

Cadastro Ambiental Rural

impactos sobre desmatamento e a conformidade ambiental dos imóveis rurais

Maio, 2022

EVE
Evidência Express

ENAP

Expediente**Presidente**

Diogo Costa

Diretora-Executiva

Rebeca Loureiro de Brito

Diretora de Altos Estudos

Diana Coutinho

Diretor de Educação Executiva

Rodrigo Torres

Diretor de Desenvolvimento Profissional

Paulo Marques

Diretora de Inovação

Bruna Santos

Diretora de Gestão Interna

Alana Regina Biagi Silva Lisboa

Coordenador Geral de Ciência de Dados

Pedro Masson Sesconetto Souza

Capa e Diagramação

Samyra Lima

Equipe Evidência Express

Imagens

Unsplash

Autoria

Géssica Cardoso Souza

Jaime Macedo Bastos

Breno Salomon Reis

César Augusto Galvão

Willian Adameczyk

O Evidência Express (EvEx) é uma iniciativa da Diretoria de Altos Estudos da Escola Nacional de Administração Pública (Enap) em parceria com a Universidade Federal de Brasília (UnB). A missão do EvEx é melhorar a tomada de decisão do setor público. Para isso a equipe sintetiza, produz e dissemina evidências que possam servir de base para o desenho, monitoramento e avaliação de políticas públicas.

Avaliações completas de políticas públicas são intensivas em tempo e custos. A fim de agilizar esses processos, o EvEx produz relatórios ágeis de evidências para a consolidação do conhecimento disponível e introdução de novos pontos de vista.

Os resultados dos produtos EvEx apoiam tomadores de decisão do setor público federal, subsidiando avaliações Ex Ante, Ex Post ou Análises de Impacto Regulatório. Beneficiam também os gestores públicos subnacionais, pesquisadores, docentes, servidores e demais interessados na sociedade civil.

Os produtos EvEx analisam evidências qualitativas e quantitativas, podendo ser demandados de forma avulsa ou em pacotes, sobre:

- Evolução do problema no Brasil e no mundo;
- Público-alvo de uma política;
- Causas e consequências do problema ou política;
- Soluções existentes para o problema;
- Impactos de intervenções ou políticas públicas.

Para mais informações, consulte nossa página (www.enap.gov.br/pt/servicos/avaliacao-e-organizacao-de-evidencias) ou entre em contato: evidencia.express@enap.gov.br.



Sumário Executivo

- Este relatório apresenta os resultados de uma investigação quantitativa do impacto do Cadastro Ambiental Rural (CAR) sobre a diminuição do desmatamento nos imóveis rurais.
- O método de Diferença em Diferenças para múltiplos períodos, proposto por Callaway e Sant'Anna (2021), foi utilizado para estimar o impacto do CAR sobre o desmatamento no interior dos imóveis rurais.
- O método Generalized Propensity Score (GPS) foi utilizado para estimar uma função dose-resposta que permite verificar a probabilidade de tratamento pela política dado um conjunto de covariadas utilizado para estimar a probabilidade de tratamento.
- Para o bioma Amazônia percebe-se que nos primeiros anos após a implementação do CAR ocorre uma tendência de queda do desmatamento, mas não de forma significativa. Essa tendência foi revertida em 2019 e 2020, acompanhando assim o aumento no desmatamento geral no Brasil.
- Tanto para a Amazônia quanto Cerrado, considerando os imóveis pequenos, nota-se uma tendência de queda do desmatamento a partir do quarto ano após a implementação do CAR, o que sugere um efeito do cadastro para redução do desmatamento. Já para os imóveis maiores, o comportamento seria o oposto.
- A nível municipal observa-se uma relação negativo entre o nível do desmatamento e o nível de adesão ao CAR.
- Dada as limitações encontradas, não é possível afirmar que os resultados apresentados são causais. Ou seja, mais estudos são precisos para aprofundar a discussão sobre a contribuição do CAR para a redução no desmatamento no Brasil.

Sumário

1	Introdução	5
2	Inferência causal	6
2.1	Estratégia de identificação	6
2.2	Metodologia: Diferença em Diferenças para múltiplos períodos	7
2.3	Descrição dos dados	8
2.3.1	Indicadores Ambientais	8
2.4	Resultados a nível de imóveis	10
3	Exploração a nível municipal usando GPS	27
3.1	Metodologia: Generalized Propensity Score (GPS)	27
3.2	Descrição dos dados	27
3.2.1	Covariadas	27
3.3	Resultados a nível municipal	28
4	Conclusão	32
	Referências Bibliográficas	32
	Apêndice	33

1. Introdução

Esse relatório apresenta os resultados preliminares de uma investigação quantitativa do impacto do CAR sobre a diminuição do desmatamento nos imóveis rurais e a estimação de uma probabilidade de tratamento (*propensity score*) de preservação da vegetação nativa dos imóveis rurais ao nível municipal. Tais resultados incluem a tentativa de identificação do efeito causal do CAR sobre o desmatamento no interior dos imóveis, assim como a probabilidade da adesão ao cadastro influenciar no desmatamento.

Para avaliar se os imóveis que se cadastraram no CAR desmataram menos que aqueles que não o fizeram foi utilizado um método de Diferença em Diferenças para múltiplos períodos. Dessa forma, é possível sugerir evidências do impacto do CAR sobre um dos indicadores ambientais considerados nesse estudo, o desmatamento no interior dos imóveis rurais. É importante ressaltar algumas limitações desse estudo como a falta de covariadas ao nível do imóvel rural e o fato de que a causalidade dependerá da razoabilidade das hipóteses feitas na estratégia de identificação.

Já para mensurar a probabilidade do impacto da proporção de área cadastrada no CAR sobre o indicador ambiental que reflete o desmatamento no interior dos imóveis, foi utilizado o método *Generalized Propensity Score* (GPS) a nível municipal para os anos de 2016, 2017, 2018 e 2019. Este método estima o resultado potencial médio da variável resposta (total desmatado, neste caso) quando sujeita a um certo nível de tratamento (dose). Neste estudo o tratamento é o percentual de área cadastrada no CAR nos municípios em cada ano.

Os resultados não sugerem relação causal da adesão ao CAR no desmatamento dos imóveis rurais. Vale ressaltar que esse estudo foi elaborado entre os meses de maio e junho de 2022 no contexto da proposta do Evidência Express de oferecer evidências rápidas para a discussão de políticas públicas. Os resultados aqui contidos não refletem a opinião da Escola Nacional de Administração Pública, dos Ministérios ou dos avaliadores envolvidos no processo de monitoramento e avaliação da política em questão. O desenvolvimento deste estudo contou com a enorme colaboração da Assessoria para Avaliação da Enap em conjunto com os atores do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que ao longo de diversas oficinas temáticas desenvolveram boa parte das ideias que embasaram os exercícios realizados nas próximas páginas.

Nas próximas seções estão a estimação de inferência causal, com seu método, base de dados e principais resultados preliminares. Em seguida encontram-se os detalhes da estimação de impacto a nível municipal. Por fim, as principais conclusões.

2. Inferência causal

Esta seção descreve a estratégia de identificação considerada, o modelo de inferência causal utilizado assim como a base de dados e os principais resultados.

2.1 Estratégia de identificação

Idealmente para mensurar o efeito de uma política sobre uma variável de interesse seria calcular a diferença de médias dessa variável entre o grupo de unidades que recebeu a política e o grupo contrafactual que não recebeu a política. O grupo contrafactual é um grupo que não apresenta diferenças estatisticamente significantes em relação ao grupo de tratados. Normalmente, quando uma política é implementada de forma aleatória (de forma análoga a um sorteio) o conjunto de unidades que não receberam a política pode ser considerado como o grupo contrafactual (ou grupo controle). Infelizmente, este não é o caso do CAR, pois os proprietários rurais podem ter se inscrito no CAR por fatores não aleatórios.

Por exemplo, pode ser que um município A possua mais imóveis rurais registrados no CAR do que um município B porque os proprietários de imóveis do município A possuem melhor acesso a serviços de internet, ou ainda maior escolaridade, facilitando a realização do cadastro. Ainda, é possível que os proprietários do município A tenham melhores condições financeiras do que os proprietários do município B, conseguindo arcar com os custos de delimitação das áreas dos imóveis, previstas no Código Florestal. Dessa forma, seguindo esse raciocínio, o efeito de aderir ao CAR sobre uma variável resultado de interesse (como percentual de área desmatada no município) não pode ser mensurado sem considerar diversas variáveis não controladas, como o acesso à internet, escolaridade, condição socioeconômica, dentre outras.

Dado que a entrada dos municípios na política não é aleatória, isto é, que o registro dos imóveis rurais no CAR não ocorre ao acaso, uma estratégia de identificação para mensurar o efeito causal se faz necessária. Especificamente, para identificar o efeito causal do CAR sobre o desmatamento nos imóveis rurais foi adotada como estratégia estimar o efeito a partir de um modelo econométrico baseado na abordagem da diferença em diferenças (em inglês, *Difference in Differences* ou DiD). O DiD lida com o problema de ausência de aleatoriedade, e, conseqüentemente, ausência de um grupo contrafactual, assumindo que anteriormente ao início da política a evolução da variável de interesse (no caso o desmatamento) para cada grupo segue uma trajetória paralela, isto é, que a variável de interesse em cada grupo varia de forma semelhante.

Isso significa dizer, por exemplo, que se antes da implementação do CAR, para o grupo que aderiu à política, o desmatamento passava de um ano para outro por um aumento, o grupo que não aderiu à política também irá experimentar uma variação positiva de desmatamento na mesma

intensidade. Ao assumirmos a hipótese de trajetórias paralelas como verdadeira, podemos usar a trajetória para saber o que aconteceria com o grupo dos tratados caso ele não tivesse aderido à política. Dito de outra forma, a trajetória projetada da variável resultado para o grupo dos tratados nos fornece o resultado contrafactual. Ao calcularmos a diferença entre esse resultado projetado com o resultado observado se obtém o efeito causal¹.

2.2 Metodologia: Diferença em Diferenças para múltiplos períodos

Conforme explicado anteriormente, o DiD faz uso da hipótese de tendências paralelas para que seja possível mensurar o efeito de uma política. Isso significa que para gerar a estimativa do efeito corretamente é necessário assumir que os valores da variável resultado dos grupos controle e tratamento não teriam suas tendências alteradas na hipótese de ausência de implementação da política, isto é, caso o Novo Código Florestal não tivesse sido aprovado a variável em cada grupo seguiria a trajetória previamente existente antes de 2014. Dessa forma, o desvio da trajetória do grupo tratado se deve unicamente ao efeito aditivo proporcionado pela política.

Um problema que surge para estimar corretamente o efeito do desmatamento sobre os imóveis rurais é que gradualmente novos imóveis foram sendo cadastrados no CAR, ou seja, há várias trajetórias a medida que novos grupos tratado e controle vão se formando com o passar do tempo. Essa variação de entrada de unidades no programa pode gerar um viés na estimativa do efeito. Na abordagem canônica do DiD, tradicionalmente, a análise se daria sobre cenários com dois grupos e dois períodos, sendo período um pré e um período pós política. No entanto, esta abordagem não é adequada quando o tratamento ocorre em vários momentos, e não apenas em um instante do tempo, pois no cenário de múltiplos períodos de tempo o estimador DiD, na verdade, se torna uma soma ponderada de múltiplos estimadores DiD simples que representam, cada, os pares de dois grupos e dois períodos pré e pós tratamento. Esse estimador DiD agregado pode ser viesado quando os pesos de certos estimadores for muito superior aos dos demais estimadores que entram na somatória. Consequentemente, isso irá gerar uma severa heterogeneidade do efeito com o passar do tempo. Portanto, um estimador robusto à essa heterogeneidade se faz necessário.

Visando cobrir esta lacuna na literatura, vários artigos foram publicados nos últimos anos com novos métodos para solucionar essa questão, dentre esses destaca-se Callaway e Sant'Anna (2021) com o modelo *Difference-in-Differences with multiple time periods*. O estimador do efeito seguindo a proposta de Callaway e Sant'Anna (2021) foi escolhido porque ele fornece um estimador robusto pois possibilita recuperar o efeito causal desagregado para cada coorte. Assim, o estimador permite observar o efeito do tratamento a cada rodada do programa ou acumulado no tempo. Além disso, ele consegue estimar, de forma consistente, o efeito para situações em que o grupo de controle é composto por unidades nunca tratadas, ou para situações que o grupo controle é formado por unidades que ainda receberão tratamento. Outra vantagem do estimador é que ele é inteiramente estimado

¹Os detalhes específicos de estimação e a notação matemática, como os resultados potenciais, foram suprimidos desse trabalho por não se tratar de uma publicação científica. O mesmo pode ser facilmente encontrado em livros e artigos que descrevem esse método, como Angrist e Pischke (2009).

de forma não-paramétrica, o que permite que tenha uma forma funcional adequada. Vale destacar que para que o estimador seja consistente é necessário além da hipótese de tendências paralelas a hipótese de irreversibilidade do tratamento, isto é, não há retiradas de imóveis do CAR uma vez que os proprietários cadastram suas informações uma única vez e permanecem cadastrados.

Dado o objetivo dessa pesquisa, que é tentar gerar informações rápidas em relação ao impacto do CAR sobre a contenção do desmatamento e considerando o método descrito acima, utilizou-se como grupo de controle todo imóvel que ainda havia sido tratado ou que não aderiu ao CAR até 2020. O objetivo desta abordagem é examinar se imóveis que se cadastraram ao CAR desmataram menos que aqueles que não o fizeram. Dessa forma somos capazes de sugerir evidências do impacto do CAR sobre um indicador ambiental, neste caso o desmatamento. É importante ressaltar algumas limitações dessa investigação, como a falta de covariadas a nível do imóvel rural, a base de dados utilizada conter apenas a informação sobre a área de cada imóvel rural e a data de adesão, sendo ausente informações como acesso ao crédito agrícola, acesso à internet, educação, renda e consciência ambiental dos produtores rurais.

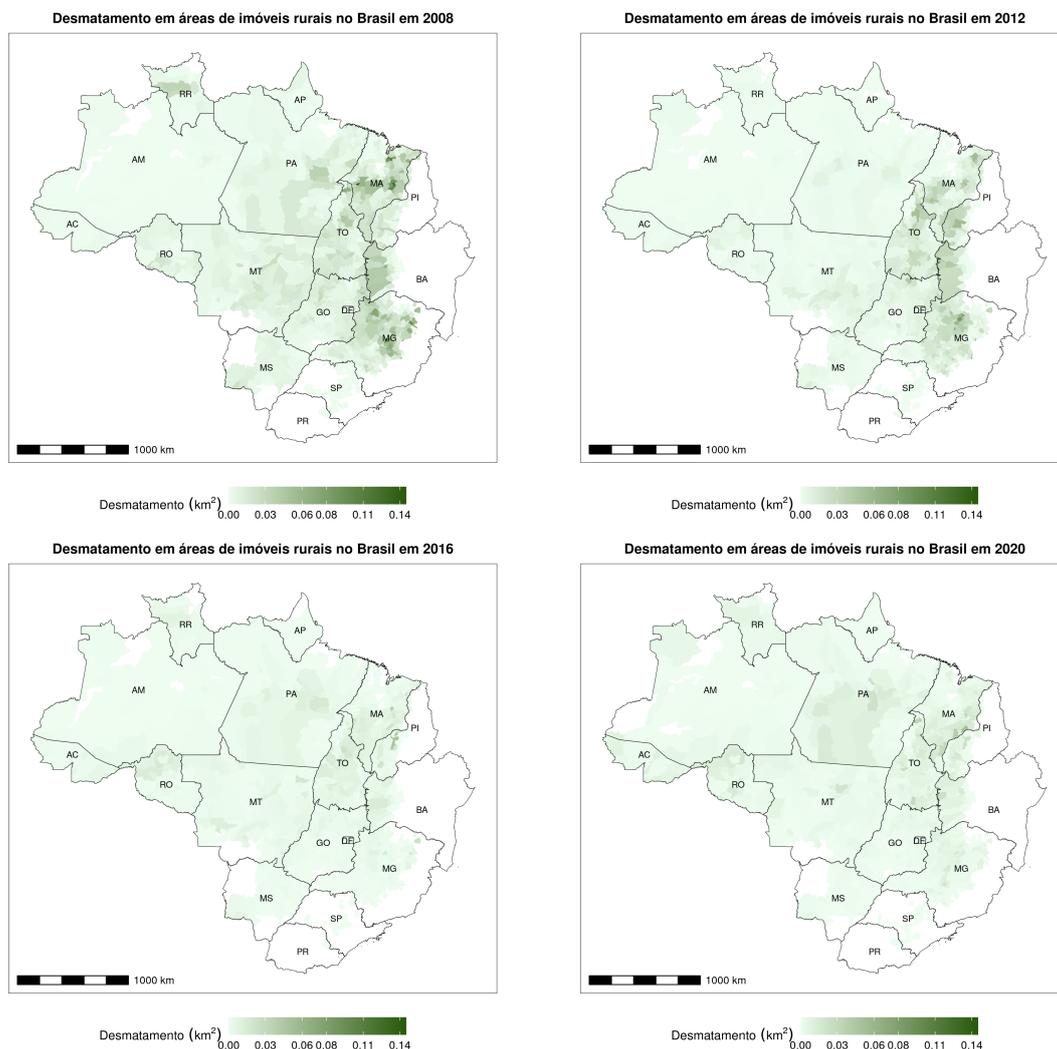
2.3 Descrição dos dados

2.3.1 Indicadores Ambientais

Dois indicadores ambientais foram construídos ao longo do estudo realizado pela equipe da Evex. Ambos foram produzidos com dados georreferenciados do SICAR e PRODES/INPE e seguem detalhados no primeiro relatório desse estudo, denominado "Cadastro Ambiental Rural: uma análise exploratória de indicadores ambientais", Souza (2022). O primeiro indicador, utilizado em parte das estimações apresentadas neste estudo, captura a evolução da perda de vegetação nativa no interior dos imóveis rurais brasileiros, entre 2008 e 2020. Ou seja, procura avaliar a evolução do incremento do desmatamento anual no interior dos imóveis.

Na Figura 2.1 abaixo encontra-se os mapas com o percentual da soma do desmatamento no interior dos imóveis rurais em relação a área dos municípios pertencentes aos biomas Amazônia e Cerrado, ou seja, a evolução do primeiro indicador ambiental. Ao longo dos anos observa-se uma diminuição da proporção desmatada no interior dos imóveis rurais com destaque para a concentração nas regiões de MG, BA, PI, MA, TO e parte do PA, abrangendo a região MATOPIBA, conhecida pela intensa expansão da soja e pecuária nos últimos anos. O município de Buritirana (MA) é o que apresenta a maior proporção de desmatamento em relação à área do imóvel, em 2008. Nesse município, cerca de 14% as áreas dos imóveis foram desflorestadas. Já no ano de 2020, o município Nova Iorque (MA), é o principal em termos de proporção desmatada. Aproximadamente 6% das áreas dos imóveis desse município perderam sua vegetação natural.

Figura 2.1: Percentual da soma do desmatamento no interior dos imóveis rurais em relação a área dos municípios. (%)

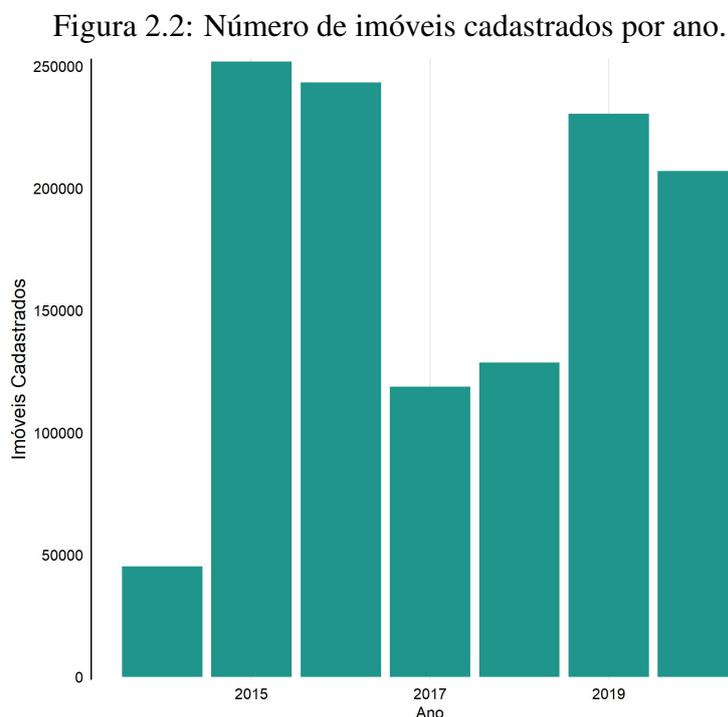


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Para a construção do indicador acima fez-se necessário o cruzamento entre os *shapefiles* do SICAR, onde encontra-se o registro dos imóveis rurais brasileiros cadastrados no CAR com os *shapefiles* no PRODES/INPE, que fornece informações do incremento do desmatamento dos biomas Amazônia e Cerrado. Para a extração dos dados a nível municipal se fez necessário o cruzamento também com os *shapefiles* de malha municipal dos municípios brasileiros do IBGE. Ou seja, foi feita a mescla de três conjuntos de dados para associar cada polígono de desmatamento, entre 2008-2020, a um imóvel rural e a um município. Assim, construiu-se uma série histórica com informações sobre o desflorestamento no interior dos imóveis cadastrados no CAR, considerando o recorte Amazônia e Cerrado.

2.4 Resultados a nível de imóveis

Nesta subsecção são apresentados os resultados da tentativa de mensuração do impacto do CAR sobre o nível de desmatamento nos imóveis rurais. Nesta etapa foi utilizado o recente método desenvolvido por Callaway e Sant’Anna (2021), detalhado acima na subsecção de Metodologia. Tal abordagem permite a estimação para cenários onde os grupos aderem ao tratamento em diferentes momentos do tempo. Nota-se que este ambiente é exatamente o que ocorreu após a implementação do CAR em 2014. Ano a ano (figura 2.2) os produtores rurais foram cadastrando suas propriedades no sistema do Sicar.



Fonte: Elaboração própria. O ano 0 (2014) representa o primeiro ano de cadastros no CAR.

Os exercícios realizados nesta seção foram produzidos no *software* R com o pacote *did* desenvolvido pelos autores do paper Callaway e Sant’Anna (2021). A base de dados utilizada contém os imóveis rurais cadastrados no CAR entre 2014 e 2022, para o bioma Amazônia e Cerrado. No entanto, considerou-se as informações até 2020 uma vez que os dados de desmatamento abrangem o período de 2008 a 2020, e por tanto o indicador ambiental foi construído para esse intervalo temporal. De forma simplificada, o estimador utilizado compara a média da variável de interesse entre os grupos nos períodos pré e pós tratamento, usando como grupo de controle aqueles imóveis que ainda não foram tratados (não realizaram o cadastro).

Uma grande limitação deste estudo se deve à ausência de covariadas ao nível do imóvel rural na base de dados, ou seja, informações sobre o produtor ou a propriedade que seriam relevantes para entender o contexto em que estamos inseridos. Por exemplo, o nível de consciência ambiental, a dependência do crédito rural, a escolaridade e acesso a tecnologias do produtor rural são variáveis que

influenciam no tratamento e que não estão disponíveis na base de dados utilizada. Os resultados que seguem abaixo são sugestões de evidências de como a adesão ao CAR afetou a decisão de desmatar ou não dos proprietários de terra. Estudos posteriores podem coletar mais variáveis que ajudem a entender o fenômeno causal de forma mais clara.

Dito isso, optou-se por fazer a estimação de forma separada para cada bioma e a seguir realizou-se um exercício de heterogeneidade pelo tamanho do imóvel rural (única variável a este nível presente nos dados), onde as propriedades foram divididas em quartis e buscou-se observar possíveis diferenças no comportamento ambiental. A seguir são apresentados os resultados para os imóveis menores (do primeiro quartil) e para os maiores (último quartil). Além disso a estimação foi realizada ao nível da variável dependente (desmatamento - km²) e abrangeu o período de 2008-2020. No apêndice segue os resultados para os imóveis de tamanho intermediário (segundo e terceiro quartil), as estimações desconsiderando o ano de 2020 (início da pandemia) e as especificações utilizando efeitos fixos de município junto a inclusão da covariada de tamanho do imóvel na regressão.

A especificação padrão realizada não fez uso de efeitos fixos devido a dois fatores. Primeiro, à capacidade computacional, ao adicionarmos efeitos fixos na regressão, o tempo de máquina necessário para as estimações se multiplica em algumas vezes. Segundo, devido a natureza do próprio cadastro a grande maioria dos municípios aderiu ao programa já no primeiro ano de tratamento, faltando assim unidades de controle suficientes para a estimação com efeitos fixos de município. No apêndice consta um exercício com o uso de efeitos fixos mais a inclusão da covariada do tamanho do imóvel na regressão. Os resultados encontrados não diferem muito dos apresentados abaixo.

Uma característica vantajosa do método utilizado é que ele permite uma verificação natural da hipótese de tendências paralelas, esta suposição considera que os resultados para os grupos tratado e controle se moveram em paralelo antes do momento do tratamento. Tornou-se, portanto, prática comum verificar, tanto visualmente quanto usando testes estatísticos, se existem diferenças pré-existentes nas tendências (“pré-tendências”). Nos resultados apresentados nas próximas páginas é possível verificar esta hipótese olhando para os coeficientes, e seus respectivos intervalos de confiança, para o período pré-tratamento (as barras e pontos em vermelho). O teste de Wald também é informado após a estimação e em todas as especificações não foi possível rejeitar a hipótese nula (tendências paralelas).

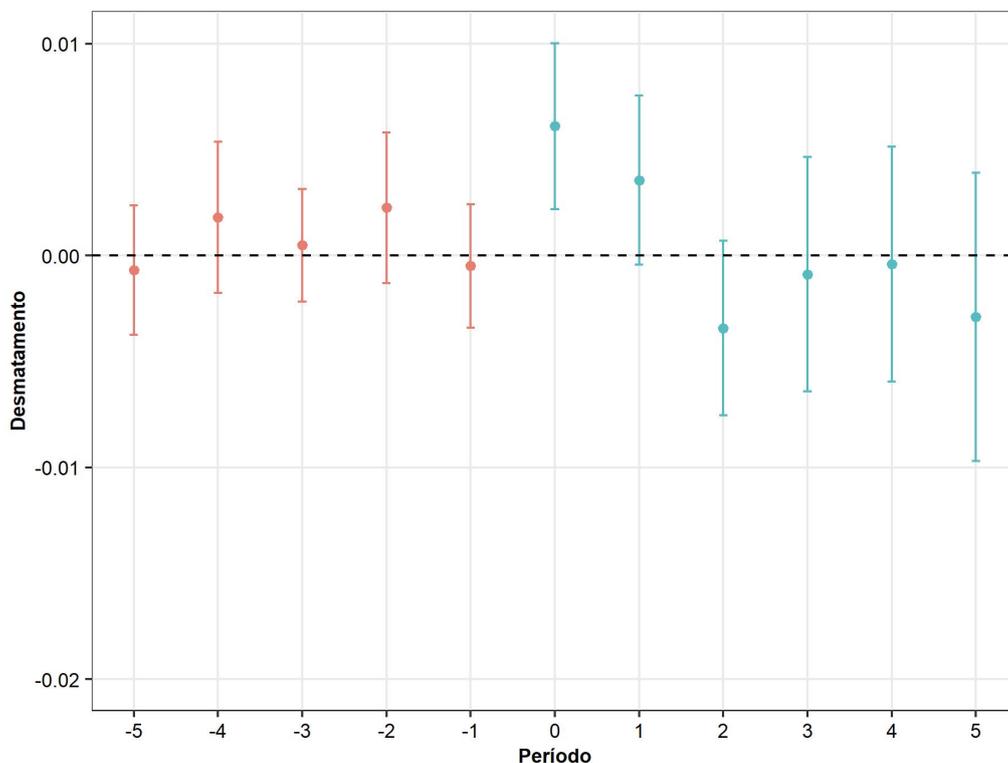
Nas próximas subseções estão os resultados das estimações para a Amazônia e o Cerrado, divididos entre os resultados de todos os imóveis do bioma e em sequência resultados para os imóveis pequenos e grandes.

Amazônia

Primeiro estimou-se o modelo para todos os imóveis da Amazônia. A figura 2.3 e a tabela 2.1 trazem os resultados do efeito médio por tempo de exposição, com os coeficientes estimados para os cinco anos anteriores à política e cinco anos após a intervenção. Ou seja, compara-se o comportamento dos proprietários de terras antes e depois da adesão ao CAR. Isso significa que cada valor do eixo y (km²) representa a diferença na média entre os grupos em x anos após (ou antes) do tratamento iniciar.

Pode-se observar que na maioria dos anos anteriores ao tratamento não há diferença significativa entre o grupo de controle e o tratamento, indicando que no período anterior ao cadastro o padrão de desmatamento entre os dois grupos era semelhante. O mesmo ocorre nos anos após o início do CAR, o que nos leva a crer que, de maneira agregada, não há evidências de efeito do programa sobre o desmatamento nos imóveis rurais. A única exceção é o ano zero, ou seja, ano no qual os imóveis se cadastram no sistema. Uma possível interpretação deste resultado é que os produtores aproveitam para desmatar mais no período imediatamente anterior ao cadastro uma vez que possuem a informação assimétrica de que haveria aumento da fiscalização. Mais uma vez, reiteramos que os resultados encontrados não devem ser interpretados como um nexos causal entre a política e o desflorestamento, para essa afirmação seria necessário mais informações e estimações mais robustas.

Figura 2.3: Efeito do CAR sobre os desmatamento nos imóveis rurais da Amazônia no período antes e depois da adoção da política



Notas: O ano 0 representa o primeiro ano de cadastros no CAR. As barras representam intervalos de confiança para o coeficiente estimado. Intervalos que atravessam o valor 0 sugerem a ausência de efeito estatisticamente significativo, a 5%.
 Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

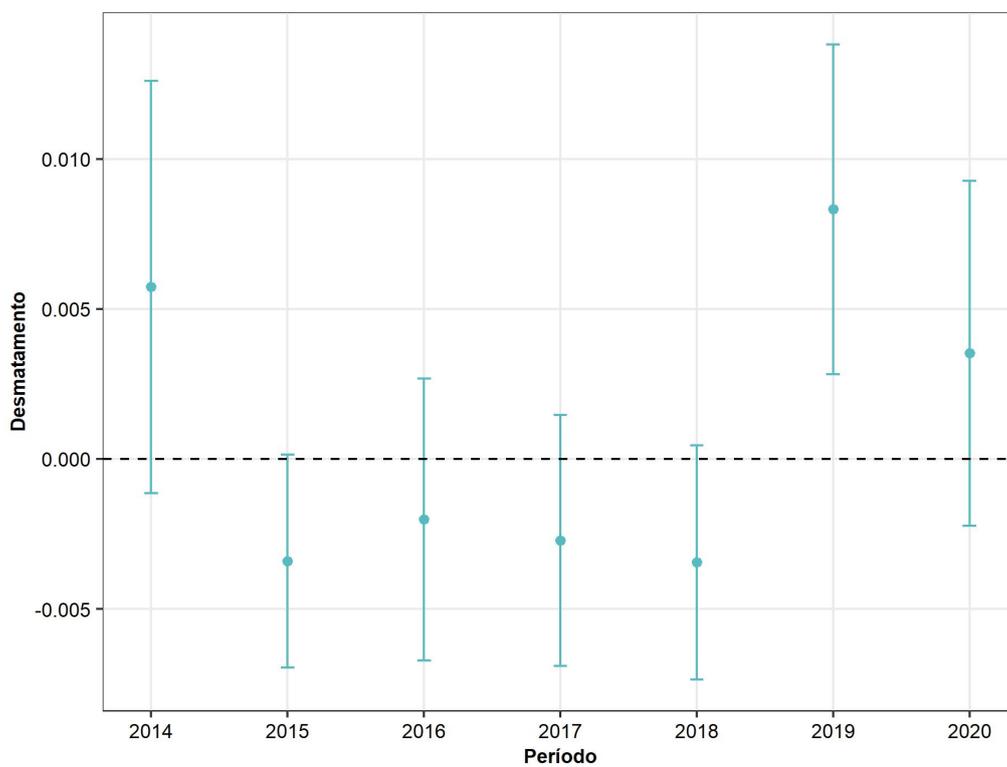
Tabela 2.1: Coeficientes estimados - Tempo de exposição - Amazônia

Tempo	Coeficientes	Erro Padrão
-5	-0.0007	0.0011
-4	0.0018	0.012
-3	0.0005	0.001
-2	0.0023	0.0012
-1	-0.0005	0.011
0	0.0061*	0.0015
1	0.0036	0.0014
2	-0.0034	0.0014
3	-0.0009	0.002
4	-0.0004	0.0019
5	-0.0029	0.0023

Fonte: Elaboração própria

A seguir temos os resultados agrupados que informam a média do tratamento por ano. Essa medida mostra o efeito médio em cada ano após o cadastro, portanto o valor associado a 2015 ilustra qual foi o efeito do CAR nos imóveis cadastrados quando comparados com aqueles que não tinham realizado o cadastro neste ano. Para o caso da Amazônia como um todo percebe-se que há nos primeiros anos após o CAR uma tendência de queda, mas não de forma significativa. No entanto, este movimento experimentou uma reversão em 2019 e 2020, acompanhando assim o aumento no desmatamento geral no Brasil demonstrado em Souza (2022). A figura 2.4 e a tabela 2.2 ilustram esses resultados.

Figura 2.4: Efeito do CAR sobre desmatamento - Média por ano após o tratamento para todos os imóveis da Amazônia



Notas: As barras representam intervalos de confiança para o coeficiente estimado. Intervalos que atravessam o valor 0 sugerem a ausência de efeito estatisticamente significativo, a 5%.

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Tabela 2.2: Coeficientes estimados - Média por ano - Amazônia

Ano	Coeficientes	Erro Padrão
2014	0.0057	0.0026
2015	-0.0034	0.0011
2016	-0.0020	0.0017
2017	-0.0027	0.0016
2018	-0.0035	0.0015
2019	0.0083*	0.0021
2020	0.0035	0.0022

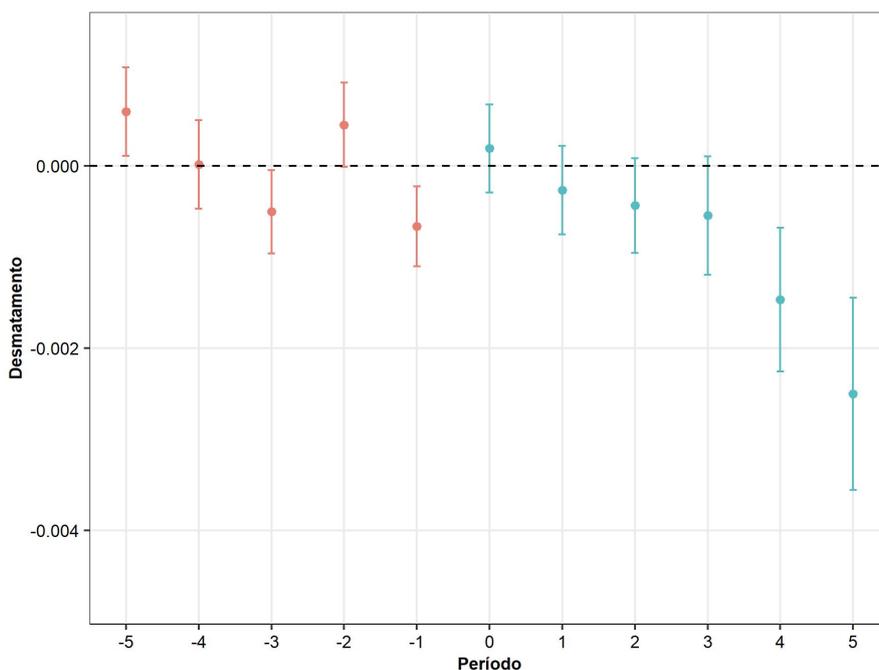
Fonte: Elaboração própria

A seguir realizou-se um exercício buscando encontrar efeitos heterogêneos nos resultados e, para isso, foi utilizada a variável que informa a área do imóvel rural. Então, a amostra foi dividida em quartis e estimou-se o modelo para essas subamostras. Abaixo segue os resultados para os imóveis do primeiro quartil (chamados aqui de Imóveis Pequenos) e para os do último quartil (Imóveis Grandes).

Para os imóveis pequenos, nota-se uma tendência de queda a partir do quarto ano após o CAR,

o que sugere um efeito positivo do cadastro para redução do desmatamento. Por outro lado, percebe-se que nos anos que precedem o cadastro, já havia um menor desmatamento no grupo que aderiu ao CAR, podendo sugerir que o comportamento desses produtores já era diferenciado em relação aos demais, tendo o CAR apenas gerado mais um incentivo a um maior cuidado ambiental. A figura 2.5 e a tabela 2.3 mostram os resultados.

Figura 2.5: Efeito do CAR sobre os desmatamento nos imóveis rurais pequenos da Amazônia no período antes e depois do começo da política



Notas: O ano 0 representa o primeiro ano de cadastros no CAR. As barras representam intervalos de confiança para o coeficiente estimado. Intervalos que atravessam o valor 0 sugerem a ausência de efeito estatisticamente significativo, a 5%.
 Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Tabela 2.3: Coeficientes estimados - Tempo de exposição - Amazônia - Imóveis Pequenos

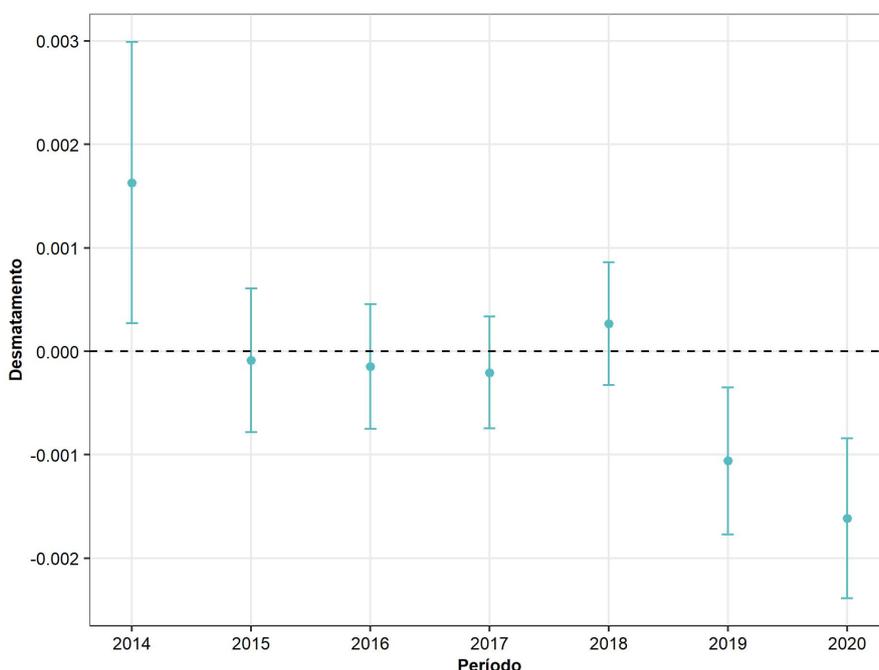
Tempo	Coefficientes	Erro Padrão
-5	0.0006*	0.0002
-4	0.0000	0.0002
-3	-0.0005*	0.0002
-2	0.0004	0.0001
-1	-0.0007*	0.0001
0	0.0002	0.0002
1	-0.0003	0.0002
2	-0.0004	0.0002
3	-0.0005	0.0002
4	-0.0015*	0.0003
5	-0.0025*	0.0004

Fonte: Elaboração própria

Os resultados para a média anual após o tratamento mostram um padrão semelhante, com os

primeiros anos após a implementação (2015, 2016 e 2017) não apresentando significância estatística, mas em 2019 e 2020 houve uma queda significativa no desmatamento em comparação ao grupo de controle. Sugere-se, então, que o efeito demora alguns anos para aparecer. Vale destacar que em 2019 e 2020 houve um aumento do desmatamento na Amazônia. Mesmo com esse salto observa-se que os imóveis menores, que eram cadastrados no CAR, reduziram o desflorestamento, quando comparados com outros imóveis menores que ainda não faziam parte do cadastro. A figura 2.6 e a tabela 2.4 apresentam os resultados para a média anual dos imóveis pequenos.

Figura 2.6: Efeito do CAR sobre desmatamento - Média por ano após o tratamento para os imóveis pequenos da Amazônia



Notas: As barras representam intervalos de confiança para o coeficiente estimado. Intervalos que atravessam o valor 0 sugerem a ausência de efeito estatisticamente significativo, a 5%.

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

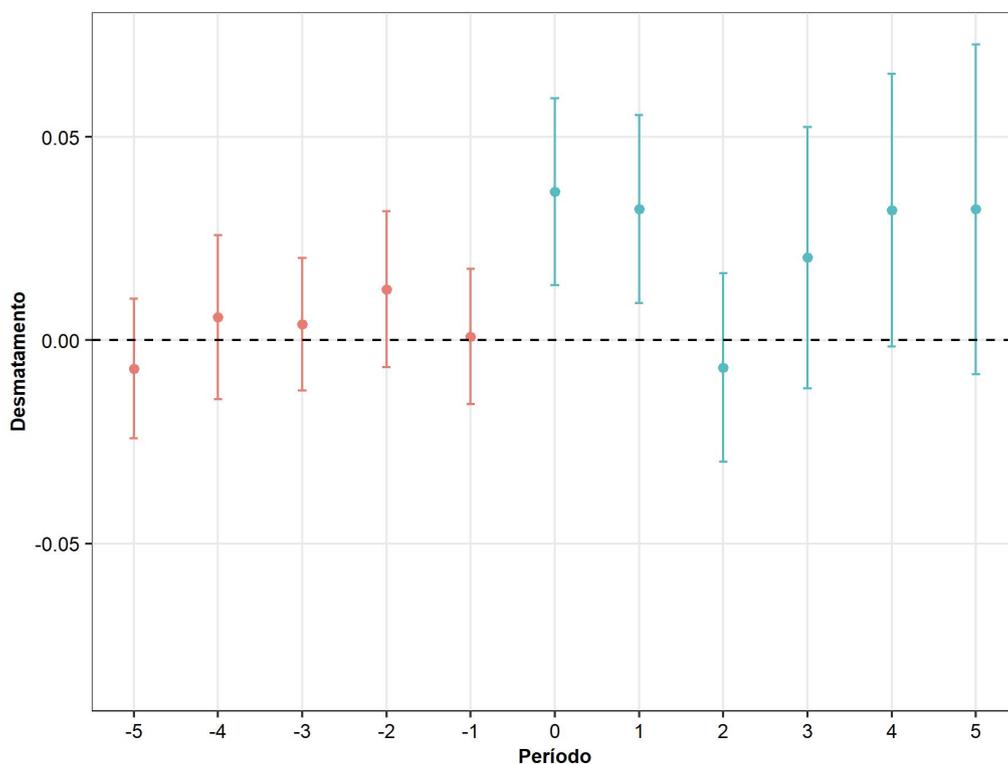
Tabela 2.4: Coeficientes estimados - Média por ano - Amazônia - Imóveis pequenos

Ano	Coeficientes	Erro Padrão
2014	0.0016	0.0006
2015	-0.0001	0.0003
2016	-0.0001	0.0002
2017	-0.0002	0.0002
2018	0.0003	0.0015
2019	-0.0011*	0.0003
2020	-0.0016*	0.0003

Fonte: Elaboração própria

Por fim, tem-se os resultados para os imóveis grandes da Amazônia. Nota-se que tanto para anos após a exposição quanto para a média anual os resultados diferem do padrão dos imóveis menores. Esse resultado sugere um comportamento oposto entre os proprietários de terras maiores. Estes não seriam influenciados pelo CAR. Na figura 2.7 nota-se que no ano da adesão e no primeiro ano após a adesão há um efeito positivo sobre o desmatamento, o sinal permanece positivo para o terceiro, quarto e quinto ano, no entanto sem significância. Estes resultados sugerem que os grandes produtores não teriam sido afetados pelo surgimento do cadastrado ambiental. Estudos posteriores podem buscar entender quais mecanismos explicam essa diferença.

Figura 2.7: Efeito do CAR sobre os desmatamento nos imóveis rurais grandes



Notas: O ano 0 representa o primeiro ano de cadastros no CAR. As barras representam intervalos de confiança para o coeficiente estimado. Intervalos que atravessam o valor 0 sugerem a ausência de efeito estatisticamente significativo, a 5%.
 Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

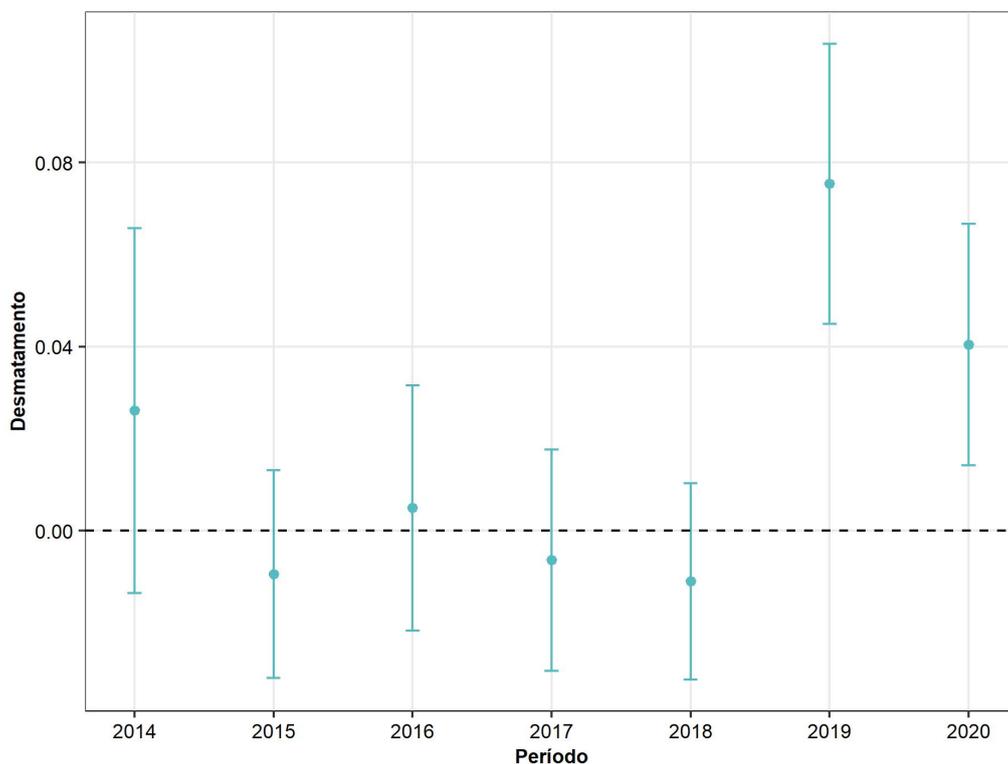
Tabela 2.5: Coeficientes estimados - Tempo de exposição - Amazônia - Imóveis Grandes

Tempo	Coeficientes	Erro Padrão
-5	-0.007	0.006
-4	0.0057	0.0069
-3	0.0039	0.0056
-2	0.0125	0.0063
-1	-0.0009	0.0059
0	0.0365*	0.0078
1	0.0323*	0.0084
2	-0.0067	0.0086
3	0.0203	0.0117
4	0.0320	0.0116
5	0.0322	0.0138

Fonte: Elaboração própria

A figura 2.8 e a tabela 2.6 apresentam os resultados para média anual após o tratamento para os imóveis grandes da Amazônia.

Figura 2.8: Efeito do CAR sobre desmatamento - Média por ano



Notas: As barras representam intervalos de confiança para o coeficiente estimado. Intervalos que atravessam o valor 0 sugerem a ausência de efeito estatisticamente significativo, a 5%.

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Tabela 2.6: Coeficientes estimados - Média por ano - Amazônia - Imóveis Grandes

Ano	Coeficientes	Erro Padrão
2014	0.0261	0.0152
2015	-0.0095	0.009
2016	0.005	0.001
2017	-0.0064	0.0089
2018	-0.011	0.0085
2019	0.0754*	0.0128
2020	0.0405*	0.0108

Fonte: Elaboração própria

Cerrado

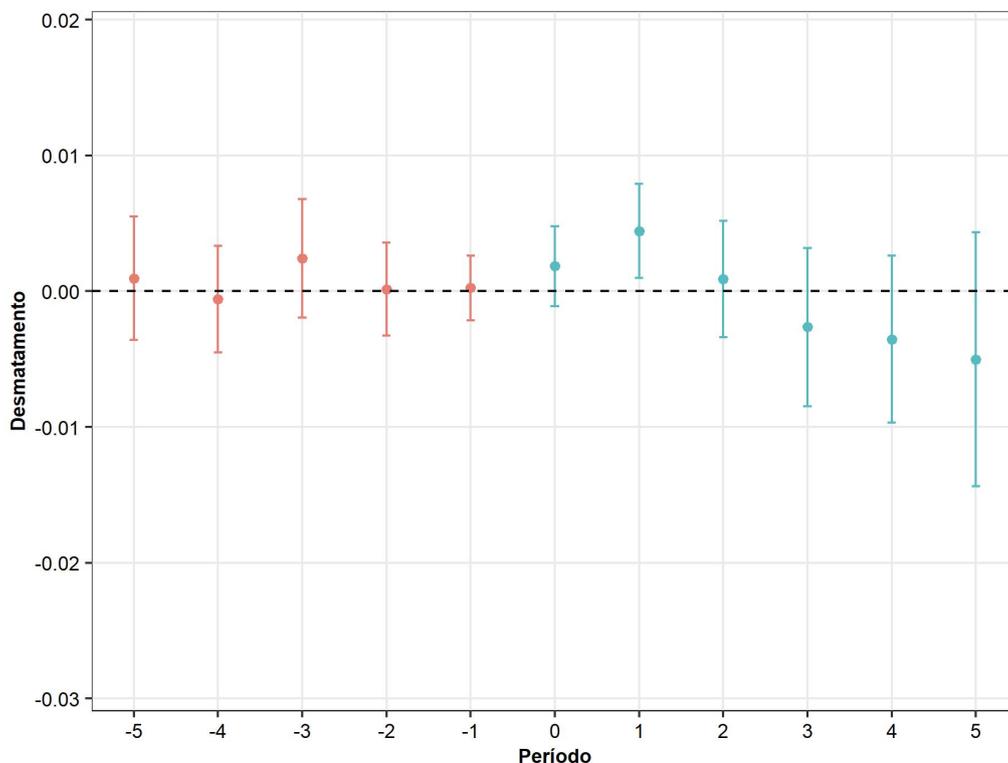
Os resultados das estimações para o bioma Cerrado seguem abaixo. Observa-se o mesmo padrão da Amazônia, não havendo efeito significativo quando estimado o bioma como um todo. Porém, ao realizar o exercício de heterogeneidade foi possível encontrar uma tendência de queda no desmatamento para imóveis menores que entraram antes no CAR, o impacto não se mantém para as grandes propriedades. Assim como os resultados da Amazônia, as estimações para os imóveis intermediários e a especificação sem a inclusão de 2020 encontram-se no Apêndice. Mais uma vez ressaltamos que não é possível garantir a causalidade nos achados, em virtude da falta de informação da base de dados. Entretanto, acredita-se que as sugestões de evidências aqui levantadas podem contribuir para o debate sobre essa política pública no Brasil e motivar estudos posteriores que cubram lacunas deixadas por este.

Importante ressaltar que o Cerrado não experimentou o salto no desmatamento que o bioma Amazônia observou em 2019 e 2020, os números para o Cerrado permaneceram constantes nos últimos anos. Os motivos que explicam essa diferença entre os biomas não estão no escopo deste estudo, mas podem auxiliar a entender de forma mais clara os resultados aqui encontrados. De forma resumida, o que os resultados apresentados na sequência mostram é que nas menores propriedades do Cerrado houve uma tendência de queda no desmatamento dos imóveis cadastrados no CAR e esse efeito se intensificou com o tempo. Como todos os coeficientes do período antes da política estão sobre o zero (validando a hipótese de tendências paralelas), temos a sugestão que a entrada no cadastro ambiental pode ter levado a uma menor perda de vegetação nativa.

Na primeira estimação considerou-se todos os imóveis do bioma Cerrado, os resultados encontrados indicam um padrão semelhante ao apresentado anteriormente para a Amazônia. Não observa-se um efeito significativo do CAR sobre o desmatamento nos imóveis rurais, o único coeficiente significativo é o do primeiro ano após a adesão. Após esse período há uma tendência de queda, porém não estatisticamente significativa.

A figura 2.9 e a tabela 2.7 ilustram os resultados para o cerrado como um todo.

Figura 2.9: Efeito do CAR sobre os desmatamento nos imóveis rurais - Cerrado



Notas: O ano 0 representa o primeiro ano de cadastros no CAR. As barras representam intervalos de confiança para o coeficiente estimado. Intervalos que atravessam o valor 0 sugerem a ausência de efeito estatisticamente significativo, a 5%.
 Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

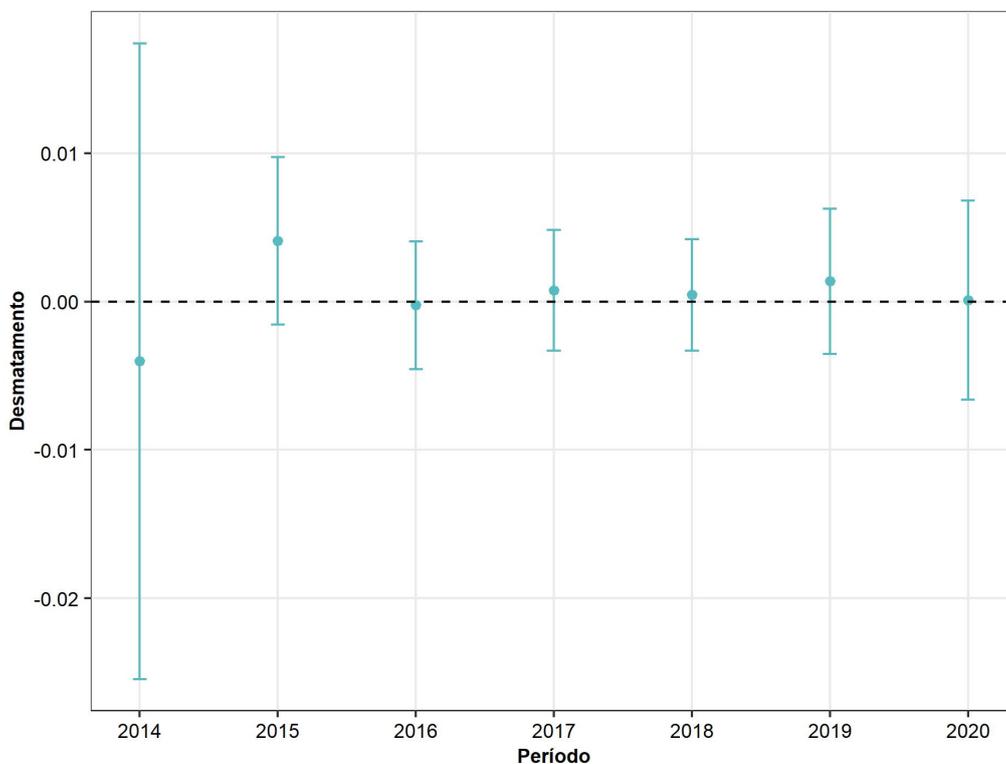
Tabela 2.7: Coeficientes estimados - Tempo de exposição - Cerrado

Tempo	Coefficientes	Erro Padrão
-5	-0.001	0.0016
-4	-0.0006	0.0015
-3	0.0024	0.0016
-2	0.0001	0.0013
-1	0.0003	0.0009
0	0.0018	0.0011
1	0.0044*	0.0012
2	0.0009	0.0015
3	-0.0026	0.002
4	-0.0035	0.0021
5	-0.005	0.0033

Fonte: Elaboração própria

Da mesma forma, a figura 2.10 e a tabela 2.8 mostram os resultados para a média anual após o tratamento de todos os imóveis do Cerrado.

Figura 2.10: Efeito do CAR sobre o desmatamento - Média Ano - Cerrado



Notas: As barras representam intervalos de confiança para o coeficiente estimado. Intervalos que atravessam o valor 0 sugerem a ausência de efeito estatisticamente significativo, a 5%.

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

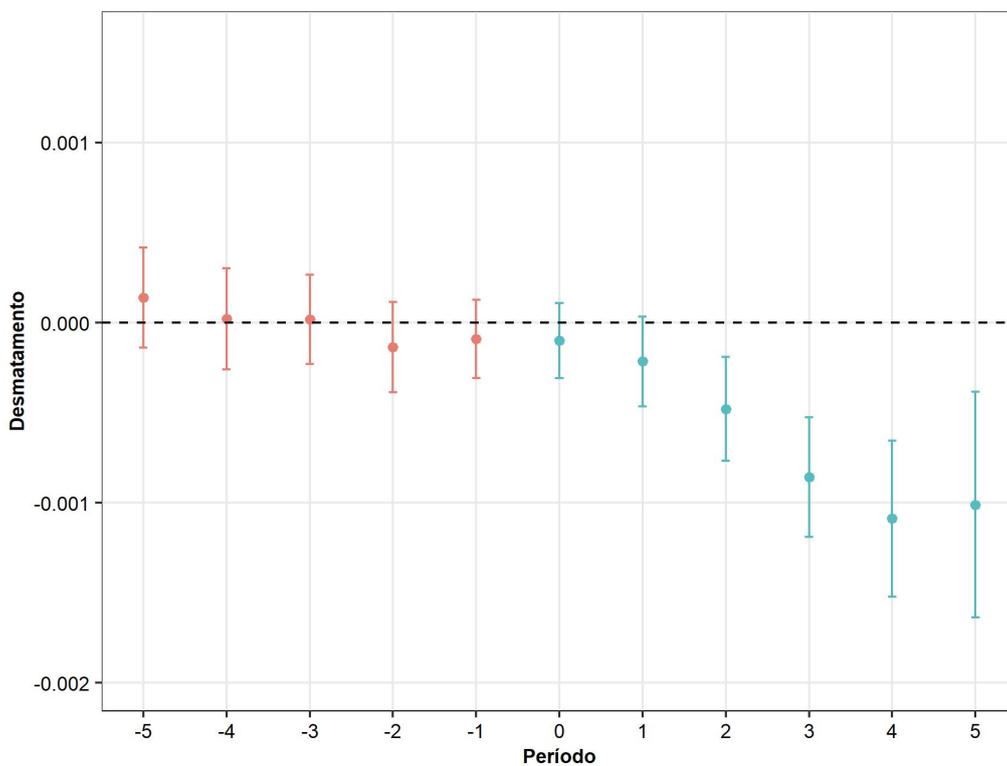
Tabela 2.8: Coeficientes estimados - Média por ano - Cerrado

Ano	Coeficientes	Erro Padrão
2014	-0.004	0.0089
2015	0.0041	0.0023
2016	-0.0002	0.0016
2017	0.0008	0.0016
2018	0.0004	0.0016
2019	0.0014	0.0018
2020	0.0001	0.0026

Fonte: Elaboração própria

A seguir realizou-se o mesmo exercício para os imóveis pequenos do cerrados. Os resultados são apresentados na figura 2.11 e na tabela 2.9. Nota-se que a partir do segundo ano após a adesão ao CAR há uma queda significativa e permanente no desmatamento do grupo tratado em relação ao grupo de controle, essa queda se mantém até o quinto ano. Este resultado é semelhante com a especificação para a Amazônia, mas no caso do Cerrado, o efeito é duradouro ao longo do tempo. Uma possível explicação é a diferença no desmatamento geral entre os biomas para os anos de 2019. Diferentemente do que se observou na Amazônia, o Cerrado não experimentou um aumento abrupto na perda de vegetação nativa neste ano, e essa discrepância pode explicar os resultados.

Figura 2.11: Efeito do CAR sobre o desmatamento - Imóveis Pequenos - Cerrado



Notas: O ano 0 representa o primeiro ano de cadastros no CAR. As barras representam intervalos de confiança para o coeficiente estimado. Intervalos que atravessam o valor 0 sugerem a ausência de efeito estatisticamente significativo, a 5%.
 Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

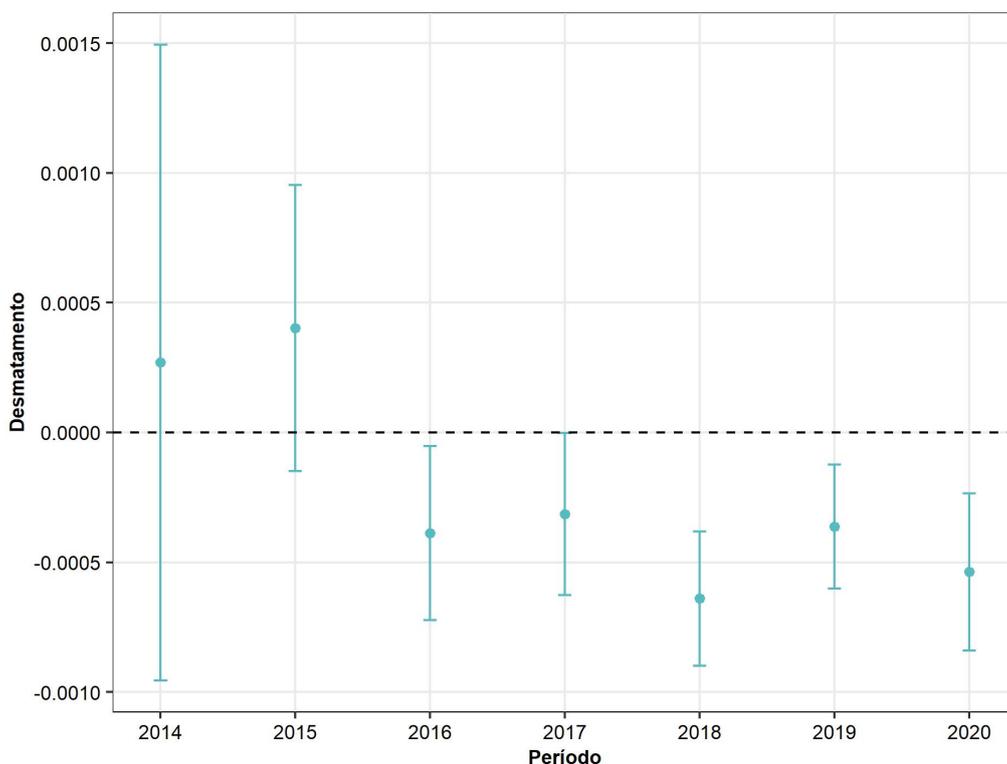
Tabela 2.9: Coeficientes estimados - Tempo de exposição - Cerrado - Imóveis Pequenos

Tempo	Coeficientes	Erro Padrão
-5	0.0001	0.0001
-4	0.0000	0.0001
-3	0.000	0.0001
-2	-0.0001	0.0001
-1	-0.0001	0.0001
0	-0.0001	0.0001
1	-0.0002	0.0001
2	-0.0005*	0.0001
3	-0.0009*	0.0001
4	-0.0011*	0.0001
5	-0.001*	0.0002

Fonte: Elaboração própria

Resultados para a média anual dos imóveis pequenos do Cerrado estão na figura 2.12 e na tabela 2.10. Percebe-se que a partir de 2016 há um impacto negativo e significativo permanente do CAR sobre o desmatamento.

Figura 2.12: Efeito do CAR sobre o desmatamento - Média anual - Imóveis Pequenos - Cerrado



Notas: As barras representam intervalos de confiança para o coeficiente estimado. Intervalos que atravessam o valor 0 sugerem a ausência de efeito estatisticamente significativo, a 5%.

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

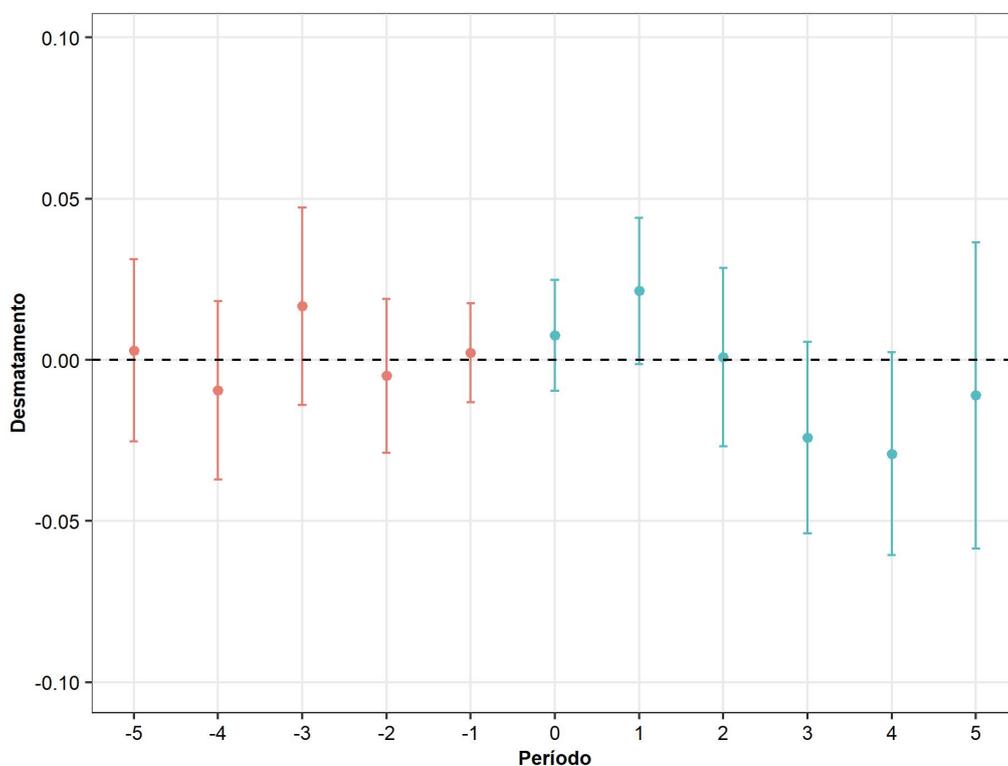
Tabela 2.10: Coeficientes estimados - Média por ano - Cerrado - Imóveis pequenos

Ano	Coeficientes	Erro Padrão
2014	0.0003	0.0005
2015	0.0004	0.0002
2016	-0.0004*	0.0001
2017	-0.0003*	0.0001
2018	-0.0006*	0.0001
2019	-0.0004*	0.0001
2020	-0.0005*	0.0001

Fonte: Elaboração própria

Por fim, apresentam-se os resultados para as grandes propriedades do Cerrado. Assim como ocorreu na Amazônia, aparentemente não há indícios de que o CAR produziu algum efeito sobre o comportamento dos grandes proprietários de terra, feita as ressalvas já abordadas anteriormente. Tanto para o efeito médio do tempo de exposição quanto para o efeito médio por ano após a intervenção, os coeficientes estimados não são significativos estatisticamente. As figuras 2.13 e 2.14 e as tabelas 2.11 e 2.12 apresentam os resultados.

Figura 2.13: Efeito do CAR sobre o desmatamento - Imóveis Grandes - Cerrado



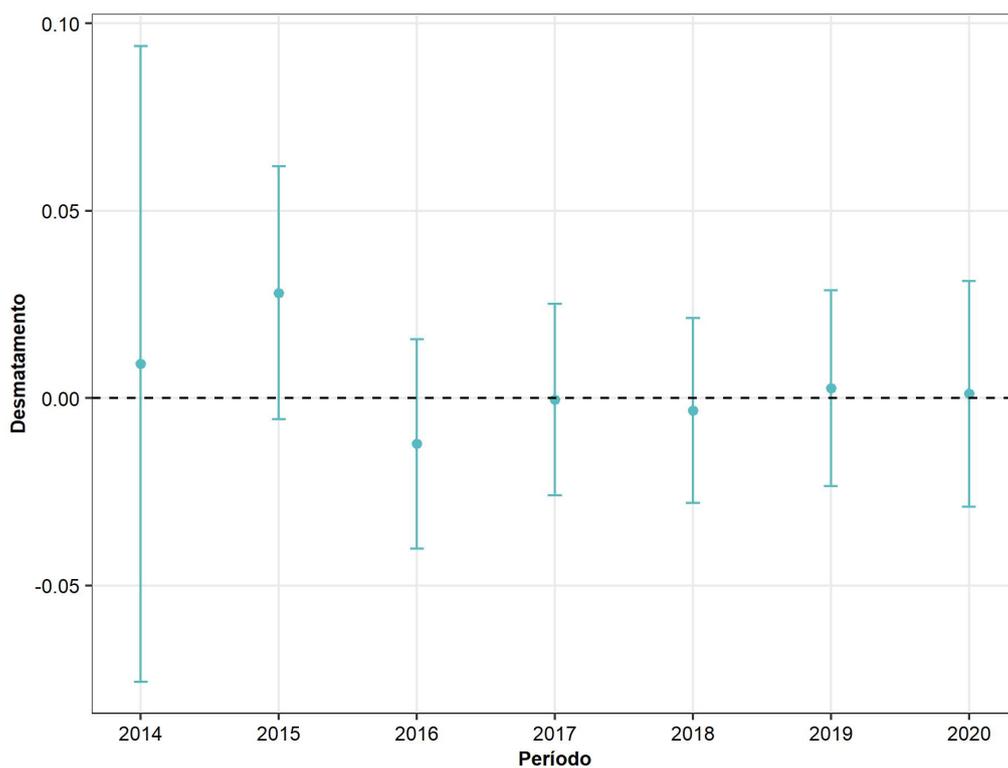
Notas: O ano 0 representa o primeiro ano de cadastros no CAR. As barras representam intervalos de confiança para o coeficiente estimado. Intervalos que atravessam o valor 0 sugerem a ausência de efeito estatisticamente significativo, a 5%.
 Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Tabela 2.11: Coeficientes estimados - Tempo de exposição - Cerrado - Imóveis Grandes

Tempo	Coeficientes	Erro Padrão
-5	0.0029	0.0109
-4	-0.0095	0.0101
-3	0.0166	0.0109
-2	-0.005	0.0082
-1	0.0022	0.0058
0	0.0076	0.0063
1	0.0214	0.0081
2	0.0008	0.0097
3	-0.0241	0.0108
4	-0.0291	0.0113
5	-0.011	0.0161

Fonte: Elaboração própria

Figura 2.14: Efeito do CAR sobre o desmatamento - Média anual - Imóveis Grandes - Cerrado



Notas: As barras representam intervalos de confiança para o coeficiente estimado. Intervalos que atravessam o valor 0 sugerem a ausência de efeito estatisticamente significativo, a 5%.

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Tabela 2.12: Coeficientes estimados - Média por ano - Cerrado - Imóveis Grandes

Ano	Coeficientes	Erro Padrão
2014	0.0092	0.0303
2015	0.0281	0.0136
2016	-0.0122	0.01
2017	-0.0004	0.0107
2018	-0.0033	0.0103
2019	0.0026	0.0101
2020	0.0011	0.0113

Fonte: Elaboração própria

3. Exploração a nível municipal usando GPS

3.1 Metodologia: Generalized Propensity Score (GPS)

Outro método econométrico utilizado neste estudo é o *Generalized Propensity Score (GPS)*, desenvolvido por Hirano e Imbens (2004). Esta técnica consiste numa adaptação do tradicional escore de propensão, mas adaptado para tratamentos contínuos (e não binários como no modelo anterior). Este método estima resultados potenciais da variável de interesse de acordo com o nível de intensidade da variável de tratamento. Na nossa análise a nível municipal, a variável de tratamento é o percentual de área cadastrada no CAR em determinado ano (tratamento contínuo, portanto) e a variável resposta é o nível de desmatamento no interior de imóveis rurais realizado no município em determinado ano.

O objetivo do GPS é estimar uma função dose-resposta média que permite verificar a probabilidade de tratamento de forma contínua dado um conjunto de covariadas utilizado para estimar essa probabilidade de tratamento. No caso desse trabalho o GPS é utilizado para examinar o impacto da probabilidade da proporção de área cadastrada no CAR sobre o indicador ambiental que reflete o desmatamento no interior dos imóveis.

3.2 Descrição dos dados

Para esta estimação foram construídas bases de dados a partir da base utilizada no indicador 1, que possui informações sobre nível anual de desmatamento dentro dos imóveis rurais, por município. Como o método GPS é estimado de forma cross-section (quando a análise é feita em um ponto do tempo) utilizou-se os seguintes anos para a análise: 2016, 2017, 2018 e 2019. Nesses conjuntos de dados constam informações sobre a soma do desmatamento no interior dos imóveis rurais, em cada município m no ano t ; o percentual de área cadastrada no CAR para esse município m no ano t ; além de covariadas coletadas para todo o horizonte estudado. Dessa forma, têm-se a variável resposta (desmatamento no interior dos imóveis por município) e a dose do tratamento de forma contínua (cobertura do CAR no município).

3.2.1 Covariadas

Para a estimação do GPS e Função Dose-Resposta faz-se necessário a utilização de covariadas que teoricamente poderiam estar relacionadas à dosagem do tratamento e a variável resposta. A variável de tratamento considerada nessa pesquisa é o percentual de área cadastrada no CAR e a variável resposta é o desmatamento no interior dos imóveis cadastrados no CAR. Considerando os dados disponíveis, as covariadas selecionadas seguem na Tabela 3.1 abaixo.

Tabela 3.1: Descrição das Covariadas

Variável	Descrição	Fonte de dados	
Densidade Demográfica	Número de habitantes dividido pela área do município (hab/km ²)	Quantitativa contínua	IBGE
VAB Agropecuária	Valor adicionado bruto a preços correntes da agropecuária (Mil Reais)	Quantitativa contínua	IBGE
PIB Agropecuária	Produto Interno Bruto a preços correntes	Quantitativa contínua	IBGE
Tipo de Município	Urbano; Intermediário Adjacente; Intermediário Remoto; Rural Adjacente; Rural Remoto	Dummy	IBGE
Amazônia Legal	Município pertence ou não a Amazônia Legal	Dummy	IBGE (Malha Municipal)
Percentual de área plantada de Soja	Área plantada ou destinada à colheita - percentual do total geral (%)	Quantitativa contínua	PAM (Tabela 5457)
Percentual de área plantada de Cana-de-açúcar	Área plantada ou destinada à colheita - percentual do total geral (%)	quantitativa contínua	PAM (Tabela 5457)
Percentual de área plantada de Milho	Área plantada ou destinada à colheita - percentual do total geral (%)	Quantitativa contínua	PAM (Tabela 5457)
Percentual de área plantada de Sorgo	Área plantada ou destinada à colheita - percentual do total geral (%)	Quantitativa contínua	PAM (Tabela 5457)
Percentual de área plantada de Café	Área plantada ou destinada à colheita - percentual do total geral (%)	Quantitativa contínua	PAM (Tabela 5457)
Percentual de área plantada de Mandioca	Área plantada ou destinada à colheita - percentual do total geral (%)	Quantitativa contínua	PAM (Tabela 5457)
Percentual de área plantada de Laranja	Área plantada ou destinada à colheita - percentual do total geral (%)	Quantitativa contínua	PAM (Tabela 5457)
Percentual de área plantada de Arroz	Área plantada ou destinada à colheita - percentual do total geral (%)	Quantitativa contínua	PAM (Tabela 5457)
Percentual de área plantada de Banana	Área plantada ou destinada à colheita - percentual do total geral (%)	Quantitativa contínua	PAM (Tabela 5457)
Percentual de área Silvicultura	Área plantada ou destinada à colheita - percentual do total geral (%)	Quantitativa contínua	PEVS (Tabela 5930)
Percentual de área plantada de Pastagem	Área plantada ou destinada à colheita - percentual do total geral (%)	Quantitativa contínua	MapBiomias
Volume de Crédito Rural	Crédito rural contratado por produtores rurais em instituições financeira (R\$)	Quantitativa contínua	BACEN
Número de técnicos Agrícolas	Número de trabalhadores registrados nas seguintes CBO: 3211,3212 e 3213	Quantitativa discreta	RAIS
Multas ambientais	Soma do valor de todos os autos de infração registrados no sistema do IBAMA/MMA	Quantitativa contínua	IBAMA

Fonte: Elaboração própria

3.3 Resultados a nível municipal

Nesta seção são apresentados os resultados da estimação usando o *Generalized Propensity Score* (GPS) a nível municipal. Os exercícios foram realizados no software *Stata* seguindo rotina de Bia e Mattei (2008). Basicamente, como dito anteriormente, este método estima o resultado potencial médio da variável resposta (neste caso, total desmatado dentro dos imóveis) quando sujeita a um certo nível de tratamento (Dose). Neste estudo o tratamento é o percentual de área cadastrada no CAR nos municípios em cada ano. A análise é uma cross-section, e foram coletadas covariadas (densidade demográfica, PIB per capita, crédito rural, técnicos agrícolas, pastagem, entre outras) para fazer o balanceamento.

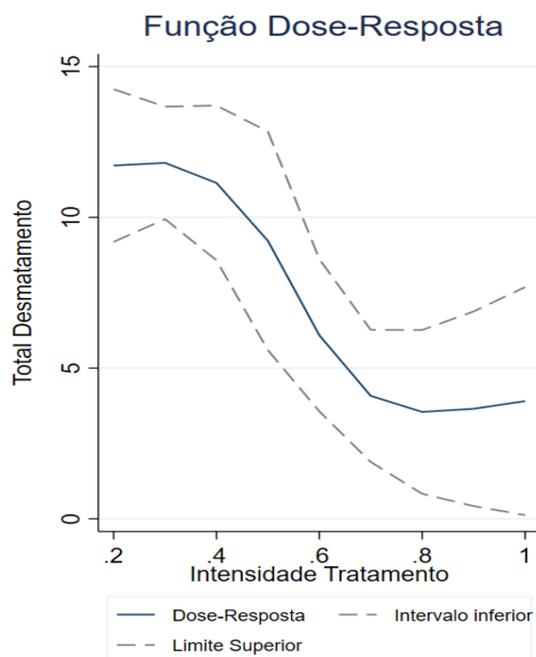
De forma simplificada o que este estimador faz é calcular um escore de propensão num primeiro estágio regredindo a variável tratamento contra as covariadas e em seguida estima a função dose-resposta que captura os resultados potenciais médios na dosagem do tratamento. Os efeitos da dose do tratamento podem ser interpretados como os valores esperados do resultado se todos os municípios recebessem cada dose específica do tratamento. A estimação foi feita para os anos de 2016, 2017, 2018 e 2019. Nesta seção optou-se por trazer os resultados gráficos e alguns comentários sobre eles, no apêndice estão as tabelas do primeiro estágio.

Um ponto importante para entender o contexto em que estamos inseridos é saber como foi a dinâmica de adesão ao CAR por parte dos municípios brasileiros. Apesar do novo Código Florestal ter sido aprovado em 2012, o CAR só teve início, de fato, em 2014, ano em que os primeiros imóveis fizeram o processo de cadastro na base do SICAR. Já em 2014 cerca de 80% dos municípios dos Biomas Amazônia e Cerrado já possuíam algum imóvel cadastrado no sistema. Em 2015, esse percentual de cidades que aderiram ao cadastro já beirava os 100%. Ou seja, no segundo ano de "tratamento" todas as observações (municípios) já estavam sendo tratados, e assim não temos um grupo de cidades que

passou uma parte do período sem experimentar a exposição à nova política, e que portanto serviria de grupo de controle para a estimação. Essa estatística impediu que nossa análise fosse feita utilizando outros métodos mais convencionais que necessitam de um grupo de controle, e para contornar esta dificuldade utilizamos o GPS.

A escolha temporal se justifica pela natureza do cadastro ambiental, nos primeiros anos da adoção, apesar de a imensa maioria dos municípios estarem presente no sistema, a cobertura em termo de área ou número imóveis ainda era baixa. Portanto, escolhemos iniciar a análise no ano de 2016. Neste ano, a média do percentual de cobertura do CAR nos municípios era de 31% e 9 a cada 10 municípios estavam abaixo dos 50% de área cadastrada, ou seja, o processo de implementação ainda não estava tão avançado. Encontrou-se o seguinte resultado para 2016 (figura 3.1):

Figura 3.1: Estimativa Dose-Resposta da proporção de área no CAR sobre o nível de desmatamento- Ano 2016

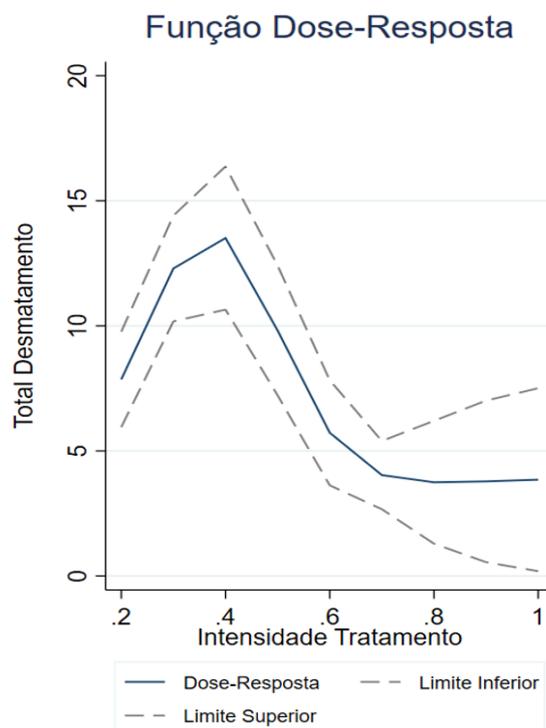


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Percebe-se que há uma tendência de quanto maior a dose, menor o nível da variável resposta. A partir de 30% de área cadastrada encontra-se que quanto maior o nível do tratamento menor é o desmatamento no município, em média. Municípios com maior adesão ao CAR, portanto, desmataram menos em 2016. Importante ressaltar que o modelo não garante uma interpretação causal para o resultado encontrado, conforme destacado no texto de Hirano e Imbens (2004).

O mesmo exercício foi repetido para o ano de 2017, no qual a média municipal de área cadastrada no CAR era de 38% e 9 a cada 10 dos municípios possuíam menos de 60% de adesão ao novo sistema. A figura 3.2 ilustra a estimação da função dose-resposta para o ano de 2017. Nota-se um padrão semelhante a 2016, com uma tendência negativa, indicando que quanto maior a dose do tratamento menor o nível de desmatamento a partir de certa nível de adesão.

Figura 3.2: Estimativa Dose-Resposta da proporção de área no CAR sobre o nível de desmatamento- Ano 2017



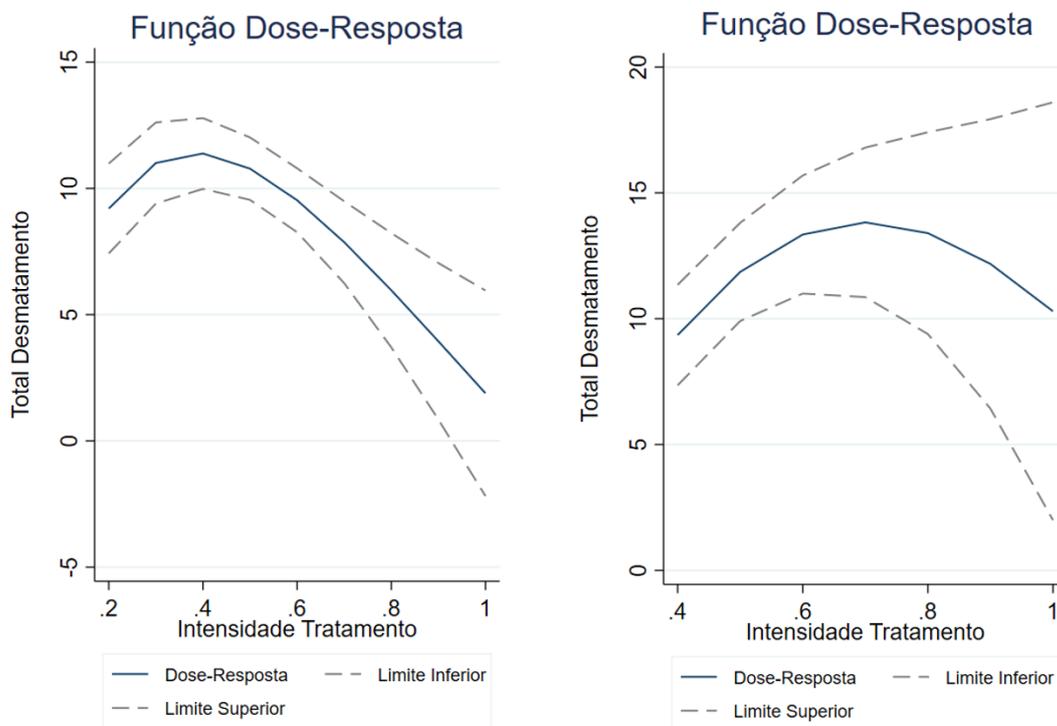
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Para os últimos anos analisados houve um avanço significativo na área cadastrada no CAR nos municípios brasileiros. Em 2018, por exemplo, menos de 10% dos municípios tinham menos de 30% de área cadastrada e a média já chegava perto dos 50%. Já para 2019, o primeiro quartil de municípios já chegava a marca de 50% de área cadastrada. Em virtude disso, a hipótese de distribuição normal para a variável tratamento não foi mais satisfeita. Para contornar este problema foi utilizado um Pacote de funções do software do Stata mais atualizado, que cobre outros tipos de distribuição.

Nota-se que para 2018 o comportamento da função dose-resposta segue um padrão muito semelhante aos anos anteriores analisados (2016 e 2017). Com uma relação negativa entre intensidade na adesão ao CAR e o valor esperado do desmatamento nos imóveis rurais. No entanto, a estimação para o ano de 2019 apresenta um comportamento um pouco diferente dos outros anos. Dessa vez a curva apresenta um formato que remete a um "U" invertido. Ou seja, há uma tendência de aumento do desmatamento esperado até determinado percentual da variável tratamento e a partir de 0.7 essa tendência se reverte numa trajetória de queda. Uma possível explicação para este movimento, é que em 2019 observou-se um aumento bastante significativo no total de desmatamento na Amazônia - mais de 60% em relação a 2018 (maiores detalhes podem ser encontrados em Souza (2022)). Portanto, esse "choque" positivo na perda de vegetação pode estar conduzindo o resultado encontrado aqui.

As estimações para a função dose-resposta para 2018 e 2019 encontram-se a seguir na figura 3.3:

Figura 3.3: Estimativa Dose-Resposta da proporção de área no CAR sobre o nível de desmatamento- Anos: 2018 (Esquerda) e 2019 (Direita)



Fonte: Elaboração própria.

4. Conclusão

Essa pesquisa utilizou métodos econométricos para sugerir evidências do impacto do Cadastro Ambiental Rural sobre o nível de desmatamento nos imóveis rurais brasileiros. Como dito ao longo do texto existem diversas limitações que não permitem afirmar que os resultados apresentados são causais, ou seja, que o CAR contribuiu ou não para redução do desmatamento no Brasil. Acreditamos que os achados deste trabalho podem contribuir para o debate sobre essa política pública que ainda está em fase de aprimoramento, e estudos posteriores podem melhorar ainda mais as contribuições trazidas aqui.

Utilizando o método Diferenças em diferenças para múltiplos períodos mostrou-se que não há evidências de efeito da adesão ao CAR no desmatamento dos imóveis rurais para Amazônia e Cerrado quando analisados todos os imóveis. No entanto, ao dividir a amostra de acordo com o tamanho da propriedade rural, foi possível observar que nos imóveis menores houve uma redução do desmatamento naqueles municípios que entraram no cadastro quando comparados com o grupo de controle. Mais uma vez, ressalta-se que a ausência de covariadas impede a afirmação de que o efeito encontrado é causal.

Por fim, foi realizado um exercício utilizando o método de Score de Propensão Generalizado onde observou-se uma relação negativa entre a intensidade do tratamento (percentual de área cadastrada no CAR) e o nível de desmatamento nos imóveis dos municípios brasileiros. No entanto, como destacado no texto, este método não nos garante uma interpretação causal, apenas um resultado potencial médio.

Referências Bibliográficas

ANGRIST, J.; PISCHKE, J.-S. *Mostly Harmless Econometrics*. [S.l.]: Princeton University Press, 2009. Citado na página 7.

BIA, M.; MATTEI, A. A stata package for the estimation of the dose–response function through adjustment for the generalized propensity score. *The Stata Journal*, v. 8, n. 3, p. 354–373, 2008. Citado na página 28.

CALLAWAY, B.; SANT’ANNA, P. H. Difference-in-differences with multiple time periods. *Journal of Econometrics*, v. 225, n. 2, p. 200–230, 2021. Citado 3 vezes nas páginas 3, 7 e 10.

HIRANO, K.; IMBENS, G. The propensity score with continuous treatments. *Applied Bayesian Modeling and Causal Inference from Incomplete-Data Perspectives*, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.

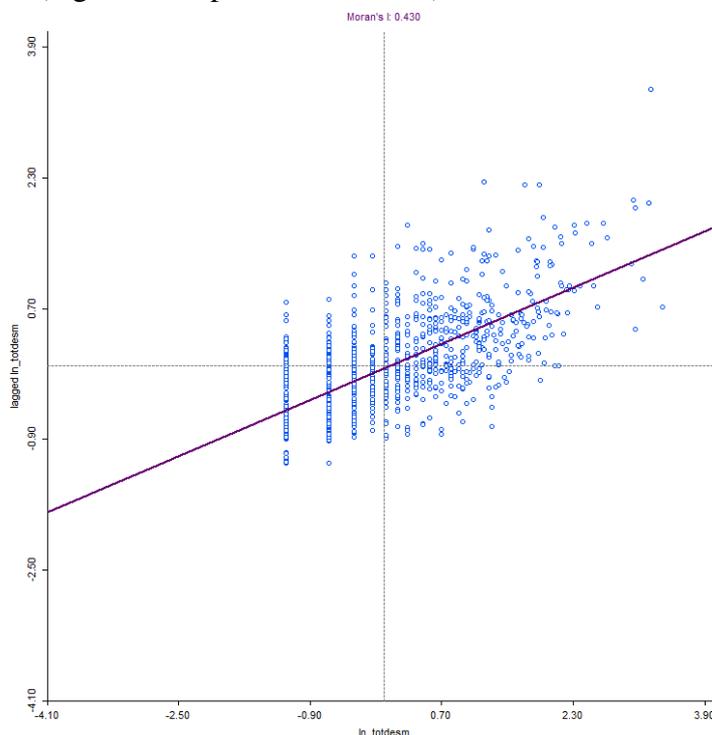
SOUZA, C. G. . W. A. J. M. . G. Cadastro ambiental rural: uma análise exploratória de indicadores ambientais. 2022. Citado 3 vezes nas páginas 8, 13 e 30.

Apêndice

Matriz de vizinhança e testes de dependência espacial

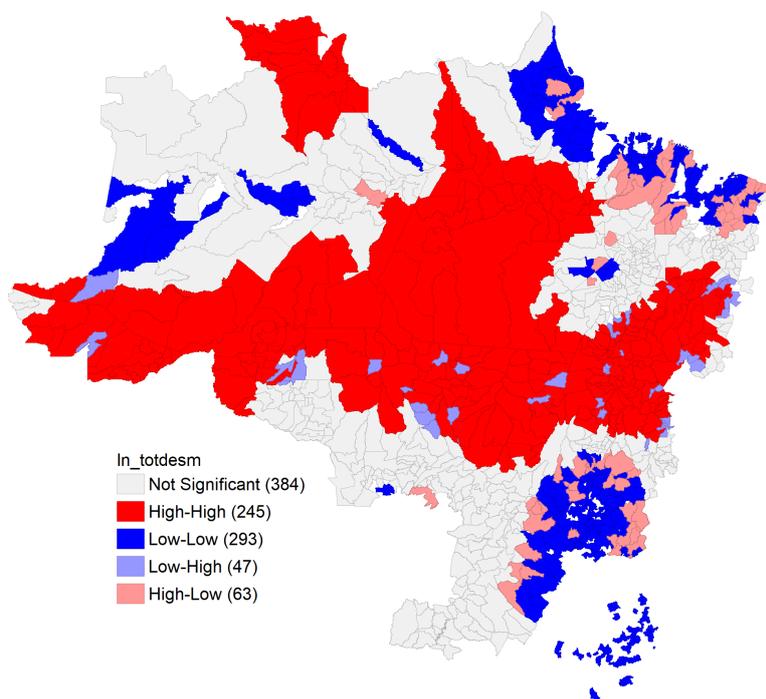
A fim de verificar a existência de autocorrelação espacial na principal variável desse estudo, o desmatamento no interior dos imóveis rurais, foi calculado o I de Moran, índice proposto por Luc Anselin (1994) e utilizado como ferramenta estatística para testar a autocorrelação local e para detectar objetos espaciais com influência no indicador Moran Global. Como observado na Figura 4.1, encontrou-se um I Moran = 0,43. Valores significativamente altos e positivos apontam a presença de um “cluster” tanto em valores baixos quanto em valores altos do atributo. Vale destacar que foi considerado como peso espacial a distância euclidiana, visto a presença de "ilhas" nos dados. Observa-se a ocorrência de outliers altos na região central do mapa, que corresponde a fronteira entre Amazônia e Cerrado do estado, cujos municípios em vermelho seguem processo de dependência dos demais municípios a sua volta.

Figura 4.1: Diagrama de espalhamento de Moran Local - Variável desmatamento no interior dos imóveis rurais em 2019 (logaritmo neperiano na base e)



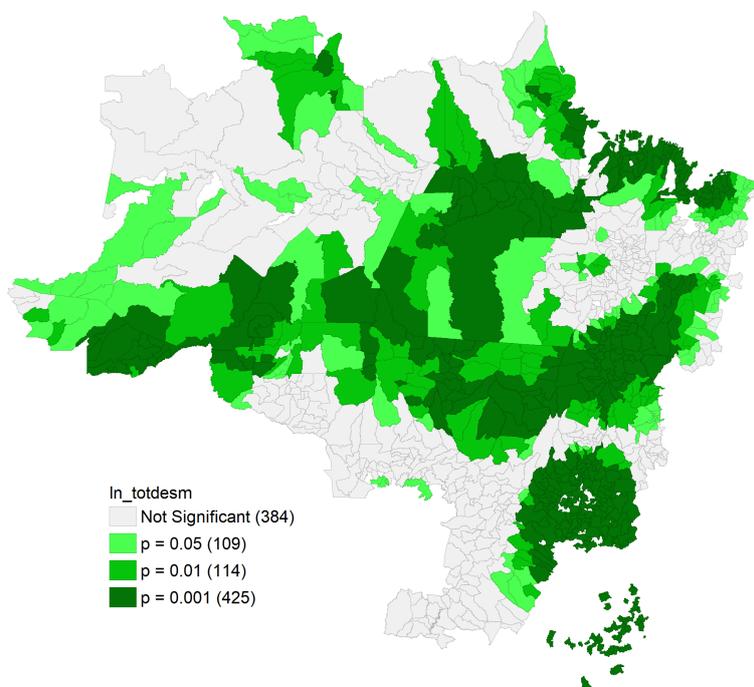
Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.2: Mapas de clusters bivariados do desmatamento no interior dos imóveis rurais em 2019



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.3: Indicador local de análise espacial do desmatamento no interior dos imóveis rurais em 2019

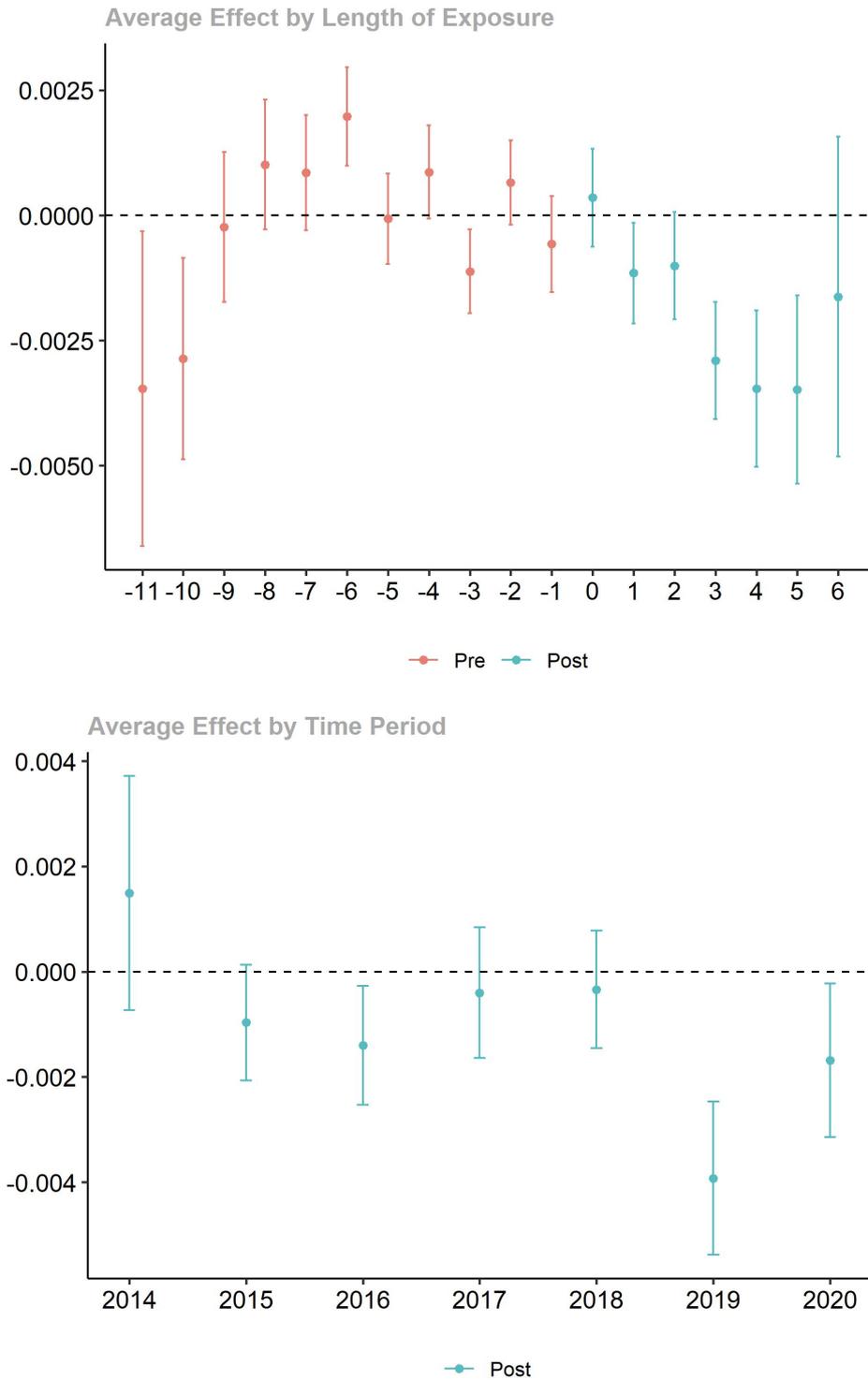


Fonte: Elaboração própria.

Demais resultados das estimações econométricas

▪ Estimções para os imóveis intermediários - Amazônia

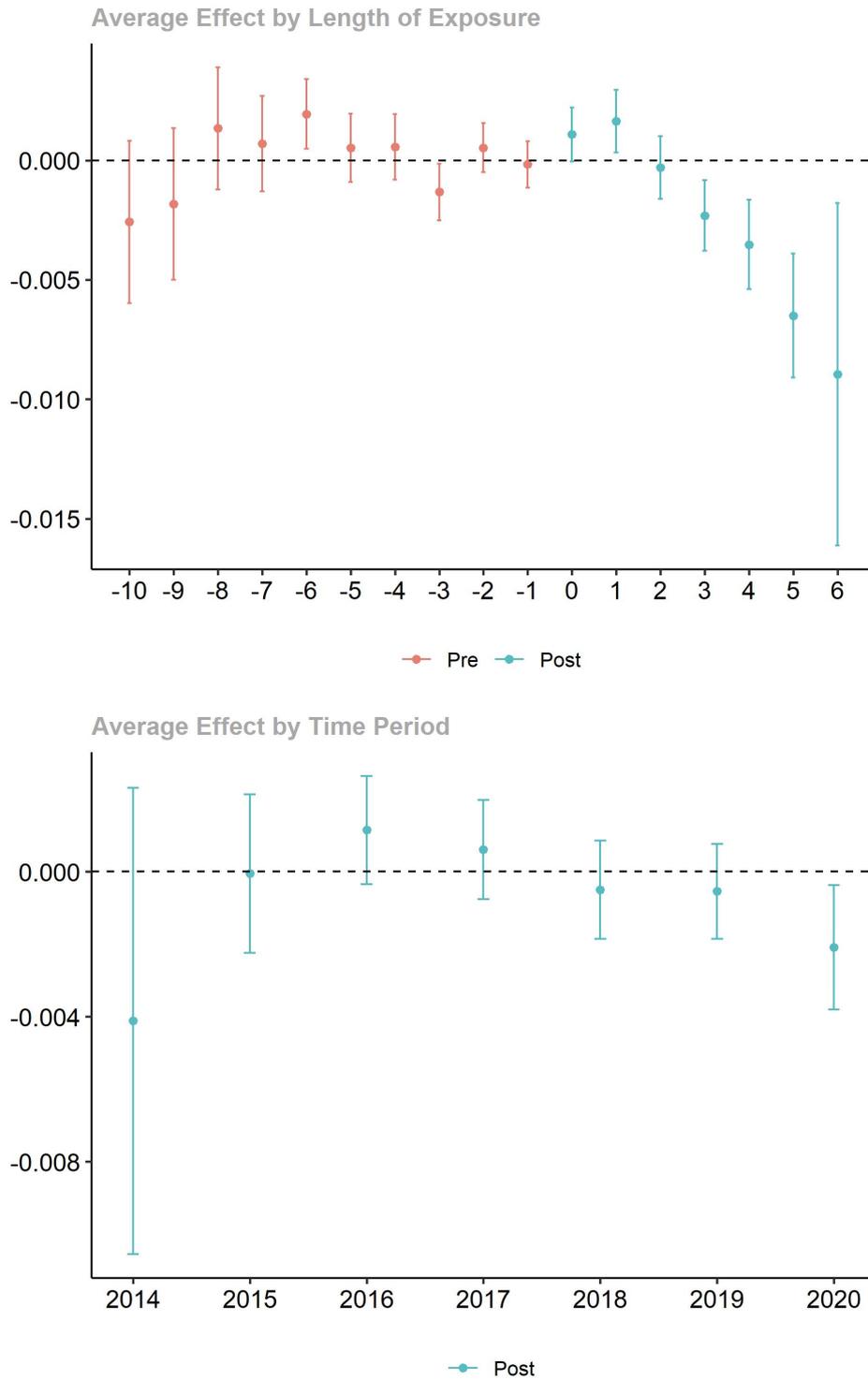
Figura 4.4: Efeito do CAR sobre o desmatamento nos imóveis rurais de tamanho intermediário na Amazônia



Fonte: Elaboração própria.

▪ **Estimações para os imóveis intermediários - Cerrado**

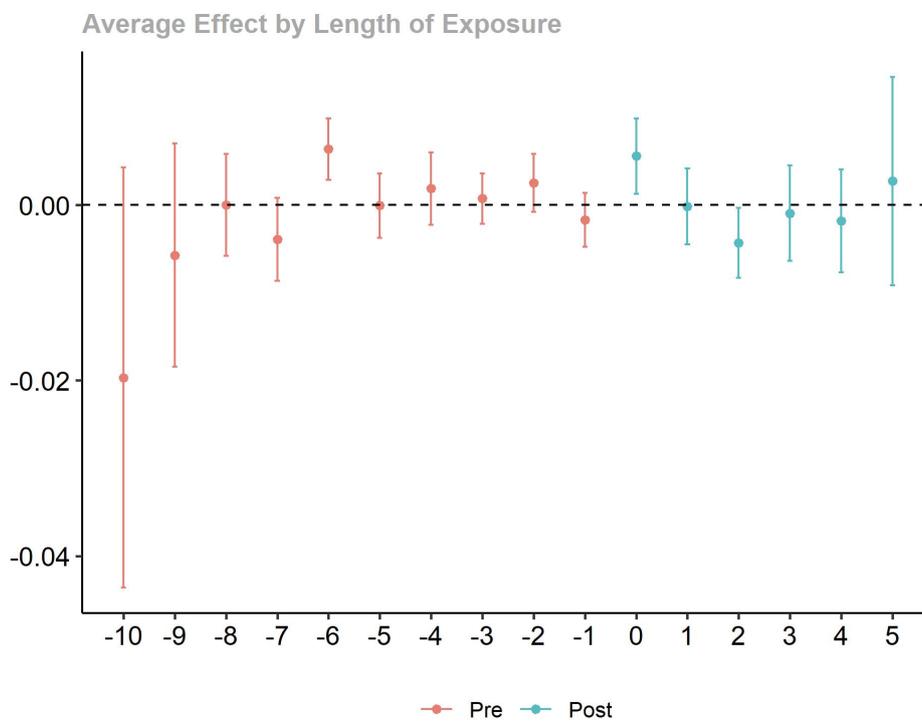
Figura 4.5: Efeito do CAR sobre o desmatamento nos imóveis rurais de tamanho intermediário no Cerrado



Fonte: Elaboração própria.

▪ Estimações para todos os imóveis da Amazônia sem incluir 2020

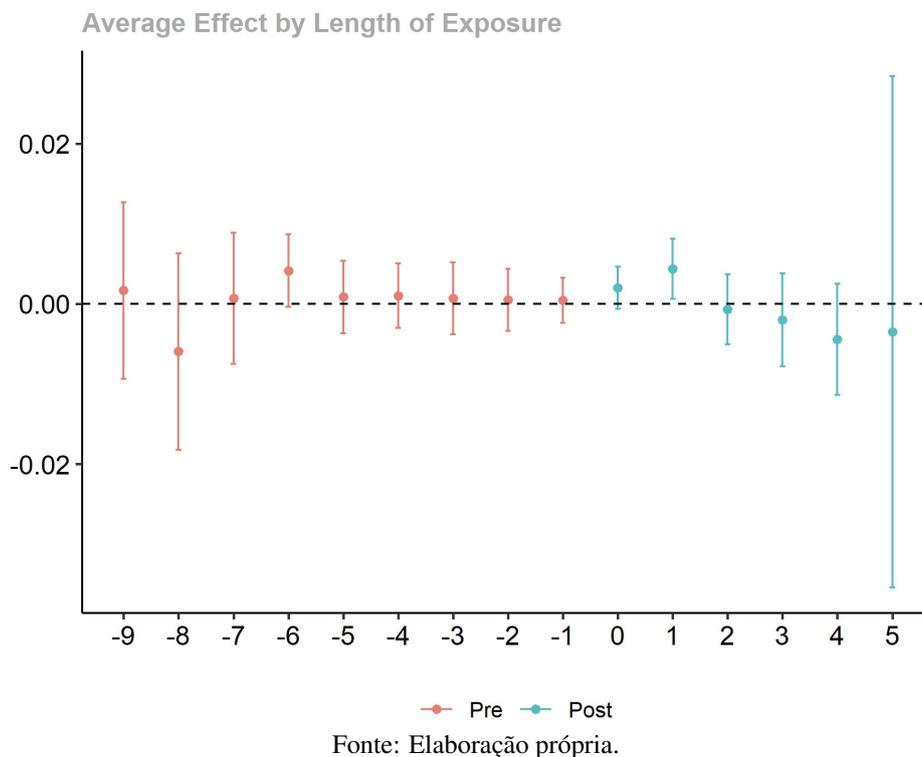
Figura 4.6: Efeito do CAR sobre os desmatamento nos imóveis rurais da Amazônia - Período: 2008-2019



Fonte: Elaboração própria.

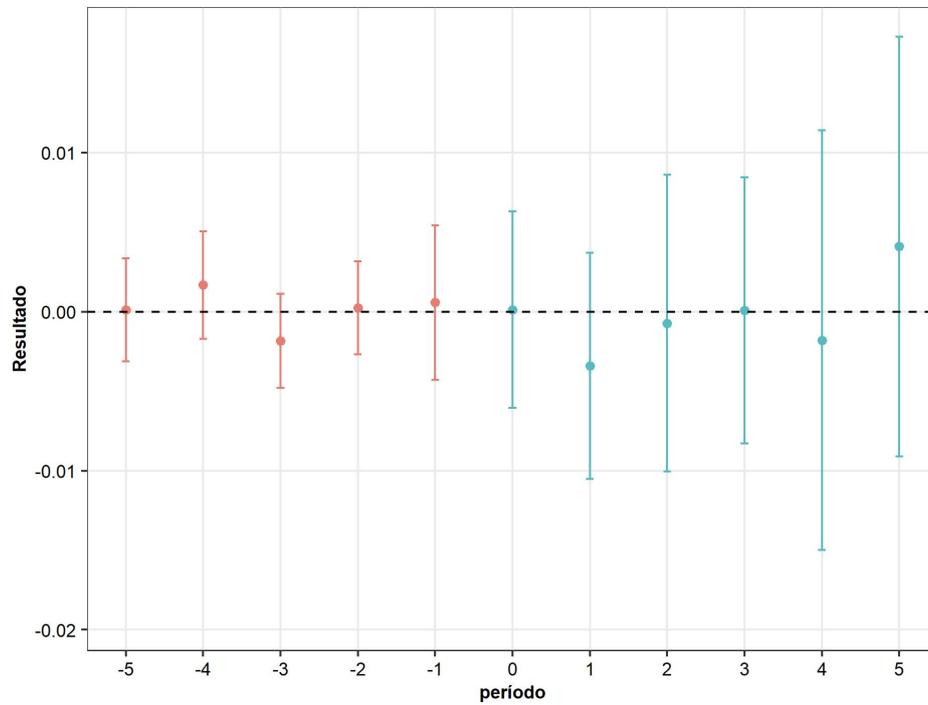
▪ **Estimações para todos os imóveis do Cerrado sem incluir 2020**

Figura 4.7: Efeito do CAR sobre os desmatamento nos imóveis rurais do Cerrado - Período: 2008-2019



▪ Estimação com Efeitos Fixos para Amazônia

Figura 4.8: Efeitos do CAR sobre os imóveis rurais da Amazônia - Especificação com efeitos fixos



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 4.1: Resultados do primeiro estágio do GPS - 2016

Variáveis	Coefficientes	Erro Padrão	teste t	p-valor
Densidade Demográfica	-0.00018	0.00009	-1.93	0.053
Secretaria Ambiental	0.0383	0.0214	1.79	0.074
Percentual Pastagem	0.0437	0.0223	1.96	0.05
Pib per capita	0.0006	0.0003	1.88	0.061
Urbano	-0.0315	0.0196	-1.61	0.108
Rural Remoto	0.0163	0.02	0.81	0.42
Rural Adjacente	-0.0143	0.018	-0.79	0.43
Intermediário Remoto	0.0443	0.028	1.56	0.118
VAB Pecuário	-0.0016	0.0009	-1.73	0.084
Multas per capita	0.00006	0.00005	1.29	0.196
Amazônia Legal	-0.0152	0.011	-1.39	0.165
Credito per capita	-0.000019	0.000022	-0.87	0.385
Constante	0.293	0.027	10.74	0.00

Fonte: Elaboração própria

Tabela 4.2: Resultados do primeiro estágio do GPS - 2017

Variáveis	Coefficientes	Erro Padrão	teste t	p-valor
Densidade Demográfica	-0.00017	0.00009	-1.73	0.084
Secretaria Ambiental	0.0438	0.0228	1.92	0.055
Percentual Pastagem	0.016	0.0238	0.67	0.50
Pib per capita	0.0008	0.0003	2.39	0.017
Urbano	-0.024	0.021	-1.15	0.249
Rural Remoto	0.0275	0.021	1.28	0.20
Rural Adjacente	0.01	0.019	0.54	0.59
Intermediário Remoto	0.0623	0.03	2.06	0.039
VAB Pecuário	-0.0024	0.001	-2.37	0.018
Multas per capita	0.00004	0.00008	-0.53	0.593
Amazônia Legal	0.015	0.011	1.29	0.197
Credito per capita	-0.000014	0.000014	-0.94	0.345
Constante	0.334	0.029	11.40	0.00

Fonte: Elaboração própria

Evidência Express

