrícolas de universidades federais e o desmatamento na região da Amazônia Legal. Tal resultado corrobora com as conclusões destacadas anteriormente sobre o impacto da presença de universidades federais no perfil de uso da terra, no tamanho das fazendas e na pressão ambiental exercida fora das mesmas.

Tabela 9: Variação da área desmatada em relação a área total das AMCs na Amazônia legal.

Desmatamento - Amazônia Legal	Área desmatada / Área total AMC
Presença de Cursos de Ciências Agrícolas	0,0014
Desvio Padrão	(0,0038)
Intervalo de Confiança (95%)	[-0,006 0,0088]
p-valor para tendências paralelas	0,48
Média da variável no grupo tratado no período anterior ao tratamento	0,30
Número de Observações	1.140
Número de AMCs	228
Número de AMCs Tratadas	29
Efeito fixo de município	Sim
Efeito fixo de período	Sim
Controles	Sim

Notas: A tabela reporta a estimativa da especificação 1 apresentada no capítulo 4. As variáveis agrícolas de interesse estão nas colunas e as covariadas utilizadas no *propensity score* foram: O PIB per capita em R$ por habitante em 2000, a densidade demográfica em habitantes por km2 em 2000, a taxa de urbanização, a taxa de casas com energia elétrica, a taxa de atividade econômica, a taxa de envelhecimento da população, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino fundamental completo, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino médio completo e a porcentagem de pessoas com 25 anos ou mais com ensino superior completo. As características das fazendas como o tamanho médio das fazendas, número de fazendas por município, número de fazendas que receberam orientação técnica por hectare, número de fazendas com acesso a energia elétrica por hectare, área total das fazendas, área de lavouras, área de pastos e área de matas. As AMCs foram clusterizadas com base em suas mesoregiões. *** p < 0,01 ** p < 0,05 * p < 0,01

Apêndice II: Heterogeneidades para o Uso da Terra

Uso da Terra – Tamanho da fazenda

Para avaliar se a presença de cursos de ciências agrícolas em AMCs tem efeito sob fazendas de diferentes tamanhos, o tamanho médio das fazendas foi obtido por AMC, utilizando a área total das fazendas e o número total de fazendas por AMC, disponível no Censo Agropecuário de 1995, última pesquisa disponível antes do período de tratamento. Dessa forma, os resultados apresentados na tabela 5 foram obtidos considerando as AMCs cujo tamanho médio da fazenda encontra-se abaixo da mediana da amostra e a partir da especificação apresentada no capítulo anterior representada pela equação (1). Dentro desse critério os estabelecimentos com área menor do que 46,64 hectares foram considerados como pequenas e médias fazendas, enquanto acima da mediana, grandes fazendas.

Tabela 10: Efeito do tratamento considerando as AMCs com predominância de pequenas fazendas - Uso da terra em relação a área total da AMC

Uso da Terra - Tamanho da Fazenda	share área total fazendas / área total AMC	share área de lavouras / área total AMC	share área de pastos / área total AMC	share área de matas / área total AMC
Painel A. Pequenas e Médias Fazendas				
Presença de Cursos de Ciências Agrícolas	0,0128	-0,0004	0,0133	0,001
Desvio Padrão	(0,0216)	(0,0164)	(0,0091)	(0,0063)
Intervalo de Confiança (95%)	[-0,0296 0,0552]	[-0,0325 0,0317]	[-0,0046 0,0311]	[-0,0114 0,0135]
p-valor para tendências paralelas	0,21	0,98	0,61	0,83
Média da variável no grupo tratado no período anterior ao tratamento	0,50	0,19	0,21	0,10
Número de Observações	9.475	9.475	9.475	9.475
Número de AMCs	1.895	1.895	1.895	1.895
Número de AMCs Tratadas	64	64	64	64
Painel B. Grandes Fazendas				
Presença de Cursos de Ciências Agrícolas	0,0298 *	0,011	-0,0016	0,0144
Desvio Padrão	(0,008)	(0,008)	(0,0105)	(0,0089)
Intervalo de Confiança (95%)	[-0,0046 0,0266]	[-0,0046 0,0266]	[-0,0222 0,019]	[-0,0031 0,0318]
p-valor para tendências paralelas	0,7176	0,7176	0,45572	0,78292
Média da variável no grupo tratado no período anterior ao tratamento	0,59	0,09	0,37	0,12
Número de Observações	15.290	15.290	15.290	15.290
Número de AMCs	3.058	3.058	3.058	3.058
Número de AMCs Tratadas	81	81	81	81
Efeito fixo de município	Sim	Sim	Sim	Sim
Efeito fixo de período	Sim	Sim	Sim	Sim
Controles	Sim	Sim	Sim	Sim

Notas: A tabela reporta a estimativa da especificação 1 apresentada no capítulo 4.1. As variáveis agrícolas de interesse estão nas colunas e as covariadas utilizadas no *propensity score* foram: O PIB per capita em R$ por habitante em 2000, a densidade demográfica em habitantes por km2 em 2000, a taxa de urbanização, a taxa de casas com energia elétrica, a taxa de atividade econômica, a taxa de envelhecimento da população, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino fundamental completo, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino médio completo e a porcentagem de pessoas com 25 anos ou mais com ensino superior completo. As características das fazendas como o tamanho médio das fazendas, número de fazendas por município, número de fazendas que receberam orientação técnica por hectare, número de fazendas com acesso a energia elétrica por hectare, área total das fazendas, área de lavouras, área de pastos e área de matas. As AMCs foram clusterizadas com base em suas mesoregiões. *** p < 0,01 ** p < 0,05 * p < 0,01

Em consonância com os obtidos anteriormente, não foram obtidos resultados estatisticamente significantes para a hipótese de que pequenas e médias fazendas poderiam sofrer alterações no uso da terra na presença de cursos de ciências agrícolas. A mesma especificação foi estimada para um cenário alternativo, Painel B, em que grandes fazendas poderiam se beneficiar do tratamento. Nessa estimação obteve-se resultado estatisticamente significante com 10% de confiança para um incremento de 2,98% nas áreas totais das fazendas em relação as AMCs o que pode ter impactado na pressão ambiental das regiões que receberam o tratamento e possuem grandes fazendas, para confirmar essa hipótese seria necessário obter dados de desmatamento nos municípios em que existem grandes áreas de fazendas. Além disso, nota-se que, apesar de um nível de significância ligeiramente acima de 10%, houve um incremento nas áreas de matas nas áreas de grandes fazendas de 1,44%, o que representaria um aumento de 12% nas áreas de matas nesses estabelecimentos. Se considerar a área média das AMCs em que se encontram grandes fazendas, o incremento de 1,44% nas áreas de matas poderia ser de 2 mil hectares por AMC.

Uso da Terra – Orientação técnica

De acordo com os dados dos últimos três Censos Agropecuários a taxa de fazendas que receberam orientação técnica foi em média de 29% nos municípios avaliados. Segundo a pesquisa, a orientação técnica é considerada uma assistência prestada aos fazendeiros por profissionais habilitados com diferentes formações nas áreas de ciências agrícolas. A origem desse serviço pode ser do próprio governo na figura de instituições como Embrapa, universidades, secretarias de agricultura ou outras instituições como cooperativas, pessoas jurídicas, ONGs, dentre outras. Assim, um *confounding* em áreas que já são beneficiadas pela presença assistência técnica pode ter gerado viés nos resultados apresentados anteriormente. Com o objetivo de contornar esse provável viés de seleção, a tabela 5 destaca os resultados para a especificação apresentada no capítulo 4 considerando as AMCs que possuem taxa de orientação técnica abaixo da mediana, que é de 20,62%. Inicialmente cabe destacar a grande diferença entre as áreas totais de fazendas e o perfil de uso da terra em regiões com baixa e média taxa de orientação técnica e as áreas de fazendas em AMCs com alta taxa de orientação técnica, ilustrados no Painel A e B da tabela abaixo (Média da variável agrícola no grupo tratado no período anterior ao tratamento).

Ao observar o Painel A, é possível notar um coeficiente estatisticamente significante a 5% e com impacto de 1,85% nas AMCs que receberam cursos de ciências agrícolas comparando com

as AMCs que não receberam esse tratamento. A área total das AMCs do grupo controle nessa análise era de 73 mil hectares. Então, uma variação positiva de 1,85% nas áreas de matas representa 1.351 hectares a mais de matas nas AMCs que receberam o tratamento ou um incremento de 15% nas áreas de matas nas fazendas dessas áreas tratadas.

Os resultados podem trazer evidências do sucesso da política de interiorização das universidades federais indicando que adição de cursos de ensino superior pode ter suprido um *gap* das fazendas em municípios que careciam de orientação técnica, além de exercer influência no uso da terra em um sentido ambientalmente favorável.

Além disso, no Painel B também é possível observar uma variação positiva nas áreas de pastos de 1,89% com nível de significância de 5% sem alterações no perfil de uso da terra ou na área de fazendas, o que poderia trazer evidências de um melhor aproveitamento das áreas de pastos das fazendas. Ao comparar por diferença as variações do uso da terra entre baixa assistência técnica e alta assistência técnica é possível observar que as áreas que receberam universidades e possuíam baixa assistência técnica apresentaram um crescimento das áreas de matas em detrimento das áreas de pastos, sem variações significantes para as áreas de lavouras.

Tabela 11: Efeito do tratamento com diferentes níveis de orientação técnica - Uso da terra em relação a área total da AMC

Uso da Terra - Taxa de Orientação Técnica	share área total fazendas / área total AMC	share área de lavouras / área total AMC	share área de pastos / área total AMC	share área de matas / área total AMC
Painel A. Baixa a média taxa de orientação				
Presença de Cursos de Ciências Agrícolas	0,028	0,0072	0,0002	0,0185 **
Desvio Padrão	(0,0183)	(0,0111)	(0,0106)	(0,0087)
Intervalo de Confiança (95%)	[-0,0079 0,0638]	[-0,0144 0,0289]	[-0,0207 0,0211]	[0,0013 0,0356]
p-valor para tendências paralelas	0,82	0,43	0,87	0,60
Média da variável no grupo tratado no período anterior ao tratamento	0,42	0,08	0,23	0,12
Número de Observações	9.490	9.490	9.490	9.490
Número de AMCs	1.898	1.898	1.898	1.898
Número de AMCs Tratadas	77	77	77	77
Painel B. Alta taxa de orientação				
Presença de Cursos de Ciências Agrícolas	0,0208	0,0053	0,0189 **	-0,0023
Desvio Padrão	(0,0116)	(0,0116)	(0,0096)	(0,0059)
Intervalo de Confiança (95%)	[-0,0175 0,0281]	[-0,0175 0,0281]	[0,0002 0,0377]	[-0,0139 0,0094]
p-valor para tendências paralelas	0,88	0,88	0,70	0,52
Média da variável no grupo tratado no período anterior ao tratamento	0,68	0,20	0,38	0,11
Número de Observações	9.440	9.440	9.440	9.440
Número de AMCs	1.888	1.888	1.888	1.888
Número de AMCs Tratadas	68	68	68	68
Efeito fixo de município	Sim	Sim	Sim	Sim
Efeito fixo de período	Sim	Sim	Sim	Sim
Controles	Sim	Sim	Sim	Sim

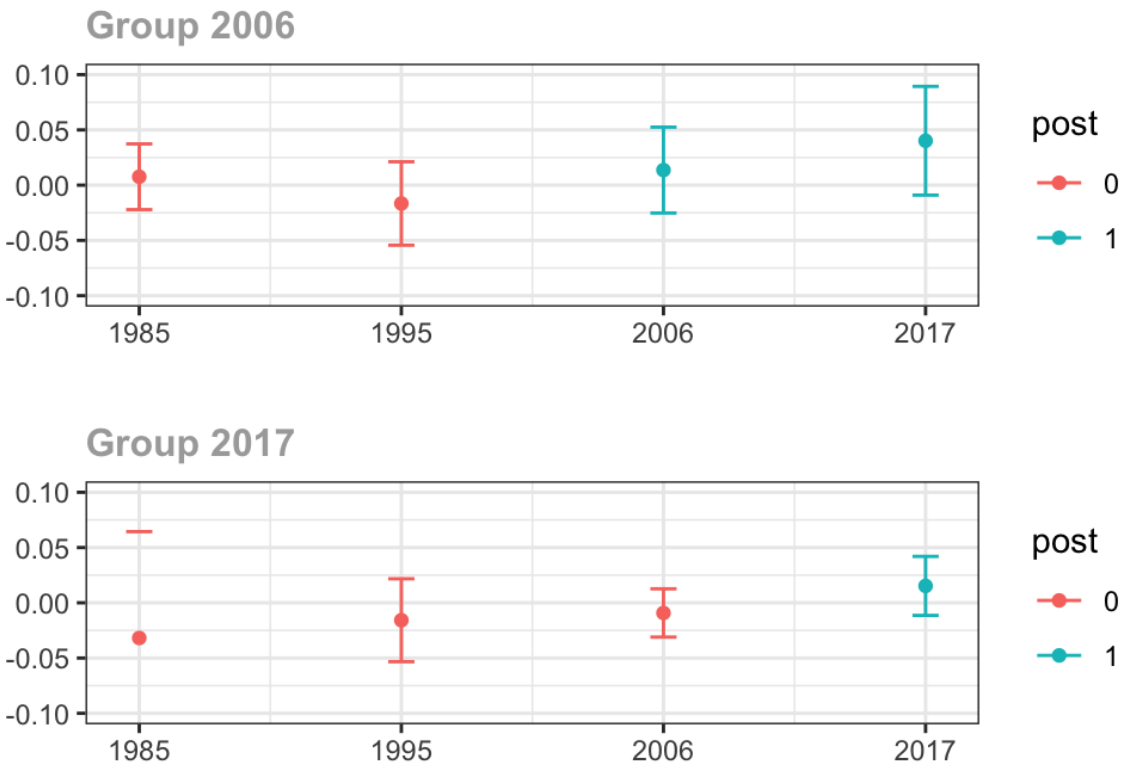
Notas: A tabela reporta a estimativa da especificação 1 apresentada no capítulo 4.1. As variáveis agrícolas de interesse estão nas colunas e as covariadas utilizadas no *propensity score* foram: O PIB per capita em R$ por habitante em 2000, a densidade demográfica em habitantes por km2 em 2000, a taxa de urbanização, a taxa de casas com energia elétrica, a taxa de atividade econômica, a taxa de envelhecimento da população, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino fundamental completo, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino médio completo e a porcentagem de pessoas com 25 anos ou mais com ensino superior completo. As características das fazendas como o tamanho médio das fazendas, número de fazendas por município, número de fazendas que receberam orientação técnica por hectare, número de fazendas com acesso a energia elétrica por hectare, área total das fazendas, área de lavouras, área de pastos e área de matas. As AMCs foram clusterizadas com base em suas mesoregiões. *** $p < 0,01$ ** $p < 0,05$ * $p < 0,01$

Com o método proposto por Callaway & Sant'Anna, descrito no capítulo anterior, em que se recomenda agrupar os indivíduos tratados conforme o momento do tratamento de forma a obter heterogeneidade do tratamento nos diferentes grupos tratados, é possível observar a diferença do efeito do tratamento e da variabilidade do mesmo entre os dois grupos definidos nesse estudo, 2006 e 2017.[16] A figura abaixo ilustra o efeito dos dois grupos tratados e traz indícios de que o efeito da adição dos cursos a médio ou longo prazo. As barras vermelhas ilustram o comportamento dos grupos antes do tratamento dentro enquanto o círculo representa o

[16] Ver capítulo 4: A formação de grupos se deu com base nos dois últimos períodos de divulgação do Censo Agropecuário, então, define-se como grupo 2006, as AMCs que receberam cursos entre 2002 e 2006 e grupo 2017, as AMCs que receberam cursos entre 2007 e 2017.

comportamento médio dos indivíduos que compõem esses grupos. As barras azuis indicam o comportam desses mesmos indivíduos em seus respectivos grupos após o tratamento quando comparados ao grupo controle. Ao observar os grupos tratados separadamente, é possível notar que o grupo 2006, formado por AMCs tratadas entre os anos de 2002 e 2006, apresentou no primeiro período após o tratamento um efeito próximo de zero, mas no período seguinte, em 2017, mais de 10 anos após o tratamento teve um impacto positivo e estatisticamente significante enquanto o grupo 2017, formado por AMCs tratadas entre 2007 e 2017, ainda que possua indícios de um sinal positivo do tratamento, não é estatisticamente significante.

Figura 5: Efeito do tratamento em diferentes momentos nos grupos tratados sob a participação de matas das fazendas em relação a área total das AMCs.



Apêndice III: Método, Dados e Resultados para práticas agrícolas

Com o objetivo de avaliar o impacto da adição de cursos de ciências agrícolas na adoção de boas práticas e de tecnologias nas fazendas foram estimados o efeito do tratamento para os indicadores: taxa de adoção de adubo, taxa de adoção de calcário e taxa de práticas de conservação do solo, todos esses indicadores obtidos a partir da relação entre os informantes que afirmam utilizar os métodos acima e o número total de informantes. Os dados utilizados foram do Censo Agropecuário, porém, diferentemente do capítulo em que é estimado o Uso da Terra, por disponibilidade de dados foram utilizados apenas as publicações de 1995, 2006 e 2017 da pesquisa. Essas taxas foram obtidas por meio da relação entre fazendas que informaram que utilizam essas ferramentas e o total de fazendas pesquisadas em nível de municípios e agregadas em AMC conforme descrito anteriormente no capítulo 3.

Sendo assim, a mesma especificação apresentada no capítulo 4 foi estimada para obter o efeito da adição de novos cursos de ciências agrícolas sob a adoção de tecnologias e boas práticas conforme divulgado pelo Censo Agropecuário do IBGE. Dessa maneira, para a equação 2 abaixo $Y_{i,t}$ são as variáveis de interesse, como por exemplo, a taxa de uso de calcário para determinada AMC no ano t, que varia entre 1995, 2006 e 2017.

$$Y_{i,t} = \alpha_i + \gamma_t + \beta_1 * \mathrm{U_{i,t}} + \epsilon_{i,t} \quad (2)$$

A variável $U_{i,t}$ é uma *dummy* que recebe o valor de 1 caso a AMC tenha recebido algum curso de ciências agrícolas a partir do ano de 2002, período definido como início do tratamento. Os coeficientes α_i e γ_t capturam os efeitos fixos da AMC e do tempo, respectivamente. A tabela 12 destaca os resultados obtidos para as variáveis: taxa de uso de adubo, taxa de uso de calcário, taxa de práticas de conservação do solo em nível nacional.

Tabela 12: Efeito do tratamento considerando as AMCs em nível nacional – Taxa de adoção às boas práticas agrícolas

Boas práticas agrícolas - Nivel Nacional	Uso de Adubo (% que utiliza o insumo)	Uso de Calcário (% que utiliza o insumo)	Práticas de Conservação do Solo (% que pratica os métodos)
Presença de Cursos de Ciências Agrícolas	0,0115	-0,0013	-0,0018
Desvio Padrão	(0,01)	(0,01)	(0,02)
Intervalo de Confiança (95%)	[-0,02 0,04]	[-0,02 0,02]	[-0,05 0,04]
p-valor para tendências paralelas	0,73	0,51	0,18744
Média da variável no grupo tratado no período anterior ao tratamento	0,38	0,12	0,14
Número de Observações	14.469	14.469	13.809
Número de AMCs	4.823	4.823	4.603
Número de AMCs Tratadas	107	99	104
Efeito fixo de município	Sim	Sim	Sim
Efeito fixo de período	Sim	Sim	Sim
Controles	Sim	Sim	Sim

Notas: A tabela reporta a estimativa da especificação 2 apresentada no capítulo 6. As variáveis agrícolas de interesse estão nas colunas e as covariadas utilizadas no escore de propensão são O PIB per capita em R$ por habitante em 2000, a densidade demográfica em habitantes por km2 em 2000, a taxa de urbanização, a taxa de casas com água encanada, a taxa de casas com energia elétrica, a taxa de atividade econômica, a taxa de envelhecimento da população, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino fundamental completo, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino médio completo e a porcentagem de pessoas com 25 anos ou mais com ensino superior completo. As características das fazendas: o tamanho médio das fazendas, número de fazendas por município, número de fazendas que receberam orientação técnica por hectare, número de fazendas com acesso a energia elétrica por hectare, taxa de utilização de adubo, calcário e de práticas de conservação do solo, área total das fazendas, área de lavouras, área de pastos e área de matas. As AMCs foram clusterizadas com base em suas mesoregiões. *** p < 0,01 ** p < 0,05 * p < 0,01

Como é possível observar na tabela acima, o efeito da entrada de cursos de ciências agrícolas sob boas práticas é próximo de zero e estatisticamente não significante. Alguns fatores podem justificar os resultados obtidos acima, como já mencionado anteriormente, o tempo para que essas tecnologias sejam adotadas pode ser superior ao período observado nesse estudo, portanto, seria necessário avaliar a evolução das AMCs tratadas por períodos mais longos. Conforme destacado no capítulo 2, a heterogeneidade do solo brasileiro é uma grande barreira a adoção de tecnologias e boas práticas, sendo aliviada em situações em que ocorrem interações entre os fazendeiros. Ainda que a presença de universidades cursos nas regiões tratadas possa incentivar tais interações, seria necessária uma melhor caracterização geográfica das AMCs que receberam o tratamento com o objetivo de avaliar se de fato a heterogeneidade do solo foi um fator que inviabilizou a adoção das tecnologias mapeadas por esse estudo.

Diante dos resultados obtidos para o efeito do tratamento sob o uso da terra e da adoção de tecnologias, é preciso mapear outros fatores que poderiam ter influenciado o perfil de uso da terra com destaque para o aumento da presença de matas em áreas que careciam de assistência técnica. Um dos motivos pode estar associado ao fato de que as tecnologias desenvolvidas pelas universidades partem de um baixo nível de maturidade tecnológica, levam tempo para adoção e ainda mais tempo para que façam parte da pesquisa considerada como referência nesse estudo (o Censo Agropecuário), por exemplo, tecnologias relacionadas ao melhoramento genético e agricultura de precisão poderiam estar em uso nessas áreas em que houve mudança

no perfil de uso da terra, mas não eram tecnologias amplamente estabelecidas nos períodos em que as pesquisas foram conduzidas.

O mecanismo avaliado no presente estudo e validado parcialmente nos resultados apresentados acima é que a presença de universidades federais poderia alterar a forma com que fazendeiros utilizam a terra por meio da interação entre pesquisadores e fazendeiros no curto prazo dada a presença da estrutura da universidade, dos pesquisadores e uma demanda por pesquisa nessa área.

Como observado no capítulo 2 na análise empírica de Kantor e Whalley que avaliam o impacto da entrada de estações de experimentação na produtividade agrícola, o pico da produtividade foi atingido após 20 anos da implementação da política, dessa forma, uma avaliação de médio a longo prazo após a entrada das universidades é necessária para identificar possíveis variações nos resultados obtidos no presente estudo.

A dificuldade de acesso ou de interação entre universidade e meio agrícola também deve ser um fator considerado. Nesse sentido, uma possível extensão do trabalho consiste em avaliar se em AMCs com presença de universidades e a Embrapa, o efeito do tratamento sob as variáveis agrícolas de interesse seria alterado. Vale lembrar que a Embrapa é referência no desenvolvimento e inovação para a área agrícola, também é responsável por coordenar o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária que é formado por universidades, empresas e outras instituições públicas e particulares, por isso, deve ser considerada, além de um executor, um facilitador de práticas que podem influenciar no uso da terra e em demais variáveis agrícolas.

Apêndice IV: Resultados da especificação com o método TWFE

Os resultados abaixo seguem a mesma estratégia de identificação, especificação e premissas para avaliar o efeito da presença de cursos de ensino superior das áreas de ciências agrícolas sob o uso da terra conforme apresentado nos capítulos 4 e 5. Nesse apêndice são apresentados os resultados para o método baseado em *two way fixed effects (*DiD 2x2) em que foi definido o ano de 1995 como o período antes do tratamento e o ano de 2017 como o ano após o tratamento. Os anos foram escolhidos com base na disponibilidade dos dados da pesquisa do Censo Agropecuário, sendo o ano de 1995 imediatamente o último ano antes do início do tratamento, definido como 2002, e o ano de 2017 como o último ano que a pesquisa foi realizada. Foi utilizada a mesma equação (1) apresentada no capítulo 4 bem como o mesmo método de estimação dos coeficientes *doubly robus*t que consiste no uso do *propensity score* para aproximar os grupos controle e tratamento seguido da regressão linear simples para estimar o efeito do tratamento (Sant'Anna & Zhao, 2020). Dessa forma, foram as mesmas covariadas geográficas, socioeconômicas e setoriais foram utilizadas para essa primeira etapa do método. O principal objetivo desse apêndice, além de validar os resultados já apresentados, é avaliar a diferença entre o método TWFE e o método proposto por Callaway & Sant'Anna, em 2020.

A tabela abaixo ilustra os resultados para o DiD 2x2 para o uso da terra em nível nacional e o coeficiente obtido na estimação apresentada no capítulo 5.1. Nesse caso, não houve alteração das conclusões obtidas anteriormente em que se nota um aumento estatisticamente significante nas áreas de fazendas em relação as áreas totais das AMCs. No entanto, há uma diferença de -0,48 p.p em relação ao apresentado no capítulo 5, o que poderia ser explicado por uma maior sensibilidade ou tempo de exposição do grupo 2006 no curto prazo e que não foi observado no cenário em que se estima apenas os períodos antes e após o tratamento, validando as observações feitas pelos autores desse método sobre heterogeneidade de grupos ou períodos de tratamento.

Tabela 13: Efeito do tratamento considerando todas as AMCs do Brasil - Uso da terra em relação a área total da AMC

Uso da Terra - Nível Nacional	share área total fazendas / área total AMC	share área de lavouras / área total AMC	share área de pastos / área total AMC	share área de matas / área total AMC
Presença de Cursos de Ciências Agrícolas	0,0191 *	0,0076	0,0104	0,0088
Desvio Padrão	(0,0102)	(0,0075)	(0,0077)	(0,0071)
Intervalo de Confiança (95%)	[-0,0008 0,0391]	[-0,007 0,0222]	[-0,0048 0,0255]	[-0,0053 0,0228]
Média da variável no grupo tratado no período anterior ao tratamento	0,55	0,13	0,30	0,11
Número de Observações	18.930	18.930	18.930	18.930
Número de AMCs	3.786	3.786	3.786	3.786
Número de AMCs Tratadas	145	145	145	145
Efeito fixo de município	Sim	Sim	Sim	Sim
Efeito fixo de período	Sim	Sim	Sim	Sim
Controles	Sim	Sim	Sim	Sim

Notas: A tabela reporta a estimativa da especificação 1 apresentada no capítulo 4.1 seguindo o método DiD 2x2. As variáveis agrícolas de interesse estão nas colunas e as covariadas utilizadas no *propensity score* foram: O PIB per capita em R$ por habitante em 2000, a densidade demográfica em habitantes por km2 em 2000, a taxa de urbanização, a taxa de casas com energia elétrica, a taxa de atividade econômica, a taxa de envelhecimento da população, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino fundamental completo, a porcentagem de pessoas com 18 anos ou mais com ensino médio completo e a porcentagem de pessoas com 25 anos ou mais com ensino superior completo. As características das fazendas como o tamanho médio das fazendas, número de fazendas por município, número de fazendas que receberam orientação técnica por hectare, número de fazendas com acesso a energia elétrica por hectare, área total das fazendas, área de lavouras, área de pastos e área de matas. As AMCs foram clusterizadas com base em suas mesoregiões. *** $p < 0,01$ ** $p < 0,05$ * $p < 0,01$