



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E CONTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA - CAEN

MARÍLIA RODRIGUES FIRMIANO

DESMATAMENTO NO BIOMA AMAZÔNIA: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS A PARTIR
DE IMÓVEIS RURAIS

FORTALEZA

2026

MARÍLIA RODRIGUES FIRMIANO

DESMATAMENTO NO BIOMA AMAZÔNIA: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS A PARTIR DE
IMÓVEIS RURAIS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia - CAEN da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de doutora em Economia. Área de Concentração: Economia

Orientadora: Profa. Dra. Zilania Mariano

Coorientador: Prof. Dr. Edward Costa

FORTALEZA

2026

MARÍLIA RODRIGUES FIRMIANO

DESMATAMENTO NO BIOMA AMAZÔNIA: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS A PARTIR DE
IMÓVEIS RURAIS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia - CAEN da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de doutora em Economia. Área de Concentração: Economia

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Zilania Mariano (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Edward Costa (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC).

Prof. Dr. Guilherme Irffi
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Paula Carvalho Pereda
Universidade de São Paulo (USP)

Prof. Dr. Marcus Vinicius da Silva Alves
Serviço Florestal Brasileiro (SFB/MMA)

In memoriam, às minhas mães, Fátima (bióloga) e Sandra (de coração), que, mesmo ausentes, permanecem vivas em tudo aquilo que sou. Seus exemplos de força, amor e generosidade continuam a me inspirar diariamente. Esta conquista também é de vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo de toda esta trajetória. Nos momentos de incerteza, foi na fé que encontrei equilíbrio para seguir em frente e concluir este ciclo.

À minha família, base de tudo. Ao meu pai, por sempre acreditar em mim. À tia Salete Rodrigues por ser exemplo de dedicação e integridade. Ao meu filho Igor Firmiano, que é minha maior motivação e razão para seguir buscando ser melhor a cada dia. Ao Mauricio Canêdo, meu companheiro de vida, pelo apoio incondicional, paciência, tornando essa caminhada mais leve mesmo nos momentos mais desafiadores.

À minha orientadora Profa. Dra. Zilania Mariano e ao meu coorientador Prof. Dr. Edward Costa, pelo apoio, orientação e incentivo ao longo de toda esta jornada. Agradeço, em especial, pela confiança depositada, pela disponibilidade e pela insistência nos momentos em que eu mesma duvidei, pois sem vocês, eu não teria conseguido chegar até aqui.

Aos pesquisadores Erivelton Souza e Vitória Arruda, pelas trocas, pelos aprendizados e pela parceria ao longo desse percurso.

À equipe administrativa da pós-graduação, pelo suporte fundamental ao longo de toda a trajetória acadêmica. Em especial, à Carmem Rodrigues, pela disponibilidade, atenção e cuidado em cada detalhe, tornando os processos mais leves.

Aos amigos que fiz durante o percurso da pós-graduação, Analice Sampaio, Brysa Fernandes, Davi Albuquerque, Fernando Mansilla, Heitor Gabriel, José Carlos Lima, Leudiane Mariano, Luiz Sampaio, Mário Martins, Mayana Andrade, Marleton Braz, Odalice Sampaio, Valdeir Monteiro e Wendel Mendes. Compartilhar esse caminho com vocês tornou a experiência mais rica e significativa.

Às amigas pessoais, Amanda Arabage, Camila Mata Machado, Fernanda Caires, Marina Lafer, Priscilla Bacalhau, Natália Carvalho, Jéssica Rêgo e Sil Sampaio, pelo incentivo constante e por estarem presentes, mesmo quando a rotina acadêmica exigiu tanto de mim.

Ao doutorando em Engenharia Elétrica, Ednardo Moreira Rodrigues, e ao seu assistente, Alan Batista de Oliveira, aluno de graduação em Engenharia Elétrica, pela adequação do *template* utilizado neste trabalho, de modo que este ficasse de acordo com as normas da biblioteca da Universidade Federal do Ceará (UFC).

A todos os que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta tese, o meu sincero agradecimento.

“E não nos cansemos de fazer o bem, porque no tempo certo faremos a colheita, se não desanimarmos.”

(Gálatas 6:9)

RESUMO

Esta tese é composta por dois artigos que investigam o desmatamento proveniente de imóveis rurais no bioma Amazônia. No primeiro capítulo, analisa-se o impacto causal da inclusão de municípios na Lista de Municípios Prioritários (LMP) sobre o desmatamento associado a imóveis rurais, utilizando dados geoespaciais do Cadastro Ambiental Rural (CAR), combinados com informações de desmatamento e variáveis socioeconômicas, no período de 2010 a 2022. A estratégia empírica baseia-se no método de Controle Sintético Generalizado, que permite lidar com a adoção escalonada da política e com heterogeneidades não observadas. Os resultados indicam que a LMP foi eficaz na redução do desmatamento, com efeitos que se consolidam ao longo do tempo e que apresentam heterogeneidade espacial relevante entre os municípios beneficiados pela política. No segundo capítulo, investiga-se a relação entre o crédito rural e o desmatamento, bem como o comportamento desta relação em diferentes cenários: em 2008, período em que foi instituída a Resolução do Banco Central do Brasil (BACEN) nº 3.545 e implementada a moratória da soja; em 2014, período em que o CAR foi implementado; e em 2019, período em que houve o afrouxamento das políticas de fiscalização no Brasil. A partir de uma base de dados com informações sobre desmatamento e variáveis socioeconômicas, no período de 2008 a 2019, adotou-se uma abordagem de tratamento contínuo baseada no Escore de Propensão Generalizado (GPS) e em estimadores semiparamétricos. Os resultados evidenciam uma relação positiva e não linear entre crédito e desmatamento, indicando que níveis mais elevados de financiamento estão associados a maiores incrementos de desmatamento. Adicionalmente, a análise quantílica revela heterogeneidade ao longo da distribuição, com efeitos mais pronunciados nos quantis superiores, sugerindo que áreas com maior intensidade de desmatamento respondem de forma mais sensível à expansão do crédito, enquanto não se observam efeitos significativos em contextos de baixa pressão antrópica. Tomados em conjunto, os resultados indicam que o desmatamento decorre da interação entre instrumentos de política pública que atuam por meio de mecanismos distintos. Enquanto as políticas de comando e controle, como a LMP, contribuem para a redução do desmatamento, instrumentos econômicos, como o crédito rural, podem, na ausência de condicionantes adequados, ampliar os incentivos à conversão do uso da terra. Assim, a tese contribui para a literatura ao deslocar a análise para o nível dos imóveis rurais e ao fornecer evidências empíricas robustas sobre os mecanismos pelos quais diferentes instrumentos de política moldam a dinâmica do desmatamento, oferecendo

subsídios relevantes para o aprimoramento do desenho e da articulação de políticas ambientais no contexto amazônico.

Palavras-chave: Desmatamento; Amazônia; Crédito Rural; Políticas; Cadastro Ambiental Rural; Avaliação; Controle Sintético Generalizado; Escore de Propensão Generalizado.

Código JEL: C21, C23, C54, O13, Q12, Q14, Q23, Q24, Q58.

ABSTRACT

This thesis comprises two articles that investigate deforestation on rural properties in the Amazon biome. In the first chapter, the causal impact of municipalities' inclusion in the List of Priority Municipalities (LPM) on deforestation associated with rural properties is analyzed, using geospatial data from the Rural Environmental Registry (CAR), combined with deforestation data and socioeconomic variables, covering the period from 2010 to 2022. The empirical strategy is based on the Generalized Synthetic Control method, which allows for handling staggered policy adoption and unobserved heterogeneity. The results indicate that the LPM was effective in reducing deforestation, with effects that consolidate over time and exhibit significant spatial heterogeneity across municipalities that benefited from the policy. In the second chapter, the relationship between rural credit and deforestation is investigated, as well as how this relationship behaves under different policy contexts: in 2008, when Central Bank Resolution No. 3,545 was enacted and the Soy Moratorium was implemented; in 2014, when the CAR was introduced; and in 2019, when environmental enforcement policies were relaxed in Brazil. Using a dataset containing deforestation and socioeconomic variables for the period from 2008 to 2019, a continuous treatment approach based on the Generalized Propensity Score (GPS) and semiparametric estimators is employed. The results reveal a positive, non-linear relationship between credit and deforestation, indicating that higher levels of financing are associated with larger increases in deforestation. Additionally, the quantile analysis reveals heterogeneity across the distribution, with more pronounced effects in the upper quantiles, suggesting that areas with higher deforestation intensity respond more strongly to credit expansion, while no significant effects are observed in contexts of low anthropogenic pressure. Taken together, the results indicate that deforestation arises from the interaction between public policy instruments operating through distinct mechanisms. While command-and-control policies, such as the LPM, help reduce deforestation, economic instruments, such as rural credit, may—if not properly conditioned—amplify incentives for land-use conversion. Thus, this thesis contributes to the literature by shifting the analysis to the level of rural properties and by providing robust empirical evidence on the mechanisms through which different policy instruments shape deforestation dynamics, offering relevant insights for improving the design and coordination of environmental policies in the Amazon context.

Keywords: Deforestation; Amazon; Rural Credit; Public Policies; Rural Environmental Registry

(CAR); Impact Evaluation; Generalized Synthetic Control; Generalized Propensity Score.

JEL code: C21, C23, C54, O13, Q12, Q14, Q23, Q24, Q58.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arranjo das responsabilidades de cada ator na implementação do CAR. Fonte: MAPA, 2022.	23
Figura 2 – Efeitos estimados do tratamento sobre o desmatamento	56
Figura 3 – Trajetória do desmatamento: tratado e controle sintético	57
Figura 4 – Resultados do teste de placebo	63
Figura 5 – Trajetórias médias observadas (Média do grupo tratado) e contrafactuais estimadas (Média estimada de $Y(0)$), por estado.	65
Figura 6 – Diagnóstico da suposição de normalidade	91
Figura 7 – Diagnóstico de suporte comum (<i>overlap</i>).	93
Figura 8 – Diagnóstico de balanceamento antes e após a aplicação dos pesos IPTW. . .	94
Figura 9 – Função dose-resposta estimada pelo método semiparamétrico de Bia e Mattei (<i>Additive Spline</i>) para os anos de 2008, 2014 e 2019.	95
Figura 10 – Função dose-resposta quantílica – 2008	98
Figura 11 – Função dose-resposta quantílica – 2014	99
Figura 12 – Função dose-resposta quantílica – 2019	100
Figura 13 – Função Dose-Resposta de Hirano e Imbens (2004)	102
Figura 14 – Análise comparativa da função dose-resposta	103
Figura 15 – Função dose-resposta por porte	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese dos principais indicadores do Cadastro Ambiental Rural (CAR) no bioma Amazônia	24
Tabela 2 – Indicadores do Cadastro Ambiental Rural (CAR) por estado do bioma Amazônia	24
Tabela 3 – Resumo da dinâmica de entrada e saída de municípios na LMP.	30
Tabela 4 – Médias pré-tratamento (2010-2016): municípios tratados e não tratados . . .	52
Tabela 5 – Efeito médio do tratamento (ATT médio)	53
Tabela 6 – Efeitos por período (inclui pré-tratamento)	55
Tabela 7 – Heterogeneidade dos efeitos do tratamento por Unidade da Federação . . .	64
Tabela 8 – Estatísticas descritivas das variáveis do modelo: 2008, 2014 e 2019	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variáveis utilizadas na análise: classificação, descrição e fonte dos dados . . .	44
Quadro 2 – Variáveis utilizadas na análise: classificação, descrição e fonte dos dados . . .	80
Quadro 3 – Governança da política (Decreto nº 6.321/2007 e Portaria MMA nº 28/2008)	119
Quadro 4 – Principais atos normativos que regulamentaram a LMP (2007–2023)	121
Quadro 5 – Lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento	134

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATT	Efeito Médio do Tratamento
BACEN	Banco Central do Brasil
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CCIR	Certificado de Cadastro de Imóvel Rural
CRA	Cotas de Reserva Ambiental
CSG	Controle Sintético Generalizado
DETER	Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real
DiD	Diferenças-em-Diferenças
DOU	Diário Oficial da União
GMM	Generalized Method of Moments
GPS	Escore de Propensão Generalizado
GWR	Geographically Weighted Regression
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LMP	Lista de Municípios Prioritários
MICE	Multiple Imputation by Chained Equations
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PPCDAm	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
PRA	Programa de Regularização Ambiental
SNCR	Sistema Nacional de Crédito Rural

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	CADASTRO AMBIENTAL RURAL (CAR)	20
3	POLÍTICAS DE COMANDO E CONTROLE	26
3.1	Lista de municípios para ações de prevenção e controle do desmatamento na Amazônia.	28
3.2	Políticas subnacionais de comando e controle.	31
4	CAPÍTULO 1: IMPACTO DA LISTA DE MUNICÍPIOS PRIORITÁRIOS SOBRE O DESMATAMENTO EM IMÓVEIS RURAIS NO BIOMA AMAZÔNIA.	33
4.1	INTRODUÇÃO	33
4.2	REVISÃO DE LITERATURA	36
4.3	METODOLOGIA	41
4.3.1	<i>Base de Dados</i>	41
4.3.2	<i>Estratégia de Identificação</i>	45
4.3.2.1	<i>Estratégia Econométrica</i>	47
4.4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	51
4.4.1	<i>Análise descritiva dos dados</i>	51
4.4.2	<i>Efeito médio sobre os tratados (ATT)</i>	53
4.4.2.1	<i>Dinâmica temporal dos efeitos (event study por período)</i>	54
4.4.2.2	<i>Discussão dos resultados</i>	56
4.4.3	<i>Teste Placebo</i>	59
4.4.3.1	<i>Tipo de placebo</i>	59
4.4.3.2	<i>Modelo de placebo aplicado</i>	60
4.4.3.3	<i>Resultados do teste placebo</i>	62
4.4.4	<i>Teste de Heterogeneidade</i>	63
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
5	CAPÍTULO 2: MAIS CRÉDITO, MAIS DESMATAMENTO? EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS EM DOMICÍLIOS RURAIS NO BIOMA AMAZÔNIA.	70
5.1	INTRODUÇÃO	70

5.2	REVISÃO DE LITERATURA	74
5.3	METODOLOGIA	78
5.3.1	<i>Base de dados</i>	<i>78</i>
5.3.2	<i>Estratégia de identificação</i>	<i>80</i>
5.3.2.1	<i>Estratégia econométrica</i>	<i>82</i>
5.4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	89
5.4.1	<i>Análise descritiva dos dados</i>	<i>89</i>
5.4.2	<i>Diagnóstico de balanceamento</i>	<i>90</i>
5.4.3	<i>Efeito da intensidade de dose</i>	<i>92</i>
5.4.4	<i>Função dose-resposta quantílica</i>	<i>97</i>
5.4.5	<i>Teste de Robustez</i>	<i>101</i>
5.4.6	<i>Efeitos heterogêneos</i>	<i>103</i>
5.5	Considerações Finais	106
6	CONCLUSÕES GERAIS	109
	REFERÊNCIAS	111
	APÊNDICES	118
	APÊNDICE A – Governança da LMP	118
	APÊNDICE B – Principais atos normativos que regulamentaram a LMP (2007–2023)	120
	APÊNDICE C – Tabela de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento	133

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica do desmatamento no bioma Amazônia permanece um dos principais desafios ambientais contemporâneos, com implicações diretas para a biodiversidade, o ciclo hidrológico e o equilíbrio climático global. A literatura evidencia que a remoção da vegetação nativa está associada a alterações nos regimes de precipitação, ao aumento da temperatura e à intensificação de eventos climáticos extremos, além de impactos relevantes sobre a sociobiodiversidade e os serviços ecossistêmicos (Santos *et al.*, 2021; Hänggli *et al.*, 2023). Diante desse cenário, o Estado brasileiro estruturou, a partir dos anos 2000, um conjunto abrangente de políticas públicas voltadas à contenção do desmatamento, com destaque para o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) e seus instrumentos associados.

A literatura sobre desmatamento na Amazônia avançou significativamente nas últimas duas décadas ao investigar os determinantes econômicos, institucionais e ambientais da conversão da cobertura florestal. Estudos clássicos e contemporâneos têm destacado a importância de fatores como a expansão agropecuária, os preços das commodities agrícolas, a infraestrutura de transporte, a estrutura fundiária, as características biofísicas do território e a qualidade das instituições ambientais na explicação da dinâmica do desmatamento (Ferretti-Gallon e Busch, 2014; Hänggli *et al.*, 2023). No campo das políticas públicas, pesquisas de (West e Fearnside, 2021; (Benevit *et al.*, 2023; Arima *et al.*, 2014; Assunção *et al.*, 2015; Cisneros *et al.*, 2015; Sills *et al.*, 2015; Heilmayr *et al.*, 2020) contribuíram para compreender os efeitos de instrumentos como monitoramento por satélite, fiscalização ambiental, criação de áreas protegidas, restrições ao crédito rural e acordos setoriais privados, como a Moratória da Soja. De maneira geral, essa literatura sugere que políticas de comando e controle desempenharam papel central na redução do desmatamento observada a partir de meados dos anos 2000, embora seus efeitos variem entre territórios e dependam da capacidade institucional de implementação, monitoramento e fiscalização.

Do ponto de vista econômico, o desmatamento resulta da interação entre fatores produtivos, institucionais e de mercado. Estudos empíricos indicam que a expansão da agropecuária e o dinamismo da atividade econômica constituem os motores da degradação na Amazônia (Khan e Silva, 2023). Evidências sugerem que a variação dos preços de commodities agropecuárias desempenha um papel relevante na dinâmica do desmatamento, ao afetar a rentabilidade das atividades produtivas e, conseqüentemente, os incentivos à expansão da fronteira agrícola

(Ferreira e Coelho, 2015). Ao mesmo tempo, políticas que combinam instrumentos econômicos e regulatórios, como a restrição ao crédito rural condicionada à conformidade ambiental, têm se mostrado promissoras na indução de comportamentos mais compatíveis com a conservação ambiental.

Apesar desses avanços, permanece uma questão central ainda insuficientemente explorada pela literatura: de que forma diferentes instrumentos de política pública moldam as decisões de uso da terra que resultam em desmatamento no interior dos imóveis rurais? Embora exista amplo conhecimento sobre os determinantes do desmatamento em escalas agregadas, as evidências capazes de conectar diretamente os incentivos gerados pelas políticas ambientais e agrícolas ao comportamento observado nas unidades produtivas rurais ainda são limitadas. Essa limitação é particularmente relevante porque as decisões de converter áreas de vegetação nativa em usos produtivos são tomadas pelos proprietários e ocupantes dos imóveis rurais, enquanto a maior parte das avaliações empíricas permanece concentrada em unidades de análise agregadas, como municípios e estados.

Adicionalmente, embora o crédito rural seja reconhecido como um dos principais instrumentos de política agrícola no Brasil, sua relação com o desmatamento permanece ambígua. Por um lado, o crédito pode estimular a expansão da atividade agropecuária; por outro, quando associado a mecanismos regulatórios, pode atuar como instrumento de indução ao cumprimento da legislação ambiental. Atualizações recentes no marco regulatório, como a Resolução CMN nº 5.268/2025, reforçam esse papel ao incorporar critérios ambientais mais rigorosos à concessão de financiamento, evidenciando a relevância do tema no contexto contemporâneo.

Diante desse contexto, esta tese parte da hipótese de que o desmatamento no bioma Amazônia é influenciado simultaneamente por instrumentos de comando e controle e por instrumentos econômicos que alteram os incentivos enfrentados pelos agentes rurais. Assim, o problema central investigado consiste em compreender como diferentes mecanismos de política pública afetam a dinâmica do desmatamento associado aos imóveis rurais e em que medida esses efeitos variam no tempo e no espaço.

Para responder a essa questão, a tese é estruturada em dois capítulos complementares. O primeiro capítulo investiga os efeitos de uma política de comando e controle, analisando o impacto causal da inclusão de municípios na Lista de Municípios Prioritários (LMP) sobre o desmatamento associado aos imóveis rurais. Para isso, utiliza-se o método de Controle Sintético Generalizado (CSG), adequado a contextos de adoção escalonada da política e à presença de

heterogeneidades não observadas.

O segundo capítulo examina a atuação de um instrumento econômico e investiga como diferentes intensidades de crédito rural afetam o desmatamento. Considerando que o crédito constitui um tratamento contínuo, adota-se uma abordagem baseada no Escore de Propensão Generalizado (GPS) e em estimadores semiparamétricos para estimar a função dose-resposta entre o financiamento agropecuário e o desmatamento.

Em conjunto, os dois capítulos permitem analisar diferentes dimensões do problema, avaliando tanto políticas que buscam restringir comportamentos ambientalmente prejudiciais quanto instrumentos que podem estimular a expansão das atividades produtivas. Essa abordagem integrada possibilita compreender, de forma mais abrangente, os mecanismos pelos quais as políticas públicas influenciam a dinâmica do desmatamento na Amazônia.

Cada capítulo da tese aborda uma pergunta de pesquisa específica, utilizando estratégias metodológicas adequadas à natureza do problema investigado. O Capítulo 1 analisa o efeito causal da inclusão de municípios na Lista de Municípios Prioritários (LMP) sobre o desmatamento em imóveis rurais, utilizando o método de Controle Sintético Generalizado (CSG). O Capítulo 2 investiga como a intensidade do crédito rural afeta o desmatamento, adotando uma abordagem de tratamento contínuo baseada no Escore de Propensão Generalizado (GPS) e estimadores semiparamétricos.

Ao deslocar a análise do desmatamento para o nível dos imóveis rurais e integrar diferentes instrumentos de política em uma mesma agenda empírica, esta tese contribui para a literatura ao oferecer evidências mais próximas da unidade de decisão relevante para os agentes econômicos, além de fornecer subsídios para o aprimoramento de políticas públicas voltadas à conservação ambiental no Brasil.

Importa ressaltar que, embora o estudo explore informações detalhadas sobre o desmatamento em imóveis rurais, a análise empírica é conduzida com base em variáveis agregadas ao nível municipal. Assim, os resultados devem ser interpretados à luz dessa unidade de análise, ainda que a mensuração do fenômeno se beneficie da maior granularidade dos dados geoespaciais.

Desta forma, a presente tese está organizada em seis capítulos. Para além desta introdução, o Capítulo 2 apresenta o contexto institucional do Cadastro Ambiental Rural (CAR). O Capítulo 3 discute as políticas de comando e controle voltadas ao combate ao desmatamento no bioma Amazônia. O Capítulo 4 corresponde ao primeiro estudo empírico da tese e investiga

os impactos da Lista de Municípios Prioritários sobre o desmatamento em imóveis rurais no bioma Amazônia. O Capítulo 5 apresenta o segundo estudo empírico, que analisa a relação entre crédito rural e desmatamento em imóveis rurais do bioma Amazônia. Por fim, o Capítulo 6 reúne as conclusões gerais da tese, sintetizando os principais resultados, as contribuições e as limitações.

2 CADASTRO AMBIENTAL RURAL (CAR)

O primeiro Código Florestal surgiu em 1934 (Decreto Federal nº 23.793), em um contexto em que as florestas eram concebidas predominantemente como matéria-prima. Em 1965, uma nova regulamentação (Lei Federal nº 4.771/1965) ampliou significativamente o escopo de proteção ambiental ao instituir as Áreas de Preservação Permanente (APP), a Reserva Legal e outros instrumentos, como florestas de uso limitado, árvores imunes ao corte e unidades de conservação (Silva *et al.*, 2016).

Nesse contexto, a evolução do Código Florestal reflete uma mudança gradual de paradigma, passando de uma concepção predominantemente produtivista das florestas para um modelo orientado à conservação da vegetação nativa e à regulação do uso da terra, no qual instrumentos de comando e controle são articulados a mecanismos de monitoramento e de regularização ambiental (Arruda *et al.*, 2025).

Nesse processo, o Novo Código Florestal, instituído por meio da Lei nº 12.651/2012 e posteriormente alterado pela Lei nº 12.727/2012, introduziu inovações relevantes em relação ao marco anterior (Lei Federal nº 4.771/1965). Entre seus principais dispositivos, destacam-se a definição das Áreas de Preservação Permanente (APP) e da Reserva Legal (RL), bem como a criação de instrumentos inovadores de gestão ambiental, como o Cadastro Ambiental Rural (CAR), o Programa de Regularização Ambiental (PRA) e as Cotas de Reserva Ambiental (CRA) (Brasil, 2012b; Brasil, 2012c).

Entre os principais instrumentos introduzidos, o Cadastro Ambiental Rural (CAR), instituído pelo art. 29 da Lei nº 12.651/2012, configura-se como um registro eletrônico obrigatório e autodeclaratório, de abrangência nacional, cujo objetivo é promover a regularização ambiental e subsidiar políticas de combate ao desmatamento. O cadastro é um instrumento para o monitoramento, controle e planejamento ambiental, além de funcionar como requisito para acesso a políticas públicas, como crédito rural e adesão ao PRA (Brasil, 2012b). Sua estrutura permite a consolidação de uma base de dados integrada, com informações georreferenciadas, inclusive imagens de satélite, sobre a situação ambiental das Áreas de Preservação Permanente, Reservas Legais, áreas de uso restrito, remanescentes de vegetação nativa e áreas consolidadas das propriedades e posses rurais (Laudares *et al.*, 2014; Arruda *et al.*, 2025).

A operacionalização do CAR e dos instrumentos associados é regulamentada pelo Decreto nº 7.830/2012, que institui o Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) como plataforma nacional para o registro, a gestão e a integração de dados ambientais. O decreto detalha

os procedimentos de inscrição, padroniza a base de dados em âmbito federativo e estabelece a integração entre a União, os estados e o Distrito Federal, conferindo ao CAR o caráter de sistema nacional de informação ambiental. Além disso, regulamenta a implementação do PRA, definindo os mecanismos de regularização dos passivos ambientais por meio de recuperação, recomposição, regeneração ou compensação de áreas degradadas (Brasil, 2012a).

Complementarmente, para além do Decreto nº 7.830/2012, o Decreto nº 8.235/2014 detalhou normas gerais para os Programas de Regularização Ambiental (PRA), estabelecendo as etapas de análise, homologação e monitoramento das informações cadastradas (Brasil, 2014). Ademais, a Portaria nº 121, de 12 de maio de 2021, definiu procedimentos complementares para a análise dos dados do CAR e sua integração ao SICAR, no âmbito do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2022). Em termos do processo, o CAR compreende quatro fases principais:

- Inscrição: realizada eletronicamente pelo proprietário ou possuidor rural, por meio do SICAR ou sistemas estaduais integrados (Brasil, 2012a);
- Análise técnica: verificação pelos órgãos ambientais estaduais da consistência das informações declaradas;
- Validação: homologação oficial do cadastro após a checagem e, quando necessário, ajustes solicitados ao declarante; e,
- Regularização: no momento do registro, o proprietário indica se pretende aderir ao Programa de Regularização Ambiental (PRA). A proporção de cadastros com essa manifestação fornece uma estimativa mínima do número potencial de termos de compromisso a serem firmados no futuro (MAPA, 2022).

Importa destacar que o simples registro do imóvel no CAR não implica, por si só, conformidade ambiental imediata, uma vez que os efeitos da política dependem da capacidade dos órgãos ambientais de analisar, validar e acompanhar os cadastros, bem como de articular o CAR aos Programas de Regularização Ambiental (Arruda *et al.*, 2025).

Cabe destacar que, embora o caráter autodeclaratório do CAR amplie a cobertura cadastral e reduza os custos de adesão, essa característica também impõe desafios relevantes à qualidade das informações, como inconsistências espaciais e sobreposições entre imóveis. Tais limitações exigem procedimentos adicionais de depuração e validação dos dados para fins analíticos e para a efetividade da política ambiental (Arruda *et al.*, 2025).

Segundo Cisneros *et al.* (2015), Mato Grosso foi o estado amazônico pioneiro na

implementação do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Ao exigir a delimitação espacial e o registro das propriedades rurais, o instrumento fortalece a capacidade do Estado de monitorar o cumprimento do Código Florestal Brasileiro. Nesse contexto, torna-se particularmente relevante a adoção de estratégias empíricas baseadas em dados geoespaciais depurados, capazes de identificar casualmente os efeitos das políticas ambientais sobre o desmatamento efetivamente ocorrido no interior dos imóveis rurais.

Evidências empíricas indicam que as políticas ambientais no Brasil podem operar de forma indireta por meio de instrumentos econômicos, como o crédito rural, de modo que a exigência de comprovação de regularidade ambiental para acesso ao financiamento se mostra eficaz na redução do desmatamento, especialmente em regiões de fronteira agrícola da Amazônia (ASSUNÇÃO *et al.*, 2019).

De acordo com Assunção *et al.* (2019), a experiência brasileira sugere que os instrumentos de cadastro e monitoramento ambiental tendem a produzir resultados mais consistentes quando articulados a políticas econômicas, como a restrição de crédito, uma vez que o acesso ao financiamento constitui um dos principais vetores de expansão agropecuária e, conseqüentemente, de pressão sobre a cobertura florestal. Segundo o autor, a efetividade das políticas ambientais depende não apenas de seu desenho normativo, mas também da capacidade institucional de implementação e monitoramento, uma vez que instrumentos formais podem perder potência quando não acompanhados de mecanismos efetivos de verificação e fiscalização.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, MAPA (2022), a partir da avaliação *ex post*, caracteriza o Cadastro Ambiental Rural (CAR) como um instrumento de elevado potencial, embora marcado por limitações relevantes. Entre suas principais fortalezas, destacam-se a informatização e a acessibilidade do sistema, a obrigatoriedade legal prevista no âmbito do Código Florestal e os benefícios diretos aos proprietários rurais, especialmente em relação ao acesso ao crédito. Em contrapartida, a efetividade do instrumento é limitada por entraves tecnológicos e institucionais, como a integração limitada entre as bases de dados, a insuficiência de capacidade técnica nos estados e a escassez de recursos orçamentários.

No que se refere às oportunidades, o CAR pode fortalecer a institucionalização da política ambiental, apoiar a implementação de planos de regularização e ampliar o controle social, inclusive por meio do reforço da imagem ambiental da agropecuária brasileira. Por outro lado, persistem ameaças associadas ao uso político inadequado do instrumento e ao risco de captura por grupos de interesse, o que indica que sua sustentabilidade depende não apenas de avanços

técnicos, mas também do fortalecimento institucional e político necessário à sua consolidação como ferramenta estratégica de governança ambiental e territorial (MAPA, 2022).

Informações sobre o andamento do CAR e dos Programas de Regularização Ambiental (PRA) são disponibilizadas por meio do Painel de Regularização Ambiental, uma ferramenta interativa de transparência e gestão. Por meio de gráficos, tabelas e mapas dinâmicos, o painel permite acompanhar o número de cadastros inscritos, analisados e validados, bem como o de imóveis que aderiram aos programas de regularização.



Figura 1 – Arranjo das responsabilidades de cada ator na implementação do CAR. Fonte: MAPA, 2022.

De acordo com os dados do Painel da Regularização Ambiental, Tabela 1, até março de 2026 cadastraram-se 1.017.788 imóveis rurais no bioma Amazônia, aproximadamente 51% passaram por algum tipo de análise. No entanto, no período, apenas 79.430 imóveis, ou seja, 7,8% do total cadastrado, têm a regularidade ambiental analisada e validada pelos órgãos estaduais de meio ambiente (SFB, 2025).

Cabe destacar que 65,1% dos proprietários de imóveis cadastrados manifestaram interesse em aderir ao Programa de Regularização Ambiental. Esse percentual sugere elevada demanda potencial por mecanismos de regularização ambiental e indica que o CAR transcende sua função cadastral, constituindo uma importante porta de entrada para políticas de recuperação e adequação ambiental dos imóveis rurais (SFB, 2025).

A implementação do Cadastro Ambiental Rural no bioma Amazônia apresenta

Tabela 1 – Síntese dos principais indicadores do Cadastro Ambiental Rural (CAR) no bioma Amazônia

Descrição	Quantidade	Área (ha)	Porcentagem*
Imóveis cadastrados	1.017.788	322.120.042,32	100,0%
Imóveis com interesse em aderir ao PRA	662.764	172.504.807,53	65,1%
Cadastrados analisados	523.357	206.640.096,31	51,4%
Cadastrados com análise concluída	79.430	24.839.626,17	7,8%

Fonte: Elaboração própria com base no Painel da Regularização Ambiental, recorte do bioma Amazônia, extraído em março de 2026. *Percentuais calculados em relação ao total de imóveis cadastrados.

diferenças relevantes entre os estados que compõem esse recorte territorial. Embora o CAR tenha alcançado ampla cobertura cadastral, os dados indicam que sua consolidação como instrumento efetivo de governança ambiental depende não apenas do número de imóveis registrados, mas também da qualidade das informações declaradas, da retificação dos cadastros, da adesão ao Programa de Regularização Ambiental (PRA) e da capacidade dos órgãos estaduais de analisar e validar os registros.

A Tabela 2 apresenta indicadores selecionados do CAR por unidade federativa com área inserida no bioma Amazônia. Observa-se que os estados diferem tanto em quantidade de imóveis cadastrados quanto em extensão territorial registrada. Essas diferenças refletem a estrutura fundiária, a intensidade da ocupação agropecuária e o grau de avanço institucional na implementação do cadastro.

Tabela 2 – Indicadores do Cadastro Ambiental Rural (CAR) por estado do bioma Amazônia

UF	Imóveis	Área cadastrada (ha)	Retificados (%)	Adesão ao PRA (%)	Vegetação nativa (ha)	Uso consolidado (ha)
AC	56.388	15.414.644	32,7	67,4	10.246.693	2.576.924
AM	94.986	118.831.047	27,3	74,3	65.614.420	3.467.267
MA	406.769	38.072.852	21,5	51,2	12.612.432	15.244.739
MT	199.904	88.701.780	56,8	71,5	45.100.975	35.571.292
PA	361.259	88.752.411	40,0	58,2	34.212.244	31.363.971
RO	183.420	16.921.570	43,9	71,9	5.629.930	8.905.481
RR	27.213	8.247.432	29,1	63,6	4.415.185	1.562.324
TO	100.778	23.813.427	39,1	37,8	12.433.880	8.364.560

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Painel da Regularização Ambiental (SFB).

Nota: A taxa de adesão ao PRA corresponde à proporção de imóveis cadastrados que manifestaram interesse em aderir ao Programa de Regularização Ambiental. Imóveis retificados são os cadastros do CAR que foram alterados ou corrigidos após a inscrição inicial. A taxa de retificação corresponde à razão entre os imóveis retificados e os cadastrados. Segundo a Lei nº 12.651/2012, área rural consolidada é a área de imóvel rural com ocupação antrópica pré-existente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris.

Além disso, a proporção de imóveis que manifestam interesse em aderir ao PRA fornece uma estimativa da demanda potencial por regularização ambiental. Estados com maior percentual de adesão tendem a apresentar maior volume de imóveis que reconhecem algum

tipo de necessidade de adequação ambiental ou que buscam acessar os benefícios associados à regularização. Por outro lado, diferenças expressivas na área de vegetação nativa e na área de uso consolidado revelam distintas pressões sobre a cobertura florestal e trajetórias de ocupação produtiva distintas no interior do bioma.

Essas informações são particularmente relevantes para este estudo, pois reforçam a ideia de que o CAR não deve ser tratado apenas como um cadastro administrativo, mas como uma base geoespacial capaz de conectar imóveis rurais, o uso da terra e as políticas ambientais. Ao permitir a identificação do desmatamento no interior dos imóveis cadastrados, o CAR possibilita uma análise mais precisa dos efeitos das políticas de comando e controle, reduzindo as limitações associadas a estudos baseados exclusivamente em unidades municipais agregadas.

Dessa forma, a heterogeneidade estadual observada nos dados do CAR contribui para compreender por que políticas ambientais, como a Lista de Municípios Prioritários, podem produzir efeitos distintos entre os estados do bioma Amazônia. A efetividade dessas políticas depende não apenas da existência da norma, mas também da capacidade institucional de monitoramento, validação cadastral e indução à regularização ambiental.

Apesar da centralidade do CAR na governança ambiental e de seu amplo uso como instrumento de política pública, a avaliação de como essas políticas afetam o comportamento dos imóveis rurais em termos de desmatamento permanece relativamente pouco explorada do ponto de vista empírico, especialmente em contextos de adoção escalonada e de heterogeneidade institucional. Esse contexto reforça a relevância de análises que avancem além das dimensões normativas e administrativas do CAR, investigando empiricamente seus efeitos sobre o desmatamento associado a imóveis rurais, o que orienta o presente estudo.

3 POLÍTICAS DE COMANDO E CONTROLE

O desmatamento no bioma Amazônia tem sido alvo de diversas políticas públicas, cuja atuação histórica do setor público baseia-se predominantemente em instrumentos de comando e controle, como a aplicação de leis ambientais, fiscalização, embargos, restrições ao crédito rural e multas. Esses instrumentos estruturam o arcabouço institucional no qual se insere a política analisada neste estudo. Em particular, a LMP constitui um mecanismo de focalização territorial que intensifica o monitoramento e as sanções, potencialmente alterando os incentivos e o comportamento dos agentes privados responsáveis pela conversão do uso da terra.

Segundo Arima *et al.* (2014), a preocupação com o bioma amazônico intensificou-se a partir da construção de rodovias federais na década de 1970. Com a transição do regime militar para a democracia, em meados da década de 1980, ampliou-se a consciência nacional e internacional de que a perda de florestas na Amazônia, embora associada ao desenvolvimento econômico, também acarreta danos ambientais significativos. Nesse contexto, a política ambiental voltada para a Amazônia passou a se estruturar a partir da década de 1980, incluindo a criação de áreas protegidas, como terras indígenas e unidades de conservação, bem como alterações no Código Florestal.

Desde 1988, as taxas de desmatamento na Amazônia têm apresentado elevada volatilidade, atingindo um pico em 1995 e um mínimo em 2012. Embora o recorde observado em 1995 tenha sido seguido de dois anos de queda (1996–1997), a tendência se inverteu entre 1998 e 2004, quando o desmatamento voltou a crescer de forma consistente, alcançando níveis semelhantes aos da década de 1990. A partir de 2004, observa-se uma inflexão dessa trajetória, coincidindo com a criação e implementação do primeiro Plano de Ação para Prevenir e Controlar o Desmatamento na Amazônia (PPCDAm I) (Arima *et al.*, 2014).

De acordo com Sills *et al.* (2015), o governo brasileiro lançou o PPCDAm I como parte de um Plano Nacional de Enfrentamento às Mudanças Climáticas, buscando abordar fatores estruturais associados ao desmatamento, como a posse da terra e o fortalecimento de forças de mercado, notadamente a demanda por soja e por produtos pecuários.

No âmbito do PPCDAm I, foi implementado o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER), baseado em sensoriamento remoto e voltado ao suporte operacional às ações de fiscalização ambiental. Cabe destacar que o monitoramento geoespacial do desmatamento já existia desde 1988 por meio do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia (PRODES), do INPE, responsável pela estimativa anual das taxas de desmatamento

por corte raso. A disponibilidade de séries de monitoramento por sensoriamento remoto e a focalização territorial das ações de fiscalização são elementos centrais para a avaliação causal de políticas como a LMP.

Entre 2004 e 2012, um conjunto de políticas públicas e iniciativas privadas contribuiu para uma expressiva redução do desmatamento, estimada em 84% no período. Entre essas iniciativas, destaca-se a Moratória da Soja na Amazônia, um acordo voluntário regulamentado em julho de 2006, implementado em 2008 e renovado anualmente até 2016, quando passou a vigorar por tempo indeterminado (Heilmayr *et al.*, 2020).

A Moratória da Soja é um acordo firmado entre empresas signatárias, com o objetivo de reduzir o desmatamento associado à cadeia produtiva da soja. O acordo abrange imóveis rurais com área superior a 5.000 hectares, localizados no bioma Amazônia, e o monitoramento do desmatamento é realizado com base nos dados do PRODES/INPE. Imóveis em situação de não conformidade são identificados, e a produção neles realizada deixa de ser adquirida pelas empresas signatárias (Moratória da Soja, 2025).

Nesse contexto, em 2007, foi instituída a política de listagem de municípios para ações prioritárias de prevenção e controle do desmatamento na Amazônia, um dos principais instrumentos do PPCDAm. A Lista de Municípios Prioritários (LMP) reúne municípios do bioma Amazônia sujeitos a ações reforçadas de monitoramento, fiscalização e controle do desmatamento ilegal, enquanto a Lista de Municípios com Desmatamento Monitorado e Sob Controle (LMC) reconhece aqueles que atendem a critérios de desempenho ambiental, permanecendo sob observação periódica do poder público. É precisamente essa lógica de inclusão e reforço, tratada aqui como um choque de política no território, que fundamenta a estratégia empírica adotada neste estudo para estimar o efeito desse choque sobre o desmatamento associado a imóveis rurais.

Em 2008, o desmatamento voltou a crescer, alcançando um aumento de aproximadamente 12% em relação ao ano anterior, o que levou o governo federal a instituir uma nova fase do PPCDAm, vigente entre 2008 e 2011 (Arima *et al.*, 2014). O PPCDAm II fortaleceu instrumentos como o embargo de propriedades privadas com desmatamento ilegal e intensificou as fiscalizações de campo pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), especialmente em municípios com taxas elevadas de desmatamento. Adicionalmente, o Governo Federal incorporou a Resolução nº 3.545/2008 do Conselho Monetário Nacional, que passou a condicionar o acesso ao crédito rural à comprovação de regularidade ambiental.

Nesse contexto, foi criado o Fundo Amazônia (Decreto nº 6.527/2008), com o objetivo de captar recursos para investimentos não reembolsáveis (West e Fearnside, 2021).

Esse mecanismo foi posteriormente reforçado por atualizações normativas, como a Resolução CMN nº 5.268/2025, que amplia as restrições ao crédito ao incorporar critérios ambientais mais detalhados, incluindo a verificação de supressão recente de vegetação nativa com base em dados do PRODES/INPE, fortalecendo o papel do crédito como instrumento de indução ao cumprimento da legislação ambiental (BACEN, 2025).

Para West e Fearnside (2021) o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAm) promoveu uma drástica reforma conservacionista no Brasil, o que levou a política à cinco fases: PPCDAm-I (2004–2008), II (2009–2011), III (2012–2015), IV (2016–2020) e V (2023–2027).

3.1 Lista de municípios para ações de prevenção e controle do desmatamento na Amazônia.

O arcabouço político que instituiu a Lista de Municípios Prioritários (LMP) e previu a Lista de Municípios com Desmatamento Monitorado e Sob Controle (LMC) foi inaugurado por meio do Decreto Federal nº 6.321/2007, que prevê em seu artigo nº 2, a seleção dos municípios com base nos seguintes critérios (BRASIL, 2007):

- a) Área total de floresta desmatada;
- b) Área total de floresta desmatada nos últimos três anos; e,
- c) Aumento da taxa de desmatamento em pelo menos três dos últimos cinco anos.

Do ponto de vista analítico, esses critérios operacionalizam a regra de seleção dos municípios tratados e definem o evento de adoção da política, permitindo explorar variações temporais e espaciais na exposição ao instrumento/política.

Já o artigo nº 3, do referido decreto, estabelece a atualização do cadastro nacional de imóveis rurais, junto ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), objetivando subsidiar o monitoramento preventivo de desmatamentos ilegais e promover a gestão compartilhada entre diferentes políticas públicas, bem como o compartilhamento de dados com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

O artigo nº 7 estabelece que os imóveis rurais (artigo nº 3) sem atualização cadastral, terão seus registros no Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR) suspensos até a regularização,

o que impede a emissão de novos certificados e limita o acesso às linhas de crédito ofertadas por instituições oficiais federais.

Já o artigo nº 14 do referido decreto atribui ao Ministério do Meio Ambiente a responsabilidade de editar e atualizar periodicamente a lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle (LMC). Para tanto, é exigido que o município cumpra cumulativamente os seguintes critérios:

- a) Pelo menos 80% do território municipal, excluídas unidades de conservação de domínio público e terras indígenas homologadas, deve conter imóveis rurais devidamente monitorados, conforme critérios técnicos definidos por instrução normativa específica do INCRA;
- b) A taxa anual de desmatamento deve permanecer abaixo do limite estabelecido por portaria do próprio Ministério do Meio Ambiente.

Apesar de o Decreto nº 6.321/2007 já mencionar que caberá ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) a função de verificar a identificação da dinâmica histórica de desmatamento nas áreas, a Portaria nº 28, de 24 de janeiro de 2008, reforça a função estratégica do Instituto no monitoramento do desmatamento no bioma Amazônia. Cabe ao Instituto (artigo nº 3) a responsabilidade pela geração de indicadores técnicos, por meio de sensoriamento remoto, essenciais à atualização anual da lista de municípios prioritários. Além do INPE, INCRA, IBAMA, ICMBio fazem parte da governança da política, a consolidação dos papéis e responsabilidades dos atores envolvidos está detalhada no Quadro 3 do Apêndice A.

A dinâmica de entrada, saída e retorno dos municípios na lista daqueles ditos como prioritários (LMP) e na lista daqueles ditos como monitorados e sob controle (LMC), conforme o Quadro 4 do Apêndice B, obedece a uma lógica cíclica e condicional, baseada em critérios técnicos de desempenho no combate ao desmatamento. Inicialmente, os municípios são incluídos na lista de municípios prioritários para ações de prevenção e controle do desmatamento ilegal, conforme estabelecido no Decreto nº 6.321/2007 e nas portarias do Ministério do Meio Ambiente.

Uma vez na lista prioritária, os municípios permanecem sob vigilância e sujeitos a ações específicas de controle até que demonstrem cumprimento cumulativo dos critérios definidos pelas portarias publicadas no Diário Oficial da União. Nessa hipótese, são transferidos para a lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle (LMC), que reconhece avanços no combate ao desmatamento territorial e confere, inclusive, elegibilidade a incentivos econômicos e fiscais. Entretanto, essa condição não é permanente. Caso um município inserido

na LMC volte a descumprir os critérios técnicos exigidos pelo MMA, será reclassificado e retornará à lista de ações prioritárias (LMP).

A política adota um modelo dinâmico e responsivo ao cumprimento dos critérios estabelecidos nas publicações do Diário Oficial da União (DOU), o que permite visualizar as entradas, as saídas e o reingresso dos municípios na LMP. A Tabela 3 resume a dinâmica de tratamento dos municípios expostos à política. Observa-se que, até 2022, 75 municípios ingressaram na lista de municípios prioritários pelo menos uma vez. Desses, 27 posteriormente saíram da lista, dos quais 10 voltaram a ser incluídos após a saída. Cabe destacar que os critérios de exigência mínima de desmatamento variam conforme cada portaria vigente.

Tabela 3 – Resumo da dinâmica de entrada e saída de municípios na LMP.

Situação	Quantidade de municípios	Fonte
Entrada	75	DOU/MMA
Reingressos	10	DOU/MMA
Saídas	27	DOU/MMA

Fonte: Elaboração própria, com base em dados do DOU/MMA referentes ao período de 2008 a 2022.

Cabe observar que há dificuldades na replicação da lista conforme os critérios publicados no Diário Oficial da União. Andrade (2016) argumenta que, embora existam critérios oficiais para a inclusão de municípios na Lista de Municípios Prioritários do MMA, estes não são nem necessários nem suficientes para explicar a listagem observada. Ao tentar reconstruir as listas, os autores encontram evidências, ponderações não observadas, constatações também evidenciadas por Cisneros *et al.* (2015). Andrade (2016) destaca que a análise da distribuição dos critérios revela inconsistências, pois certos municípios que os cumprem não são excluídos da lista.

De forma complementar à política, no início de 2008, o governo federal adotou medidas adicionais para fortalecer as ações de fiscalização em campo. A primeira delas foi a Resolução nº 3.545/2008, publicada pelo BACEN, que restringe o acesso ao crédito para propriedades agrícolas localizadas no bioma Amazônia que não cumpram o Código Florestal Brasileiro e condiciona seu acesso futuro ao crédito à comprovação de conformidade com a legislação ambiental.

Ao condicionar o crédito rural à regularidade ambiental, a política reforça um canal econômico relevante de indução ao cumprimento, operando diretamente sobre decisões no nível dos imóveis rurais e, portanto, sobre a dinâmica do desmatamento em imóveis rurais.

A Resolução 3.545 estabeleceu que, para comprovar a elegibilidade para acesso ao crédito rural, o mutuário deverá apresentar:

- a) Certificado de Cadastro de Imóvel Rural (CCIR), para atender aos requisitos legais de titulação. O CCIR comprova que o imóvel que sedia o empreendimento a ser financiado está devidamente contabilizado nos cadastros federais, e
- b) Documento emitido pelo Estado atestando a regularidade ambiental do estabelecimento que sedia o empreendimento a ser financiado, bem como declaração atestando que o imóvel não se encontra atualmente sob embargo por desmatamento ilegal.

Embora restritiva em um primeiro momento, a Resolução foi objeto de uma série de ressalvas que flexibilizaram as condições de concessão de crédito rural a grupos específicos (Assunção *et al.*, 2019). Outra medida complementar à política consiste no Decreto 6.514/2008, que trata da alteração da Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998) e o estabelecimento de novos fundamentos legais para a aplicação e determinação de infrações ambientais e sanções administrativas relacionadas (West e Fearnside, 2021).

Mais recentemente, após 16 anos de existência do marco regulatório que comanda a inclusão de municípios nas listas (LMP e LMC), mudanças significativas foram trazidas pelo Decreto nº 11.687/2023, que revogou o anterior (Decreto nº 6.321/2007) e instituiu o Programa União com Municípios pela Redução de Desmatamento e Incêndios Florestais, com apoio financeiro do Fundo Amazônia, e estabeleceu novos critérios para monitoramento de municípios (BRASIL, 2023).

Em síntese, as políticas de comando e controle implementadas no âmbito do PPC-DAm combinam monitoramento remoto, intensificação da fiscalização, sanções administrativas e restrições econômicas, com destaque para a focalização territorial promovida pela LMP. Ao definir critérios de inclusão, permanência e saída, e ao articular instrumentos como o embargo e a restrição de crédito, a LMP cria variações espaciais e temporais na intensidade do *enforcement*. É essa variação institucional, interpretada como um choque de política no território, que o presente estudo explora para estimar, de forma causal, o impacto da LMP sobre o desmatamento associado a imóveis rurais no bioma Amazônia.

3.2 Políticas subnacionais de comando e controle.

Para além da política que trata da LMP e da LMC, iniciativas locais foram estabelecidas a partir de 2008, uma delas, especificamente, pelo Governo de Mato Grosso, que trata do

Programa Mato-grossense de Regularização Ambiental Rural. Segundo West e Fearnside (2021), o programa influenciou o estado do Pará, que naquele mesmo ano lançou o Cadastro Ambiental Rural (CAR/PA), por meio do Decreto Estadual nº 1.148 de 2008, no qual se estabeleceu o que mais tarde resultaria no sistema nacional de Cadastro Ambiental Rural (CAR).

No mesmo período, surge o Projeto “Município Verde”, lançado inicialmente pelo município de Paragominas, no estado do Pará, com a finalidade de conciliar as demandas federais com as locais no combate ao desmatamento na região. Paragominas foi um dos 36 municípios da primeira lista emitida pelo governo federal, mas o único a responder com uma iniciativa local abrangente, na qual tanto as iniciativas federais quanto as municipais ocorreram no mesmo ano, em 2008 (Sills *et al.*, 2015).

O Projeto Município Verde, lançado em março de 2008, trata de um pacto contra o desmatamento entre o poder público e mais de 30 entidades civis, incluindo produtores de grãos, madeira e gado. O plano de ação do projeto abrange campanhas ambientais, atuação junto a produtores rurais, projetos de educação ambiental para crianças, jovens e adultos e a reformulação da matriz econômica do município. Para tanto, foram necessárias parcerias com ONGs como Imazon, que realizou o monitoramento por satélite do desmatamento no município, e *The Nature Conservancy* (TNC), que apoiou a implementação do CAR, ajudando os proprietários de imóveis rurais a se cadastrarem como um passo em direção à regularização fundiária (Prefeitura de Paragominas, 2025).

Após o município de Paragominas ser anunciado, em 2010, como o primeiro a sair da Lista de Municípios Prioritários (LMP) e entrar na Lista de Municípios com Desmatamento Monitorado e Sob Controle (LMC), sua política foi adotada como boa prática por outros municípios do Estado do Pará. A iniciativa municipal virou política estadual por meio do Programa Municípios Verdes, criado pelo Decreto Estadual nº 54/2011, com o apoio do Fundo Amazônia (BNDES, 2025; Guimarães *et al.*, 2013).

Motivado pela Lei Federal e pela atuação dos demais entes locais, o estado de Mato Grosso lançou, em 2014, o Programa Municípios Sustentáveis, enquanto o estado de Rondônia implementou, em 2011, o Programa Estadual de Descentralização de Ações de Gestão Ambiental (Massoca e Brondízio, 2022).

4 CAPÍTULO 1: IMPACTO DA LISTA DE MUNICÍPIOS PRIORITÁRIOS SOBRE O DESMATAMENTO EM IMÓVEIS RURAIS NO BIOMA AMAZÔNIA.

4.1 INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira, frequentemente tratada como uma unidade territorial homogênea, apresenta distintas definições que variam conforme o enfoque adotado, seja ele ecológico, jurídico ou político-administrativo. Enquanto a caracterização do bioma refere-se à delimitação ecológica e biogeográfica das formações florestais, a delimitação da Amazônia Legal refere-se à divisão político-administrativa, que abrange diversos biomas (IBGE, 2021).

Segundo Massoca e Brondízio (2022), a Amazônia Legal possui cerca de 25% de sua área originalmente ocupada por Cerrado e outras formações não florestais, totalizando aproximadamente 5 milhões de quilômetros quadrados e sobrepondo-se, total ou parcialmente, ao território de 772 municípios. Já o bioma Amazônia abrange cerca de 4,2 milhões de quilômetros quadrados, incidindo sobre 559 municípios, dos quais 81,3% da área permanece coberta por vegetação nativa e 16,1% encontra-se sob uso antrópico. Entre 1985 e 2023, foram perdidos aproximadamente 55,3 milhões de hectares de vegetação nativa, o que representa uma redução de 14% (MapBiomas, 2024). De acordo com o MapBiomas, a vegetação secundária, ou seja, áreas previamente desmatadas e em processo de regeneração, corresponde a cerca de 2% da vegetação nativa do bioma Amazônia.

Pode-se considerar que o bioma Amazônia está quase integralmente contido na Amazônia Legal, com exceção de uma pequena área no estado do Maranhão. A floresta se estende pelos territórios do Acre, Amapá, Amazonas, Pará e Roraima, além de porções do Maranhão, Mato Grosso, Rondônia e Tocantins (IBF, s.d.). Dados de 2023 indicam que Amapá, Amazonas, Roraima e Acre apresentaram as maiores proporções de vegetação nativa, próximas de 90%, enquanto Tocantins (21%), Maranhão (46%), Pará (77%), Mato Grosso (60%) e Rondônia (59%) apresentaram as menores proporções (MapBiomas, 2024).

O desmatamento na Amazônia brasileira permanece um dos principais motores da perda de biodiversidade, das emissões de gases de efeito estufa e das alterações na provisão de serviços ecossistêmicos, gerando impactos diretos no clima, nos modos de vida de populações tradicionais e na economia de base florestal. A dinâmica deste desmatamento envolve tanto áreas públicas quanto privadas, o que também permite diferenciá-lo com base nos agentes e nos territórios desmatados. O desflorestamento no domínio privado está associado a propriedades

legalmente registradas ou ocupadas por particulares, geralmente destinadas à produção agropecuária, à mineração, à silvicultura ou à especulação fundiária. Mesmo quando autorizado, esse tipo de desmatamento pode comprometer a integridade ecológica de biomas sensíveis. Em contraste, o desmatamento público ocorre em terras pertencentes à União, aos estados ou aos municípios, e está frequentemente associado à grilagem, à ocupação irregular e ao uso da terra como ativo especulativo.

Os vetores associados ao desmatamento podem ser agrupados em fatores biofísicos, econômicos, institucionais e estruturais. Estudos como os de Ferretti-Gallon e Busch (2014), Häggli *et al.* (2023) e Assunção *et al.* (2015) destacam, entre os fatores biofísicos, características do terreno e do ambiente, tais como declividade, altitude, umidade, temperatura, tipologia florestal e suscetibilidade à erosão.

No âmbito dos vetores econômicos, destacam-se o nível de atividade agropecuária, os preços agrícolas, as transformações nas cadeias produtivas e a precificação de commodities, como soja e óleo de palma, que afetam diretamente os incentivos à conversão do uso da terra. Do ponto de vista institucional e estrutural, a literatura aponta fatores como a ausência de unidades de conservação, a expansão da infraestrutura de transporte, níveis elevados de renda rural e a proximidade de áreas previamente desmatadas. Ainda, de acordo com Häggli *et al.* (2023), os motores do desmatamento variam significativamente conforme o contexto regional. Cabe destacar que a relação entre desmatamento e dinâmica demográfica permanece controversa na literatura (Ferretti-Gallon e Busch, 2014).

A decisão de desmatar decorre da interação entre incentivos de mercado, custos de fiscalização, restrições regulatórias e características ambientais locais, gerando efeitos que extrapolam a escala local e afetam tanto a dinâmica climática quanto o desempenho econômico no médio e no longo prazo.

Diante da complexidade dos vetores associados ao desmatamento e de seus impactos multiescalares, a partir de 2004, o Estado brasileiro passou a implementar um conjunto articulado de políticas públicas e iniciativas privadas baseadas em instrumentos de comando e controle voltados ao combate ao desmatamento. Dentre estas podemos citar a dinâmica de ciclos sucessivos do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), acordos setoriais como a Moratória da Soja (Heilmayr *et al.*, 2020; Moratória da Soja, 2025; West e Fearnside, 2021) e medidas federais complementares que incluíam a Resolução Conselho Monetário Nacional nº 3.545/2008 (crédito rural condicionado à conformidade ambiental) e o

Decreto nº 6.514/2008 (sanções administrativas ambientais, como investigação e penalizações de infrações ambientais, multas, embargos).

No contexto do PPCDAm, o Governo Federal implementou o Decreto nº 6.321/2007, que institui a Lista de Municípios Prioritários (LMP), com foco em ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento em territórios com indicadores críticos de desmatamento (Brasil, 2007). O decreto previu portarias do Ministério do Meio Ambiente (MMA) para o estabelecimento de critérios de entrada, permanência e saída dos municípios. Para além disso, a política, por meio da Portaria nº 28/2008, reforçou o papel do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Em 2023, o Decreto nº 11.687 revogou a normativa de 2007 e instituiu o "Programa União com Municípios para Redução de Desmatamento e Incêndios", preservando a lógica de focalização baseada em critérios pré-definidos (BRASIL, 2023).

Este estudo investiga o impacto causal da inclusão na Lista de Municípios Prioritários (LMP) sobre o desmatamento em imóveis rurais no bioma Amazônia. Ao deslocar a análise do nível municipal agregado para uma escala compatível com as decisões no nível dos imóveis rurais, o estudo supera uma limitação central da literatura existente e aprofunda a compreensão dos mecanismos pelos quais as políticas de comando e controle afetam o comportamento dos agentes econômicos.

Ao integrar dados geoespaciais depurados do Cadastro Ambiental Rural a informações oficiais de desmatamento e adotar uma estratégia de identificação capaz de lidar com a adoção escalonada e com heterogeneidades não observadas, o trabalho fornece evidências causais robustas sobre a efetividade da política. Os resultados indicam não apenas que a LMP foi eficaz em reduzir o desmatamento no domínio privado, mas também que seus efeitos são heterogêneos no espaço. Estes achados reforçam a importância de políticas ambientais focalizadas e territorialmente diferenciadas, bem como o fortalecimento das capacidades locais de implementação e de governança para o controle do desmatamento. Diante disso, a pergunta central deste estudo é: qual é o efeito causal da inclusão na Lista de Municípios Prioritários sobre o desmatamento proveniente de imóveis rurais no bioma Amazônia? Adicionalmente, investiga-se como esse efeito evolui ao longo do tempo e se apresenta de forma heterogênea entre as Unidades da Federação.

Para tanto, o estudo baseia-se em um painel para o período de 2010 a 2022, que integra dados geoespaciais de imóveis rurais, informações sobre desmatamento e variáveis socioeconômicas, agropecuárias, demográficas e climáticas. A estratégia empírica adota o

modelo de Controle Sintético Generalizado (CSG), que permite lidar com a adoção escalonada da política ao longo do tempo e controlar heterogeneidades não observadas. Com a finalidade de avaliar se os efeitos estimados podem ser atribuídos a padrões espúrios ou a choques não observados, aplicou-se o teste de placebo do tipo *in-space*, que segue a lógica clássica dos testes de permutação, em que a distribuição de uma estatística de teste é obtida a partir de reatribuições aleatórias do tratamento entre unidades tratadas e não tratadas. Desta forma, os objetivos específicos deste trabalho estão organizados em três eixos: sistematizar a trajetória regulatória da LMP e das medidas complementares (crédito e sanções); revisar e verificar estimativas de impacto da LMP sobre o desmatamento no domínio privado e compará-las à literatura; e explorar diferenças de resposta entre perfis estaduais.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2.2 descreve o contexto do Cadastro Ambiental Rural. A Seção 2.3 detalha historicamente a regulamentação das políticas de comando e controle e da aplicação da Lista de Municípios Prioritários. A seção 2.4 realiza uma revisão da literatura para identificar os efeitos da LMP sobre o desmatamento. A seção 2.5 detalha a estratégia econométrica e de identificação, bem como os dados. A Seção 2.6 apresenta a análise e a discussão dos resultados. A seção 2.7 conclui com as considerações finais.

4.2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção revisa a literatura empírica sobre os efeitos da Lista de Municípios Prioritários, sintetiza as evidências, contrasta abordagens metodológicas e identifica lacunas analíticas, em particular as limitações de escala de análise, que motivam o presente estudo.

Estudos elaborados por Assunção *et al.* (2015), Cisneros *et al.* (2015) e Assunção *et al.* (2023) dedicaram-se a avaliar o impacto da política na redução do desmatamento. Quanto aos resultados encontrados, há um consenso substancial quanto à efetividade da Lista de Municípios Prioritários (LMP). Assunção *et al.* (2015) demonstraram que o efeito combinado desta política com suas antecessoras, implementadas em 2004, evitaram a ocorrência de aproximadamente 73.000 km² de área desmatada entre 2005 e 2009

Achados semelhantes são reportados por Cisneros *et al.* (2015), que identificam um efeito causal robusto na redução do desmatamento na Amazônia. Os autores estimam que a inclusão de um município na lista reduziu o desmatamento anual entre 13% e 36%. No agregado, a LMP teria evitado entre 600 e 6.750 km² de desmatamento entre 2008 e 2012.

Os resultados encontrados por Andrade (2016) evidenciam efeitos espaciais da LMP,

com redução de 19% a 23% no desmatamento em municípios vizinhos não listados, decrescentes à medida que a distância aumenta. A robustez dos testes sugere que o principal mecanismo é o aumento da fiscalização nas áreas adjacentes. De modo complementar, Assunção *et al.* (2023) estimam uma redução de 43% no desmatamento entre 2009 e 2010, associada a aproximadamente 50 milhões de toneladas de carbono em emissões evitadas.

Apesar da robustez dessas estimativas, a maior parte das evidências é construída a partir de *outcomes* agregados em nível municipal. Essa escolha é apropriada para captar efeitos médios no território, mas limita a compreensão de como a política se traduz em mudanças de comportamento no nível dos agentes privados responsáveis pelo desmatamento.

Além de analisar o efeito da LMP, alguns autores avaliam a contribuição do monitoramento e da fiscalização para a redução do desmatamento. Arima *et al.* (2014) estimam que os esforços de fiscalização evitaram entre 2.034 e 10.653 km² de desmatamento entre 2009 e 2011. Evidências na mesma direção são reportadas por Assunção e Rocha (2019) e Assunção *et al.* (2023), sugerindo que o monitoramento remoto e a aplicação da lei são eficazes para conter o desmatamento.

Segundo Assunção e Rocha (2019), seria possível reduzir a abertura de novas clareiras florestais sem comprometer a produção agrícola local, o que é compatível com uma realocação de práticas extensivas (intensivas em terra) para estratégias mais intensivas em capital e produtividade em áreas já estabelecidas.

Para investigar a relação entre desmatamento e crédito rural, Assunção *et al.* (2019) analisam os efeitos da Resolução nº 3.545 do Banco Central, que impôs requisitos ambientais à concessão de crédito rural. Os autores estimam que, entre 2009 e 2011, a área total desmatada foi cerca de 60% menor do que teria sido na ausência da política, sobretudo em municípios onde a pecuária é a principal atividade econômica.

De forma particular, a contração do crédito decorreu sobretudo da redução dos empréstimos destinados à pecuária, e não dos financiamentos agrícolas. Segundo os autores, a queda dos empréstimos médios e grandes voltados a atividades pecuárias responde por cerca de 75% do efeito estimado. Por fim, Assunção *et al.* (2019) destacam efeitos diferenciais entre setores (lavoura e pecuária) e regiões, sugerindo que a política deve atuar como instrumento complementar a outras ações.

Além disso, Cisneros *et al.* (2015) argumentam que mudanças na fiscalização (multas do IBAMA), no registro ambiental (CAR) e no crédito rural explicam apenas uma parcela limitada

do impacto total da LMP. Para os autores, mecanismos reputacionais e incentivos administrativos associados à “nomeação e exposição pública” desempenham um papel central na redução do desmatamento.

Esse debate sobre mecanismos reforça a importância da unidade de análise: com dados estritamente municipais, parte dos canais opera de forma indireta e difícil de identificar, sobretudo quando o ajuste dos agentes ocorre no interior dos imóveis rurais. Assim, avançar para escalas mais desagregadas é crucial para aproximar a avaliação das decisões no nível dos imóveis rurais.

Outra vertente investiga se a LMP esteve associada à intensificação da produção. Koch *et al.* (2019) analisam a existência de *trade-offs* entre conservação e produção e estimam que a LMP reduziu o desmatamento em cerca de 50% nos municípios listados entre 2008 e 2014, sem efeitos adversos sobre a produção agropecuária e, em alguns casos, com ganhos de produtividade.

Ainda segundo Koch *et al.* (2019), não há evidência de efeitos negativos sobre a produção total. Ao contrário, observa-se aumento significativo da produtividade da pecuária de corte, com elevação das taxas de lotação entre 13,5% e 36%, impulsionada pelo aumento do número de cabeças sem expansão da área de pastagem, consistente com um mecanismo de intensificação induzida.

De modo complementar, Melo (2020) identificam que, entre 2009 e 2017, houve um aumento de 12,7% na produtividade da pecuária leiteira em municípios adicionados à LMP. Além disso, Assunção *et al.* (2015) mostram que incentivos econômicos, como variações nos preços de commodities agrícolas (especialmente soja, arroz e milho), se associam à dinâmica do desmatamento, reforçando a importância de considerar o contexto de mercado na interpretação dos efeitos de políticas de controle.

Outra vertente examina se as políticas de conservação geram impactos além da redução direta do desmatamento. Andrade (2016) e Chagas e Andrade (2024) investigam efeitos de transbordamento (*spillover effects*) sobre municípios vizinhos aos incluídos na LMP. Andrade (2016) estima que, entre 2008 e 2012, a LMP induziu uma redução de 19% a 23% na taxa de desmatamento em municípios circunvizinhos. Assunção e Rocha (2019) também encontram evidências de diminuição do desmatamento em municípios vizinhos aos listados, sugerindo a existência de transbordamentos positivos possivelmente associados à intensificação da fiscalização em áreas contíguas.

De forma convergente, Chagas e Andrade (2024) identificam *spillovers* significativos, municípios vizinhos não listados também apresentam redução do desmatamento, podendo ultrapassar 70% quando todos os seus vizinhos são tratados. Os autores mostram ainda complementaridade espacial, com efeitos mais fortes quando as unidades tratadas estão cercadas por outras tratadas.

Além dos impactos supracitados, a redução do desmatamento pode estar associada a benefícios à saúde pública. Melo (2020) estimam que a LMP contribuiu, entre 2009 e 2017, para uma diminuição de 23,2% nas internações hospitalares por malária, dengue, diarreia e doenças respiratórias, frequentemente associadas ao avanço do desmatamento.

Outros estudos investigam a adaptação da política a diferentes contextos locais. Massoca e Brondízio (2022) realizam uma análise crítica da LMP, combinando evidências em escala local (530 municípios) e documentando sua heterogeneidade substantiva quanto à eficácia da política em nível municipal.

Os autores mostram que apenas cerca de um terço dos municípios incluídos na LMP cumpriu os critérios de remoção, sugerindo que a resposta à política é modulada por fatores locais como liderança, arranjos institucionais e estrutura econômica.

Essas evidências dialogam com Sills *et al.* (2015), que avaliam os efeitos de uma inovação local no município de Paragominas após sua inclusão na LMP. Os autores mostram que a iniciativa “Município Verde” teve efeito adicional na redução do desmatamento, além do já induzido pela política federal.

Apesar das convergências em diversos achados, a literatura apresenta divergências que merecem atenção. Enquanto Cisneros *et al.* (2015) não identificam efeitos de transbordamento estatisticamente significativos, Andrade (2016) e Chagas e Andrade (2024) encontram evidências de *spillovers* em municípios vizinhos, possivelmente decorrentes de intensificação do *enforcement* em áreas circunvizinhas. Essas diferenças podem refletir escolhas metodológicas, como a definição de vizinhança, a métrica de desmatamento adotada e a inclusão de municípios de biomas distintos.

Em conjunto, a literatura estabelece evidências sólidas de efetividade e explora múltiplos canais de atuação da LMP, incluindo fiscalização, crédito e reputação. No entanto, permanece uma lacuna quanto à mensuração do desmatamento associado a imóveis rurais e à heterogeneidade de respostas entre os Estados, dimensões centrais para compreender a política como indução de comportamento em domicílios privados.

Do ponto de vista metodológico, a literatura empírica sobre a Lista de Municípios Prioritários (LMP) e políticas correlatas baseia-se predominantemente em estratégias quase experimentais voltadas à identificação causal a partir de variações espaciais e temporais na exposição às políticas. Estudos clássicos utilizam modelos de diferenças-em-diferenças (DiD) em painéis municipais para explorar a introdução de instrumentos de comando e controle, restrições de crédito e intensificação da fiscalização ambiental, evidenciando efeitos significativos na redução do desmatamento (Assunção *et al.* (2015), Assunção e Rocha (2019)). Trabalhos como Cisneros *et al.* (2015), Andrade (2016) combinam diferenças-em-diferenças (DiD) com técnicas de pareamento espacial para construir grupos de controle comparáveis, reforçando a robustez das estimativas.

Avanços recentes têm buscado relaxar as hipóteses tradicionais dessas abordagens. Em particular, a literatura tem incorporado explicitamente a heterogeneidade do tratamento e a dependência espacial. Modelos de diferenças-em-diferenças espaciais (SDID) mostram que os efeitos da LMP não se restringem aos municípios tratados, mas se propagam para áreas vizinhas, evidenciando a relevância de efeitos de transbordamento (Chagas e Andrade, 2024).

Em uma perspectiva complementar, estudos recentes têm analisado os efeitos de mudanças institucionais na proteção ambiental sobre a dinâmica de uso da terra. Nesse contexto, Almeida (2025) investiga os impactos da redução e da eliminação de áreas protegidas (PADDD) na Amazônia brasileira, explorando dados georreferenciados de unidades de conservação no período de 2001 a 2023. Utilizando uma estratégia empírica baseada em diferenças-em-diferenças com adoção escalonada e em diferenças-em-diferenças sintéticas (SDID), o autor encontra evidências de que a perda de proteção ambiental está associada a aumentos significativos no desmatamento e na atividade de mineração. Esses resultados reforçam o papel central das instituições ambientais na contenção das pressões antrópicas e evidenciam que mudanças no arcabouço regulatório podem gerar impactos relevantes na dinâmica do uso da terra.

Outra vertente importante combina diferentes estratégias empíricas para lidar com as limitações de identificação. Métodos baseados em controle sintético têm sido utilizados para construir grupos de controle mais plausíveis em contextos com poucos tratados ou intervenções localizadas, permitindo avaliar políticas subnacionais com maior precisão (Sills *et al.* (2015)). Paralelamente, extensões não lineares do DiD, como o modelo de *changes-in-changes* (CIC), permitem estimar efeitos distributivos e capturar heterogeneidade não observada sem impor restrições funcionais rígidas (Assunção *et al.*, 2023).

Em síntese, embora a literatura revisada apresente evidências robustas sobre a efetividade da LMP e de políticas correlatas na redução do desmatamento, esses estudos compartilham uma característica metodológica comum: a análise é realizada predominantemente no nível municipal, com base em dados agregados que combinam sensoriamento remoto, registros administrativos e indicadores socioeconômicos, sem distinguir a dinâmica do desmatamento no interior dos imóveis rurais.

Assim, apesar dos avanços no entendimento dos efeitos médios das políticas de comando e controle no território municipal, a dinâmica do desmatamento associado a imóveis rurais e a forma como a política altera as decisões no nível dos imóveis rurais permanecem pouco exploradas. Essa limitação aponta para a necessidade de avaliações em escalas mais desagregadas, o que orienta o presente estudo.

4.3 METODOLOGIA

4.3.1 Base de Dados

Esta seção descreve a construção da base empírica, concebida para atingir o objetivo central do estudo, que consiste em estimar o efeito causal da inclusão de municípios na Lista de Municípios Prioritários (LMP) sobre o desmatamento ocorrido no interior de imóveis rurais. Para isso, combinamos registros do CAR/SICAR com dados oficiais de desmatamento do INPE, permitindo deslocar a análise do nível municipal agregado para uma escala diretamente vinculada às decisões no nível dos imóveis rurais.

A base de dados foi construída por meio da integração de informações geoespaciais¹, socioeconômicas, agropecuárias, demográficas e climáticas. O eixo central da construção empírica combina

- a) Registros de imóveis rurais do Cadastro Ambiental Rural (CAR/SICAR).
- b) Dados oficiais sobre incremento anual do desmatamento na Amazônia, produzidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A integração dessas duas camadas permite mensurar o desmatamento *dentro* dos limites dos imóveis rurais, que é o *outcome* diretamente conectado ao objetivo do estudo: avaliar o impacto da LMP sobre decisões no nível dos imóveis rurais.

¹ Os dados geoespaciais dos imóveis rurais armazenados em arquivos do tipo *shapefile* foram processados utilizando o software QGIS 3.36.2. O procedimento inicial incluiu a reprojeção dos arquivos para o sistema de coordenadas geodésicas Sirgas 2000 (EPSG: 5880), adotado oficialmente pelo Brasil e utilizado para posicionamento preciso na América Latina e no Caribe.

Os dados de imóveis rurais do SICAR apresentam limitações conhecidas, sobretudo pelo caráter autodeclaratório, que pode gerar sobreposições espaciais entre polígonos de imóveis distintos. Para mitigar esse problema e garantir consistência espacial, adotaram-se procedimentos de depuração alinhados à estratégia de Arruda *et al.* (2025). Inicialmente, os imóveis foram classificados por porte², com base na área declarada:

- a) **Minifúndio**: imóvel rural com área inferior à Fração Mínima de Parcelamento;
- b) **Pequena propriedade**: imóvel com área entre a Fração Mínima de Parcelamento e quatro módulos fiscais;
- c) **Média propriedade**: imóvel rural com área superior a quatro e até quinze módulos fiscais;
- d) **Grande propriedade**: imóvel rural com área superior a quinze módulos fiscais.

Em seguida, identificaram-se as áreas de sobreposição entre imóveis e aplicou-se o operador de diferença simétrica entre o *shapefile* dos imóveis e o *shapefile* das sobreposições, de modo a excluir integralmente as áreas conflitantes. Como consequência, a área efetiva de alguns imóveis foi reduzida. Após a exclusão, os imóveis foram reclassificados por porte e aqueles cuja categoria mudou em função da depuração foram removidos da amostra. Esse procedimento assegura a estabilidade da unidade de análise e evita que alterações puramente cartográficas (e não decisões de uso da terra) modifiquem a composição da amostra ao longo do tempo Arruda *et al.* (2025). Esse passo é crucial para a inferência causal, pois evita que variações artificiais na geometria dos polígonos contaminem o *outcome* intra-imóvel e, consequentemente, a estimação do efeito da LMP.

Com o *shapefile* final de imóveis rurais, realizou-se a intersecção espacial com o *shapefile* de incremento anual do desmatamento (INPE). A área resultante define o *outcome* central do estudo como o desmatamento ocorrido no interior dos imóveis rurais. Essa escolha é crucial para o objetivo da pesquisa, pois desloca a unidade analítica da escala municipal agregada para a escala na qual decisões no nível dos imóveis rurais são efetivamente tomadas, permitindo avaliar de forma mais direta como a LMP afeta o desmatamento associado a imóveis rurais.

Adicionalmente, os municípios de Anajatuba, São Bento e Santa Rita (Maranhão) foram excluídos da amostra final devido a inconsistências operacionais na execução do procedimento de depuração espacial, associadas à estrutura dos registros do SICAR nesses territórios. A exclusão visa preservar a comparabilidade e integridade espacial do painel.

² Ver Lei nº 13.465/2017 (que altera a Lei nº 8.629/1993). O módulo fiscal é uma medida de área (ha) fixada pelo INCRA para cada município. Informação disponível em <<https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/modulo-fiscal>>. Acesso em 19/01/2026.

Conforme detalhado no Quadro 1, a base final combina: (i) variáveis no nível do imóvel/município, como o logaritmo da área desmatada nos imóveis rurais, e (ii) variáveis no nível municipal, incluindo crédito rural (valor total dos contratos), indicadores agropecuários (densidade de gado), indicadores econômicos (PIB agropecuário), variáveis demográficas (percentual da população rural e categoria de urbanização) e variáveis climáticas (precipitação anual).

Cabe destacar que, embora o desmatamento seja identificado com base em informações geoespaciais associadas aos imóveis rurais, as variáveis utilizadas na análise são agregadas ao nível municipal. Assim, o município constitui a unidade de observação empírica do estudo, ao passo que os dados em nível de imóvel são empregados para refinar a mensuração do desmatamento. Essa estratégia permite compatibilizar a granularidade das informações espaciais com a estrutura dos modelos econométricos adotados.

A base empírica abrange o período de 2010 a 2022. Embora a LMP tenha sido instituída em 2008, a delimitação temporal decorre de considerações normativas, institucionais e empíricas. O ano de 2010 coincide com um evento institucional relevante: a exclusão de Paragominas da LMP, primeiro caso de saída por cumprimento de critérios, o que sinaliza a efetiva operacionalização da política e a alteração de seus incentivos. Assim, iniciar a análise em 2010 aumenta a clareza institucional na definição do tratamento e a consistência entre a política e os instrumentos.

Por fim, a base final constitui um painel anual (2010-2022) com 485 municípios situados no bioma Amazônia: Acre, Amazonas, Amapá, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins.

Quadro 1 – Variáveis utilizadas na análise: classificação, descrição e fonte dos dados

Tipo	Variável	Descrição	Fonte
Tratamento	trat	Indicador de tratamento: assume o valor 1 se o município estiver na Lista de Municípios Prioritários (LMP) e 0, caso contrário.	Elaboração própria
Resultado	Log_desmat_imv	Logaritmo da área desmatada em imóveis rurais no município, em hectares, no período de 2010 a 2022.	INPE; SI-CAR
Identificação	Cd_Mun	Código identificador do município.	IBGE
Identificação	year	Ano.	Elaboração própria
Controle	cate_urb_moderado	<i>Dummy</i> indicando os municípios com grau de urbanização moderado.	IBGE
Controle	cate_urb_alto	<i>Dummy</i> indicando municípios com elevado grau de urbanização.	IBGE
Controle	densidade_gado	Efetivo do rebanho bovino dividido pela área territorial do município.	IBGE
Controle	perc_pop_rural	Proporção da população residente em área rural no município.	IBGE
Controle	PIB_agro	Produto Interno Bruto agropecuário municipal (em milhares de R\$), a preços constantes de 2021.	IBGE
Controle	precip_anual_mm	Precipitação anual acumulada no município (mm).	ERA5-Land
Controle	Qtde_infracao	Número total de infrações ambientais registradas no município.	IBAMA
Controle	UF_AC	<i>Dummy</i> estadual (análoga às de AM, AP, MA, MT, PA, RO, RR e TO).	IBGE
Controle	VI_total	Valor total dos contratos de crédito rural no município, a preços constantes de 2021.	BACEN

Fonte: Elaboração própria. As variáveis demográficas apresentam baixa variação temporal, pois se baseiam em dados censitários ou em estimativas intercensitárias. As variáveis monetárias estão expressas em preços constantes de 2021. As variáveis climáticas foram obtidas da base de dados ERA5-Land (Muñoz-Sabater et al., 2021). Para variáveis censitárias, os valores ausentes foram replicados com base no último ano disponível. Os demais dados faltantes foram tratados por imputação múltipla via pacote MICE.

4.3.2 *Estratégia de Identificação*

A estratégia de identificação explora a inclusão de municípios na Lista de Municípios Prioritários (LMP) como um choque institucional exógeno no tempo, no âmbito das políticas federais de combate ao desmatamento. A entrada, saída ou retorno de municípios à LMP decorre de critérios técnicos definidos centralmente e fundamentados em indicadores históricos produzidos por órgãos federais, sem resultar de decisões municipais ou estaduais nem de escolhas diretas de agentes econômicos locais. Embora a política seja definida no nível municipal, o estimador de interesse neste estudo é o efeito da política sobre o desmatamento intra-imóvel, isto é, o componente diretamente ligado às decisões no nível dos imóveis rurais, observável pela integração SICAR/INPE descrita na seção anterior.

Para garantir clareza na definição do tratamento, restringe-se a amostra a municípios com trajetória monotônica em relação à LMP, isto é, que nunca foram listados ou que ingressaram uma única vez e permaneceram continuamente tratados no período analisado. Essa restrição reduz ambiguidades quanto à reentrada e à saída e fortalece a interpretação causal. Especificamente, mantêm-se apenas os municípios que nunca integraram a política (438 municípios) ou que ingressaram uma única vez e permaneceram continuamente na LMP durante o período de vigência analisado (47 municípios). Essa escolha visa evitar ambiguidades na definição do tratamento, reduzir potenciais efeitos de antecipação ou de reversão e fortalecer a interpretação causal dos resultados.

Adicionalmente, define-se o tratamento a partir de 2017 e decorrente de uma decisão metodológica fundamentada na estabilidade normativa e na coerência institucional dos critérios que regem a Lista de Municípios Prioritários (LMP). Conforme sintetizado no Quadro 4 do Apêndice B, o período anterior a 2017 é caracterizado por frequentes alterações nos critérios de inclusão e exclusão de municípios na LMP, com sucessivas mudanças nos limiares de desmatamento, na forma de mensuração e na incorporação ou exclusão de critérios adicionais, como alertas do sistema DETER e variações interanuais específicas.

A Portaria nº 360, de 2017, representa um marco normativo relevante, ao estabelecer critérios claros para inclusão na LMP, baseados em:

- a) área total de floresta desmatada no ano de referência;
- b) área total de floresta desmatada nos últimos três anos; e,
- c) aumento da taxa de desmatamento em pelo menos três dos últimos cinco anos.

Essa estabilidade normativa, a partir de 2017, é central para a estratégia empírica

adotada neste estudo, pois garante que a condição de tratamento seja definida de forma consistente ao longo do tempo, reduzindo o risco de viés associado a redefinições institucionais do próprio tratamento. Ao restringir a análise ao período em que os critérios permanecem invariantes, assegura-se que as mudanças observadas no desmatamento possam ser interpretadas como respostas à política, e não como reflexo de alterações nos parâmetros regulatórios que definem a LMP.

Além disso, a adoção de 2017 como ponto inicial do tratamento permite uma leitura mais clara do efeito causal da política em um contexto de adoção escalonada, no qual diferentes municípios passam a integrar a LMP em momentos distintos, mas sob o mesmo arcabouço normativo. Tal escolha fortalece a comparabilidade entre unidades tratadas e de controle e é particularmente adequada à aplicação de modelos com efeitos fixos interativos, como o *Generalized Synthetic Control*, que pressupõem estabilidade estrutural na definição do tratamento ao longo do período analisado.

Já o encerramento do período de análise em 2022 evita a contaminação dos resultados por mudanças institucionais mais profundas introduzidas pelo Decreto nº 11.687/2023, que revoga o decreto original e altera substancialmente a lógica da política ao instituir o Programa União com Municípios. Dessa forma, a delimitação temporal adotada garante coerência normativa, clareza na definição do tratamento e maior robustez na interpretação causal dos efeitos estimados.

O contrafactual refere-se à trajetória do desmatamento (no interior dos imóveis rurais) que seria observada, na ausência da inclusão na LMP, nos municípios tratados. Empiricamente, esse cenário é aproximado por municípios não listados, sujeitos ao mesmo arcabouço nacional de políticas ambientais e econômicas, mas sem a intensificação focalizada dos instrumentos associados à LMP, e com características estruturais comparáveis.

A identificação repousa sobre hipóteses causais centrais. Primeiro, assume-se a ausência de seleção antecipatória: municípios e proprietários não ajustam o desmatamento em antecipação à entrada na LMP. Segundo, requer-se que, na ausência do tratamento, tratados e controles exibissem trajetórias comparáveis no pré-tratamento, uma vez controladas as covariáveis observadas e a estrutura de fatores latentes estimada pelo modelo. Por fim, assume-se a estabilidade da unidade de análise ao longo do tempo, hipótese reforçada pela depuração espacial que exclui imóveis cujo porte se altera após a remoção de sobreposições.

Uma limitação inerente a esse tipo de avaliação refere-se à hipótese de não interfe-

rência entre unidades (SUTVA), segundo a qual o tratamento aplicado a um município não afeta os resultados observados em outros municípios. No contexto da política analisada, entretanto, não se pode descartar a existência de efeitos indiretos decorrentes do deslocamento de atividades produtivas ou do desmatamento para áreas vizinhas. Embora a presente análise tenha como foco os efeitos diretos da inclusão na Lista de Municípios Prioritários, essa possibilidade deve ser considerada na interpretação dos resultados.

Além disso, reconhecem-se potenciais ameaças à identificação, como *spillovers* espaciais, mudanças concomitantes no *enforcement* ambiental e limitações autodeclaratórias do CAR. Essas ameaças são mitigadas, em parte, pelo processo de depuração dos registros do SICAR (exclusão de sobreposições e de registros inconsistentes). Elas também justificam o uso de modelos econométricos flexíveis e a realização de testes de robustez, apresentados nas seções subsequentes.

4.3.2.1 Estratégia Econométrica

O objetivo é estimar o efeito causal médio do tratamento sobre o desmatamento proveniente de imóveis rurais em municípios tratados (isto é, incluídos na LMP). O estimador de interesse é o Efeito Médio do Tratamento (ATT), definido como a diferença entre o desmatamento observado após o tratamento e o contrafactual correspondente na ausência da política.

A variável dependente principal é o desmatamento em imóveis rurais agregado ao nível municipal, mensurado pela interseção entre os polígonos dos imóveis e os dados oficiais de incremento anual de desmatamento. Seguindo a prática de avaliações recentes, como Arruda *et al.* (2025), utiliza-se o *outcome* na forma logarítmica.

A transformação logarítmica reduz assimetria, mitiga a influência de valores extremos e permite interpretar os coeficientes como variações percentuais. Ela é particularmente adequada dado o alto grau de heterogeneidade do desmatamento entre municípios e ao longo do tempo, além de favorecer o ajuste do modelo com efeitos fixos interativos.

O desenho empírico caracteriza-se por um contexto de tratamento escalonado no tempo, no qual diferentes municípios passam a integrar a Lista de Municípios Prioritários em momentos distintos. Ademais, o processo de desmatamento apresenta elevada persistência temporal e é influenciado por fatores não observados que variam ao longo do tempo de forma heterogênea entre municípios, tornando pouco plausível a hipótese de tendências paralelas exigida por modelos tradicionais de diferenças-em-diferenças com efeitos fixos bidimensionais.

Para lidar com essas características, utiliza-se o *Generalized Synthetic Control* (GSC), proposto por Xu (2017), que generaliza o controle sintético para múltiplas unidades tratadas e adoção escalonada, combinando-o com um modelo de efeitos fixos interativos. O método interpreta os resultados potenciais não observados das unidades tratadas como dados ausentes e os imputa a partir de um modelo fatorial estimado com base nas unidades de controle, tomando os períodos pré-tratamento como referência. Assim, o GSC apresenta as seguintes vantagens:

- a) Permitir que o tratamento seja correlacionado com heterogeneidades não observadas de unidade e tempo;
- b) Generaliza o controle sintético para o caso de múltiplas unidades tratadas e períodos de tratamento variáveis;
- c) Seleciona o número de fatores por validação cruzada, escolhendo o número de fatores do modelo de efeito fixo;e,
- d) Corrige viés para efeitos fixos, quando o efeito do tratamento é heterogêneo entre as unidades.

A especificação econométrica estimada é dada por:

$$\log_desmat_imv_{it} = \alpha_i + \gamma_t + \tau \cdot trat_{it} + X'_{it}\beta + f'_t\lambda_i + \varepsilon_{it}, \quad (4.1)$$

em que $\log_desmat_imv_{it}$ representa o logaritmo do desmatamento em imóveis rurais no município i no ano t ; α_i e γ_t são efeitos fixos de município e de ano, que capturam heterogeneidades invariantes no tempo e choques comuns a todas as unidades, respectivamente; $trat_{it}$ é um indicador binário de tratamento; X_{it} é o vetor de covariáveis observáveis, que inclui percentual da população rural, densidade de gado, precipitação anual (em mm), PIB agropecuário, quantidade de infrações ambientais, valor total do crédito rural e *dummies* de categoria urbana; e $f_t\lambda_i$ representa a componente fatorial latente, composta por fatores comuns no tempo (f_t) e cargas específicas a cada município λ_i , permitindo acomodar heterogeneidade não observada que varia de forma diferenciada entre as unidades.

A identificação do efeito causal não requer a suposição de tendências paralelas, desde que as trajetórias de tratamento e controle possam ser aproximadas por uma estrutura fatorial comum nos períodos pré-tratamento. O número de fatores latentes (r) é selecionado endogenamente por meio de um procedimento de validação cruzada, que minimiza o erro médio de previsão nos períodos anteriores à intervenção, conforme proposto por Xu (2017). Para este estudo, os resultados indicaram a seleção ótima de $r^* = 1$, sugerindo que um fator latente de primeira ordem captura a dinâmica comum do desmatamento no período pré-tratamento.

A inferência estatística é conduzida por *bootstrap* com 1.000 repetições, preservando a dependência serial entre as unidades por meio de reamostragem em blocos dos resíduos. Esse procedimento permite obter erros-padrão e intervalos de confiança robustos à heterocedasticidade e à correlação serial. Adicionalmente, são realizados testes placebo no espaço e análises de heterogeneidade por Unidade da Federação (UF), com o objetivo de avaliar a robustez e a variação espacial dos efeitos.

A comparabilidade intertemporal é reforçada pelos critérios de construção da base, que excluem imóveis cujo porte se altera após a depuração espacial, reduzindo potenciais fontes de viés.

A partir da estratégia de identificação, o tratamento é operacionalizado por uma *dummy* município/ano que indica se o município esteve sujeito às restrições associadas à LMP em cada ano, com base nas portarias do MMA publicadas no DOU. Define-se $trat_{it} = 1$ para municípios que ingressaram na LMP a partir de 2017 e permaneceram continuamente tratados no período de análise; caso contrário, $trat_{it} = 0$. Variáveis auxiliares, como o ano de entrada e a condição de permanência, são utilizadas para descrever a dinâmica temporal do tratamento e apoiar análises de efeitos ao longo do tempo.

Ainda no processo de construção da base, foram criadas variáveis auxiliares para caracterizar municípios e imóveis. Destaca-se a construção de *dummies* de Unidade da Federação (UF) com base no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que assumem valor 1 para o estado de interesse e 0 para os demais. Também foi construída uma variável categórica que classifica os municípios segundo sua trajetória na Lista de Municípios Prioritários (LMP), com base nas publicações do Diário Oficial do Ministério do Meio Ambiente (Quadro 5, em Apêndice C), distinguindo:

- a) **Categoria = 0:** municípios que nunca integraram a Lista de Municípios Prioritários, ou seja, não prioritários;
- b) **Categoria = 1:** municípios que integraram a Lista de Municípios Prioritários uma única vez, sem posterior exclusão;

A comparabilidade entre tratados e controles é reforçada por um conjunto abrangente de covariáveis, que captura crédito rural, dinâmica agropecuária, estrutura demográfica, urbanização e condições climáticas. As covariáveis são construídas a partir de fontes oficiais, com atenção às respectivas limitações. As variáveis monetárias são expressas em preços constantes de 2021 e as variáveis climáticas provêm de bases de alta resolução espacial.

Já as variáveis demográficas de natureza censitária apresentam baixa variação temporal e estão disponíveis apenas em anos específicos. Nesses casos, adotou-se o procedimento de carregamento para frente (*last observation carried forward*), replicando o último valor observado até a disponibilidade de nova informação censitária. O procedimento foi aplicado apenas às variáveis demográficas estruturais e antecedeu a imputação múltipla, evitando interpolação artificial pelo algoritmo. Como algumas covariáveis econômicas e de fiscalização apresentam valores ausentes, adotou-se imputação múltipla multinível para preservar a estrutura longitudinal do painel e evitar perdas amostrais, conforme Rubin (1987).

A imputação foi realizada com o pacote *Multiple Imputation by Chained Equations (MICE)*, que implementa imputação por equações encadeadas (Buuren e Groothuis-Oudshoorn, 2011). Desta forma, utilizou-se o método `2l.pan`, apropriado para dados em painel por incorporar a estrutura multinível (observações ao longo do tempo aninhadas em municípios), preservando a decomposição de variância intra e entre unidades (Buuren e Groothuis-Oudshoorn, 2011; Huque *et al.*, 2018).

O procedimento de imputação foi aplicado especificamente às variáveis Produto Interno Bruto, número total de infrações e valor total dos contratos de crédito rural, que apresentavam proporções de dados faltantes (12,6%, 12,6% e 13%, respectivamente) na base original. Junaid *et al.* (2025) recomenda cautela quanto às proporções de dados ausentes entre 50% e 70%, visto que alterações moderadas são observadas nesse intervalo.

A matriz de preditores foi especificada para refletir a estrutura do painel, com o identificador municipal definido como agrupador de nível 2, enquanto o ano e as covariáveis observadas (percentual da população rural e a distância do município ao porto) foram utilizados como preditores de nível 1, permitindo variação temporal dentro de cada município.

Após a imputação, as variáveis foram reconvertidas para a escala original e as versões imputadas foram utilizadas nas estimações principais, mantendo-se as séries originais para auditoria e rastreabilidade. Ao final, conduziram-se diagnósticos de consistência, incluindo a verificação da proporção residual de dados ausentes e um exercício de validação preditiva com base no erro quadrático médio (RMSE), prática recomendada para imputação múltipla em painéis longitudinais (Huque *et al.*, 2018).

Por fim, a plausibilidade da identificação é avaliada empiricamente por meio da comparação de trajetórias pré-tratamento entre tratados e controles, de testes placebo e de análises de heterogeneidade. Esses exercícios complementam a argumentação causal e reforçam

que os efeitos estimados refletem a política analisada, e não particularidades da construção da base ou flutuações idiossincráticas.

4.4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.4.1 *Análise descritiva dos dados*

Antes de discutir os resultados causais da Lista de Municípios Prioritários (LMP), esta subseção apresenta uma análise descritiva das principais variáveis utilizadas no estudo, com base nas médias municipais observadas no período pré-tratamento (2010–2016). A Tabela 4 compara municípios tratados e não tratados, apresentando as médias de cada grupo, as diferenças entre as médias e os testes t correspondentes. O objetivo é avaliar o grau de comparabilidade inicial entre os grupos e contextualizar a interpretação dos resultados econométricos subsequentes.

Os resultados indicam que os municípios posteriormente incluídos na LMP já apresentavam níveis mais elevados de desmatamento em imóveis rurais no período pré-tratamento, conforme evidenciado pela variável *Log_desmat_inv*. Essa diferença estatisticamente significativa sugere que a política incidiu sobre territórios que já se encontravam em situação ambientalmente crítica, em linha com os critérios técnicos de priorização da LMP, baseados na dinâmica histórica do desmatamento.

Diferenças também são observadas em variáveis associadas à estrutura produtiva e às condições ambientais. Em particular, os municípios tratados apresentam menor densidade média de gado em relação aos não tratados, com diferença estatisticamente significativa. Esse resultado aponta para heterogeneidades estruturais no uso da terra e na composição das atividades agropecuárias entre os grupos. Ademais, os municípios tratados apresentam maior precipitação média anual, diferença igualmente estatisticamente significativa, o que reflete condições biofísicas distintas que podem influenciar tanto a aptidão produtiva quanto a dinâmica do desmatamento.

No campo institucional, destaca-se que a quantidade média de infrações ambientais é substancialmente maior nos municípios tratados no período pré-tratamento. A diferença estatisticamente significativa sugere que esses municípios já se encontravam sob maior intensidade de fiscalização ou apresentavam maior incidência de irregularidades ambientais antes da inclusão na LMP, reforçando a interpretação de que a política focalizou territórios previamente mais expostos a pressões ambientais e institucionais.

Tabela 4 – Médias pré-tratamento (2010-2016): municípios tratados e não tratados

Variável	Tratados	Não tratados	Diferença	Estat. t	p-valor	N (T/C)
Log_desmat_imv	2.56	0.779	1.78	11.80	0.000	23 / 438
perc_pop_rural	45.8	53.0	-7.10	-1.61	0.120	23 / 438
densidade_gado	17.5	38.9	-21.4	-3.27	0.003	23 / 438
precipitação_mm	2326	1925	401	6.18	0.000	23 / 438
PIB_agro	132688	105180	27508	1.40	0.173	23 / 438
Qtde_infracao	41.2	12.8	28.4	4.61	0.000	23 / 438
VI_Total	33053853	30049491	3004362	0.21	0.836	23 / 438
Cate_urb_moderado	0.522	0.318	0.204	1.87	0.073	23 / 438
Cate_urb_alto	0.087	0.171	-0.084	-1.34	0.191	23 / 438

Notas: A tabela apresenta as médias municipais no período pré-tratamento (2010–2016). A diferença corresponde à média dos tratados menos a média dos não tratados. O teste t é do tipo Welch, com variâncias desiguais. *N* indica o número de municípios tratados (T) e não tratados (C).

As variáveis econômicas apresentam pequenas diferenças. O PIB agropecuário e o volume total de crédito rural são, em média, mais elevados nos municípios tratados, mas as diferenças não são estatisticamente significativas aos níveis convencionais. Esse padrão indica que, apesar de maior atividade econômica rural em média, os grupos não diferem em termos de escala econômica agregada no período pré-tratamento, possivelmente devido à elevada dispersão dessas variáveis.

Esse padrão de heterogeneidade inicial entre municípios tratados e não tratados é consistente com a literatura que documenta a natureza estrutural e multifatorial do desmatamento na Amazônia. Em particular, Mariano *et al.* (2012) mostram que fatores socioeconômicos, produtivos e institucionais, incluindo a presença de órgãos ambientais municipais, estão fortemente associados aos níveis de desmatamento nos municípios da Amazônia. Os autores destacam que municípios com maior pressão ambiental tendem a concentrar tanto maiores taxas de desmatamento quanto maior incidência de ações de fiscalização, o que reforça a interpretação de que políticas ambientais focalizadas incidem, de forma não aleatória, sobre territórios previamente mais vulneráveis do ponto de vista ambiental.

Quanto às características demográficas e territoriais, a proporção da população rural é menor nos municípios tratados, embora essa diferença não seja estatisticamente significativa. Em relação ao grau de urbanização, observa-se que a categoria de urbanização moderada é mais frequente entre os municípios tratados, com significância marginal, enquanto a urbanização elevada não apresenta diferença estatisticamente significativa entre os grupos. Esses resultados sugerem que o grau de urbanização não constitui o principal eixo de diferenciação entre tratados e não tratados no período analisado.

Em síntese, a análise descritiva evidencia que municípios tratados e não tratados apresentam diferenças já no período pré-tratamento, especialmente em variáveis diretamente relacionadas ao desmatamento, à fiscalização ambiental, à estrutura produtiva e às condições biofísicas. Essas heterogeneidades iniciais indicam que comparações médias simples não são suficientes para identificar o efeito causal da política. Nesse sentido, os resultados reforçam a adequação da estratégia empírica adotada neste estudo, o modelo de Controle Sintético Generalizado, que explora a informação contida nas trajetórias de pré-tratamento e permite controlar heterogeneidades observáveis e não observáveis na construção de contrafactuais plausíveis. Esse diagnóstico fornece o pano de fundo necessário para a interpretação dos resultados causais apresentados na subseção seguinte.

4.4.2 Efeito médio sobre os tratados (ATT)

A Tabela 5 reporta o efeito médio do tratamento sobre os tratados (ATT médio), isto é, o impacto da inclusão na Lista de Municípios Prioritários (LMP) sobre o logaritmo do desmatamento proveniente de imóveis rurais nos municípios tratados no período de 2017 a 2022. As estimativas são obtidas a partir do modelo de Controle Sintético Generalizado (CSG), que permite a construção de trajetórias contrafactuais flexíveis e o controle de heterogeneidades não observadas no tempo e entre unidades.

Os resultados indicam um efeito médio negativo e estatisticamente significativo ao nível de 5% ($\widehat{ATT} = -0,3522$, $p = 0,021$), sugerindo que, em média, os municípios incluídos na LMP apresentaram níveis de desmatamento em imóveis rurais significativamente inferiores àqueles que teriam sido observados na ausência da política, conforme o contrafactual estimado pelo modelo CSG.

Tabela 5 – Efeito médio do tratamento (ATT médio)

	Estimativa	Erro-padrão	IC inferior	IC superior	Valor-p
ATT.avg	-0,3522	0,1528	-0,6516	-0,0527	0,0211

Notas: Intervalo de confiança (IC) e p-valor, conforme inferência paramétrica do CSG, com bootstrap (1000 repetições).

Como o *outcome* encontra-se expresso em logaritmo, a interpretação substantiva do coeficiente requer a transformação exponencial do efeito estimado.³ Dessa forma, o ATT médio

³ O efeito médio do tratamento pode ser convertido em termos percentuais por meio da expressão $100 \cdot (\exp(\widehat{ATT}) - 1)$. Assim, $\widehat{ATT} = -0,3522$ implica que o nível esperado de desmatamento após o tratamento é

estimado corresponde a uma redução média de cerca de 29,6% no desmatamento oriundo de imóveis rurais nos municípios tratados.

4.4.2.1 *Dinâmica temporal dos efeitos (event study por período)*

A Tabela 6 apresenta a dinâmica temporal dos efeitos do tratamento estimados por período, relativos à entrada na política. O estudo de eventos em contexto de adoção escalonada permite avaliar não apenas a existência do efeito médio, mas também sua evolução ao longo do tempo, agregando coortes de municípios que ingressaram na LMP em anos distintos. Valores negativos indicam reduções no desmatamento proveniente de imóveis rurais (em log) nos municípios tratados em relação ao contrafactual estimado.

No período pré-tratamento ($t < 0$), os coeficientes estimados são, em geral, estatisticamente não significativos e os intervalos de confiança incluem o valor nulo, sugerindo ausência de divergências sistemáticas entre municípios tratados e controles antes da implementação da política. Uma exceção ocorre em $t = -4$, em que se observa um coeficiente negativo estatisticamente significativo. Esse resultado pontual pode refletir antecipação comportamental, diferenças idiossincráticas prévias, sensibilidade à composição do grupo doador ou ruído associado ao procedimento de estimação. Nesse sentido, testes placebo e exercícios adicionais de robustez são empregados para avaliar se tal desvio é compatível com flutuações amostrais, não comprometendo a interpretação causal dos efeitos pós-tratamento.

Cabe destacar que, no período $t = 0$, correspondente ao ano de publicação e entrada formal da política, a coluna *n.Tratados* é igual a zero, indicando que esse intervalo é tratado como um período de transição e não contribui para a identificação dos efeitos do tratamento. Assim, a interpretação substantiva dos resultados concentra-se a partir de $t = 1$, que representa o primeiro ano completo de vigência dos instrumentos da LMP e o primeiro período em que as unidades foram tratadas.

No período pós-tratamento, os efeitos tornam-se progressivamente mais negativos, atingindo maior magnitude em $t = 3$ e $t = 4$. Nesses períodos, os coeficientes estimados são estatisticamente significativos e de grande magnitude, correspondendo a reduções aproximadas de 56% e 52%, respectivamente, no desmatamento proveniente de imóveis rurais, em relação ao contrafactual estimado pelo modelo CSG. Em ambos os casos, os intervalos de confiança

multiplicado por $\exp(-0,3522) \approx 0,706$, correspondendo a uma redução aproximada de 29,6% em relação ao contrafactual.

Tabela 6 – Efeitos por período (inclui pré-tratamento)

t	ATT	Erro-padrão	IC inferior	IC superior	Valor-p	n.Tratados
-6	-0,08193	0,06182	-0,20310	-0,03923	0,1851	0
-5	-0,08560	0,07040	-0,22358	-0,05238	0,2240	0
-4	-0,27021	0,06507	-0,39775	-0,14267	0,000033	0
-3	-0,02624	0,06359	-0,15087	-0,09839	0,6798	0
-2	-0,01715	0,05703	-0,12892	-0,09462	0,7637	0
-1	-0,08616	0,05703	-0,02562	-0,19793	0,1309	0
0	-0,14487	0,05652	-0,03409	-0,25565	0,01037	0
1	-0,04334	0,08867	-0,13045	-0,21714	0,6250	23
2	-0,17524	0,12990	-0,42984	-0,07935	0,1773	19
3	-0,81313	0,24633	-1,29593	-0,33033	0,0009635	10
4	-0,72650	0,23477	-1,18664	-0,26636	0,001971	10
5	-0,54084	0,25502	-1,04067	-0,04101	0,03394	10
6	-0,62942	0,30454	-1,22630	-0,03253	0,03875	8

Notas: t denota os períodos relativos ao tratamento. n.Tratados indica o número de unidades tratadas que contribuem para cada estimativa em cada período. Define-se $t = 1$ como o primeiro ano completo de vigência dos instrumentos da LMP; o ano de publicação/entrada formal é tratado como período de transição ($t = 0$) e não contribui para a contagem de unidades tratadas. Como a composição das unidades tratadas varia ao longo do horizonte temporal (coluna n.Tratados), as estimativas para períodos mais longos refletem principalmente as coortes que ingressaram mais cedo na política.

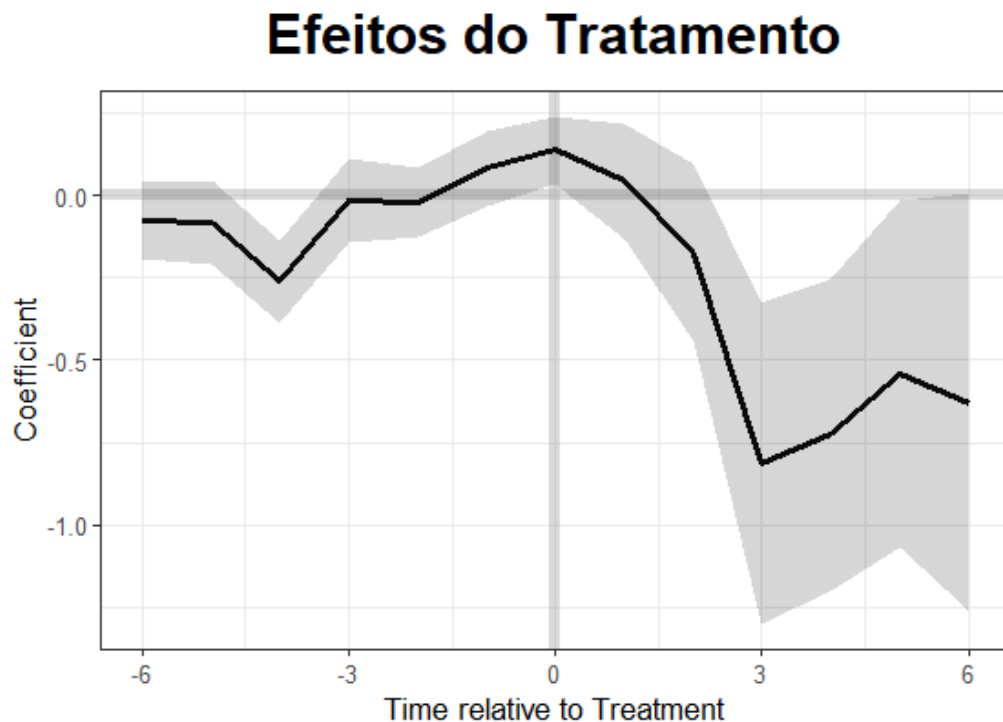
situam-se inteiramente abaixo de zero, reforçando a robustez dos resultados.

Nos períodos subsequentes, observa-se uma redução relativa da magnitude dos efeitos em comparação com os picos observados em $t = 3$ e $t = 4$, embora os impactos permaneçam negativos e estatisticamente significativos até $t = 6$. Por exemplo, em $t = 5$, a estimativa pontual sugere uma redução de aproximadamente 42% no desmatamento proveniente de imóveis rurais. Em $t = 6$, o efeito permanece negativo e estatisticamente significativo, ainda que estimado com maior incerteza, o que reflete a diminuição do número de unidades tratadas que contribuem para a estimação em horizontes temporais mais longos.

Ilustrando as evidências apresentadas na Tabela 6, a Figura 2 apresenta a dinâmica dos efeitos do tratamento estimados pelo modelo CSG, comparando o desmatamento observado nos municípios tratados com o contrafactual estimado ao longo do tempo. No período pré-tratamento, os coeficientes oscilam em torno de zero e os intervalos de confiança incluem o valor nulo, o que sugere ausência de diferenças sistemáticas entre tratados e controles antes da implementação da política, ainda que se observe um desvio negativo pontual em períodos mais distantes.

A Figura 3 complementa essa evidência ao apresentar a trajetória temporal do desma-

Figura 2 – Efeitos estimados do tratamento sobre o desmatamento



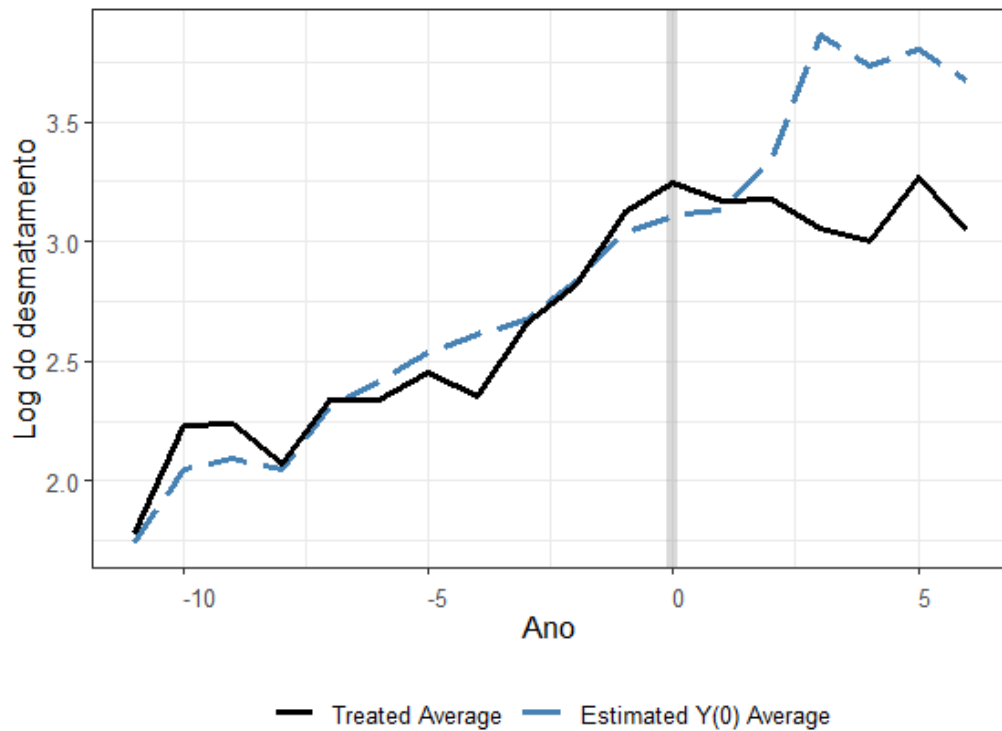
tamento médio (em log) proveniente de imóveis rurais nos municípios tratados, em comparação com o contrafactual estimado. No período de pré-tratamento, as trajetórias observadas e contrafactuais acompanham-se de forma bastante próxima, indicando bom ajuste do modelo e reforçando a validade do contrafactual construído. A partir do início do tratamento, observa-se uma divergência progressiva entre as trajetórias, com o desmatamento nos municípios tratados apresentando crescimento substancialmente menor do que o previsto no cenário contrafactual, o que evidencia o efeito causal negativo da política.

4.4.2.2 Discussão dos resultados

A análise conjunta das estimativas do ATT médio, do estudo de eventos e da inspeção gráfica das trajetórias observadas e contrafactuais fornece evidências consistentes de que a inclusão na Lista de Municípios Prioritários está associada a uma redução estatisticamente significativa do desmatamento proveniente de imóveis rurais. O bom ajuste no período pré-tratamento, evidenciado pela sobreposição entre as trajetórias observadas e contrafactual antes de $t = 0$, reforça a validade do contrafactual estimado pelo modelo CSG e sustenta a interpretação causal dos resultados.

Os efeitos não ocorrem de forma imediata, mas se intensificam em alguns períodos

Figura 3 – Trajetória do desmatamento: tratado e controle sintético



após a implementação da política, atingindo maior magnitude entre $t = 3$ e $t = 4$ e permanecendo estatisticamente significativos até $t = 6$. Esse padrão temporal é consistente com mecanismos de implementação gradual, de intensificação da fiscalização e de adaptação institucional, sugerindo que os efeitos da política se consolidam ao longo do tempo.

Embora se observe um coeficiente estatisticamente significativo em um período específico do pré-tratamento ($t = -4$), a ausência de um padrão sistemático de diferenças nesse intervalo indica que tal evidência deve ser interpretada com cautela. Ainda assim, a realização de análises adicionais de robustez, como testes placebo no espaço, é fundamental para reforçar a interpretação causal dos resultados.

Os resultados obtidos indicam que a inclusão de municípios na Lista de Municípios Prioritários (LMP) está associada a uma redução estatisticamente significativa do desmatamento em imóveis rurais, corroborando um conjunto robusto de evidências empíricas que apontam para a efetividade de políticas de comando e controle na Amazônia brasileira. Esse resultado está alinhado não apenas com estudos já consolidados, como Assunção *et al.* (2015) e Cisneros *et al.* (2015), mas também com evidências mais recentes que reforçam o papel central da atuação estatal na contenção do desmatamento (Benevit *et al.*, 2023).

Nesse contexto, a LMP atua especificamente no componente institucional, alterando

os incentivos dos agentes ao aumentar a probabilidade de detecção e de punição de atividades ilegais. Dessa forma, os resultados empíricos deste estudo reforçam a hipótese de que a governança ambiental e a capacidade de *enforcement* do Estado constituem elementos-chave na modulação da dinâmica do desmatamento.

Do ponto de vista econômico, a redução observada pode ser interpretada como resultado do aumento do custo esperado do desmatamento ilegal. Conforme argumentado por Ferreira e Coelho (2015), a decisão de converter áreas florestais está fortemente associada à rentabilidade das atividades agropecuárias, que, por sua vez, depende dos preços de *commodities* e condições de mercado. Ao introduzir restrições regulatórias mais rígidas e intensificar a fiscalização, a LMP atua como um mecanismo que contrabalança esses incentivos econômicos, reduzindo a atratividade relativa da expansão da fronteira agrícola. Assim, os resultados sugerem que políticas de comando e controle são capazes de mitigar as pressões de mercado, mesmo em contextos de elevada demanda por produtos agropecuários.

Os resultados também corroboram a importância dos sistemas de monitoramento por sensoriamento remoto, como DETER e PRODES, para ampliar a efetividade das políticas de controle. Conforme argumentado por West e Fearnside (2021), a disponibilidade de informações geoespaciais reduz significativamente as assimetrias informacionais entre agentes privados e o Estado, permitindo respostas mais rápidas e direcionadas às atividades ilegais. Nesse contexto, a LMP deve ser interpretada como parte de um arranjo institucional mais amplo, no qual monitoramento, fiscalização e sanções atuam de forma complementar para produzir os efeitos observados.

Outro aspecto relevante diz respeito à contribuição metodológica deste estudo ao deslocar a análise para o nível dos imóveis rurais. Conforme discutido na literatura, análises agregadas em nível municipal podem obscurecer os mecanismos microeconômicos que orientam as decisões no nível dos imóveis rurais. Ao utilizar dados geoespaciais do Cadastro Ambiental Rural (CAR), este trabalho permite capturar com maior precisão as respostas dos agentes às mudanças no ambiente institucional, oferecendo evidências mais aderentes à unidade efetiva de decisão. Essa abordagem contribui para superar uma lacuna importante na literatura empírica, aproximando a análise dos processos decisórios individuais que sustentam a dinâmica do desmatamento.

Por fim, os resultados devem ser interpretados no contexto mais amplo da interação entre diferentes instrumentos de política pública. Conforme argumentado por Assunção *et*

al. (2019), políticas ambientais tendem a ser mais eficazes quando combinam instrumentos regulatórios com mecanismos econômicos. Evidências mais recentes reforçam esse argumento ao demonstrar que a resposta dos agentes às políticas ambientais ocorre por meio da reconfiguração dos incentivos econômicos enfrentados, especialmente aqueles relacionados ao acesso a mercados e ao financiamento (Assunção *et al.*, 2023). Nesse sentido, embora a LMP se mostre eficaz na redução do desmatamento ao aumentar o custo esperado da ilegalidade, sua efetividade depende da coerência com outros instrumentos de política que operam sobre os retornos da atividade produtiva.

Particularmente, instrumentos como o crédito rural podem atuar em sentido oposto ao estimular a expansão da atividade agropecuária, aumentando a pressão sobre a cobertura florestal (Khan e Silva, 2023). Assim, a evidência sugere que a dinâmica do desmatamento resulta da interação entre forças regulatórias e econômicas, sendo fundamental a coordenação das políticas públicas para evitar a criação de incentivos contraditórios. A ausência dessa coordenação pode reduzir a efetividade das políticas de comando e controle, ao passo que sua integração pode potencializar os efeitos observados na redução do desmatamento.

Em síntese, os resultados deste estudo reforçam a evidência de que políticas de comando e controle desempenham um papel fundamental na contenção do desmatamento na Amazônia, especialmente quando implementadas de forma focalizada e articuladas a sistemas eficientes de monitoramento. No entanto, a magnitude e a persistência desses efeitos dependem de fatores contextuais e da interação com outros instrumentos de política, o que evidencia a necessidade de abordagens integradas e territorialmente diferenciadas para o enfrentamento do desmatamento.

4.4.3 *Teste Placebo*

4.4.3.1 *Tipo de placebo*

Testes de placebo desempenham um papel central na validação da estratégia de identificação ao avaliar se os efeitos estimados podem ser atribuídos a padrões espúrios ou a choques não observados. Em políticas territoriais de comando e controle, entretanto, a literatura recente destaca que potenciais interferências espaciais podem violar a hipótese de não-interação entre unidades, exigindo cautela adicional na interpretação de placebos convencionais.

Em particular, Chagas e Andrade (2024) demonstra que políticas ambientais focali-

zadas podem gerar efeitos indiretos relevantes sobre municípios vizinhos, mesmo na ausência de tratamento direto, sugerindo que testes de placebo devem considerar não apenas o efeito médio sobre as unidades tratadas, mas também a possibilidade de *spillovers* espaciais sistemáticos.

No contexto de modelos fatoriais interativos, como o CSG (Xu, 2017), os testes de placebo em espaço desempenham papel central na validação da inferência, uma vez que a construção do contrafactual depende de fatores latentes estimados a partir do conjunto de unidades de controle.

A estratégia de inferência adotada neste estudo baseia-se em testes de placebo do tipo *in-space*, amplamente utilizados na literatura de métodos de controle sintético e modelos fatoriais para avaliar a plausibilidade da hipótese nula de ausência de efeito do tratamento. O teste placebo *in-space* segue a lógica clássica dos testes de permutação, nos quais a distribuição de uma estatística de teste é obtida a partir de reatribuições aleatórias do tratamento entre unidades tratadas e não tratadas. Nesse procedimento, utilizam-se unidades do grupo doador como unidades placebo, às quais o tratamento é atribuído iterativamente, permitindo a construção de uma distribuição empírica de efeitos placebo para fins de inferência estatística (Abadie, Diamond e Hainmueller, 2010; Yan e Chen, 2023).

Do ponto de vista teórico, o procedimento está alinhado à lógica de inferência baseada em randomização (*randomization-based inference*), originalmente proposta por Fisher (1925) para hipóteses nulas *sharp* (*sharp null hypotheses*) e formalizada na literatura moderna por Imbens e Rubin (2016). Seguindo estes autores, hipóteses nulas *sharp* são aquelas sob as quais todos os resultados potenciais não observados podem ser inferidos a partir dos resultados observados. A principal hipótese nula dessa classe assume a ausência total de efeito do tratamento, formalmente expressa por $Y_i(0) = Y_i(1)$ para todo $i = 1, \dots, N$. A hipótese alternativa implícita é a existência de ao menos uma unidade i para a qual os resultados potenciais diferem entre os estados de tratamento e de controle.

A hipótese nula estabelece que o tratamento não exerce qualquer efeito sobre o resultado para nenhuma unidade, de modo que quaisquer efeitos estimados sob reatribuições aleatórias do tratamento refletem apenas variação amostral ou ruído estatístico.

4.4.3.2 Modelo de placebo aplicado

O procedimento para estimação do tratamento do placebo manteve exatamente a mesma especificação do modelo principal (real) estimado pelo CSG, incluindo o mesmo conjunto

de covariáveis, a estrutura de efeitos fixos, o número de fatores latentes selecionado por validação cruzada e trajetória temporal de tratamento. Para reatribuir o tratamento, usou-se como placebo o grupo de municípios que nunca foram selecionados para compor a LMP. Desta forma, buscou-se sortear dentre estes aqueles tratados, ou seja aqueles considerados ter recebido a intervenção, enquanto os demais permaneceram como controles para a estimação.

A partir de cada reatribuição do tratamento placebo, estima-se o efeito médio do tratamento (ATT placebo) ao longo do período pós-intervenção, sendo possível gerar uma distribuição empírica dos coeficientes sob a hipótese nula de ausência total de efeito. Para o teste foram realizadas 1.000 iterações válidas de placebo, o que permite aproximar a distribuição nula do ATT com boa precisão.

Tal procedimento é conceitualmente análogo aos testes de permutação discutidos por Athey e Imbens (2016), nos quais a inferência decorre da comparação entre o estimador observado e sua distribuição sob reatribuições plausíveis do tratamento.

Conforme Athey e Imbens (2016), sob uma hipótese nula *sharp* é possível inferir todos os resultados potenciais não observados e, conseqüentemente, derivar a distribuição exata de qualquer estatística que seja função dos resultados observados Y^{obs} , do vetor indicador de tratamento W e do conjunto de covariáveis X . Em particular, ao se adotar como estatística de teste a diferença de médias por status de tratamento, define-se:

$$T^{ave}(W, Y^{obs}, X) = \bar{Y}_t^{obs} - \bar{Y}_c^{obs} = \frac{1}{N_t} \sum_{i: W_i=1} Y_i^{obs} - \frac{1}{N_c} \sum_{i: W_i=0} Y_i^{obs}, \quad (4.2)$$

em que Y_i^{obs} representa o resultado observado da unidade i , $W_i \in \{0, 1\}$ indica sua condição de tratamento, e N_t e N_c denotam, respectivamente, o número de unidades tratadas e de controle. O p-valor exato associado a essa estatística é obtido a partir da distribuição de randomização do tratamento, sendo definido como

$$p = \Pr\left(\left|T^{ave}(W, Y^{obs}, X)\right| \geq \left|T^{ave}(W^{obs}, Y^{obs}, X)\right|\right). \quad (4.3)$$

Colaborando para literatura, segundo Yan e Chen (2023), a significância estatística é avaliada comparando-se o efeito estimado da unidade tratada com a distribuição dos efeitos placebo obtidos pela atribuição do tratamento às unidades doadoras. O efeito é considerado estatisticamente significativo quando seu valor absoluto é grande em relação à distribuição dos efeitos placebo.

Para Yan e Chen (2023), o p-valor bicaudal no período t pode ser definido como a fração de efeitos placebo cujo valor absoluto é maior ou igual ao valor absoluto do efeito estimado para a unidade tratada:

$$p\text{-value}(t) = \frac{1}{N+1} \sum_{i=1}^{N+1} \mathbb{I}(|\hat{\Delta}_{it}| \geq |\hat{\Delta}_{1t}|), \quad t = T_0 + 1, \dots, T, \quad (4.4)$$

em que $\hat{\Delta}_{1t}$ denota o efeito de tratamento estimado para a unidade tratada no período t , $\hat{\Delta}_{it}$ representa o efeito placebo da unidade i no mesmo período, N é o número de unidades placebo consideradas e $\mathbb{I}(\cdot)$ é a função indicadora, assumindo o valor 1 quando a expressão em seu interior for verdadeira e 0 caso contrário.

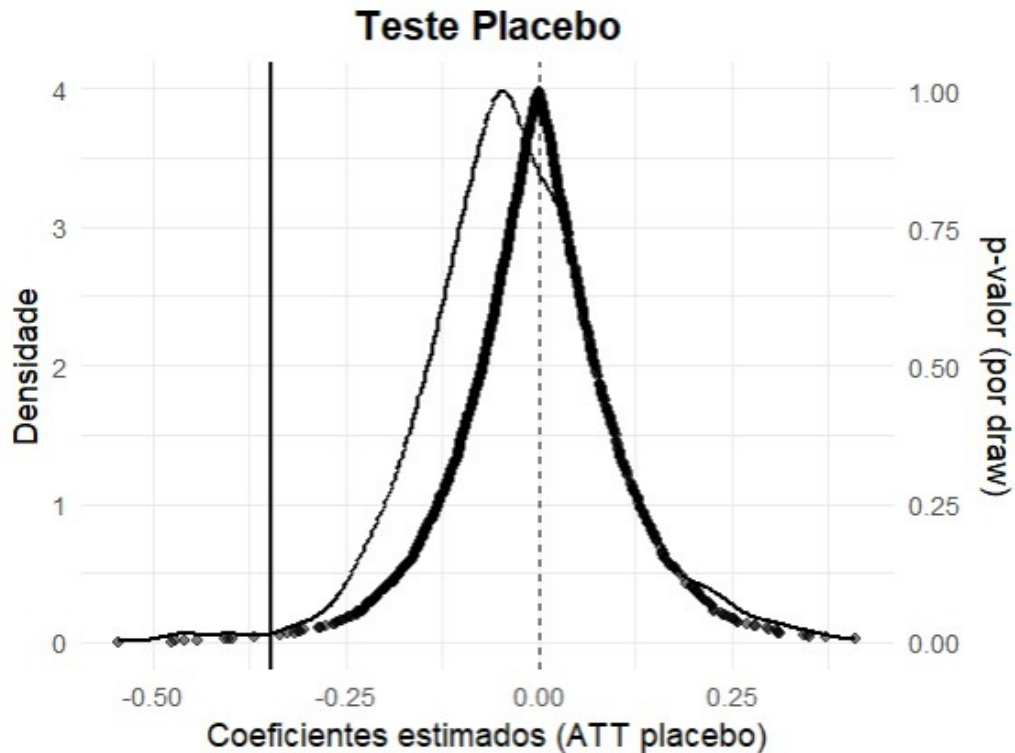
4.4.3.3 Resultados do teste placebo

Os resultados dos testes de placebo fornecem evidência adicional a favor da interpretação causal dos efeitos estimados. A Figura 4 apresenta os resultados do teste de placebo (*in-space*), no qual se simula um pseudo-tratamento por meio da atribuição aleatória da implementação da política para 23 municípios selecionados aleatoriamente entre os 438 municípios da amostra. Em cada iteração, os municípios placebo são tratados como se tivessem sido expostos à política, preservando-se a mesma especificação e a mesma trajetória temporal do modelo principal. Esse procedimento foi repetido 1.000 vezes, gerando uma distribuição empírica dos coeficientes estimados sob a hipótese nula de ausência de efeito do tratamento.

A curva apresentada na figura supracitada corresponde à densidade da distribuição dos coeficientes de ATT estimados nos placebos, enquanto os pontos indicam os p-valores associados a cada estimativa. Observa-se que a distribuição dos coeficientes placebo é aproximadamente simétrica e concentrada em torno de zero, conforme esperado sob a hipótese nula. Ademais, 90% dos p-valores excedem o limiar de 0,10, indicando que a grande maioria dos efeitos obtidos por atribuição aleatória não é estatisticamente significativa. Adicionalmente, ao analisar os p-valores inferiores ao nível de significância convencional de 0,05, verificou-se que apenas 5% dos coeficientes ATT placebo respeitam tal limiar.

A partir de 1000 repetições do procedimento, calculamos a fração dos vetores de reatribuição que levam a uma estatística cujo valor absoluto é pelo menos tão grande quanto $|0,3522|$, resultado obtido pelo modelo principal (real). O p-valor empírico do teste de permutação (*in-space*) associado a essa estatística é 0,013, indicando rejeição clara da hipótese nula de ausência total de efeito da política sobre o nível de desmatamento nos municípios tratados.

Figura 4 – Resultados do teste de placebo



Nota: As curvas de densidade representam a distribuição empírica desses coeficientes sob a hipótese nula de ausência de efeito do tratamento. A linha vertical indica o valor do coeficiente estimado no modelo principal.

Esse resultado sugere que a probabilidade de se obter um efeito da magnitude estimada exclusivamente por flutuação aleatória é baixa. Nesse sentido, os resultados do placebo *in-space* apresentados neste estudo, nos quais o tratamento é atribuído aleatoriamente a municípios do grupo de controle, indicam que os efeitos estimados para a Lista de Municípios Prioritários não refletem padrões espaciais aleatórios nem dinâmicas espúrias.

4.4.4 Teste de Heterogeneidade

A análise de heterogeneidade é particularmente relevante em políticas de comando e controle com forte componente territorial, uma vez que seus efeitos podem variar conforme as características institucionais, a capacidade de fiscalização e a inserção espacial dos municípios. Evidências recentes indicam que os impactos dessas políticas não se restringem às unidades diretamente tratadas, podendo se propagar para territórios adjacentes por meio de canais reputacionais, administrativos e de fiscalização (Chagas e Andrade, 2024).

Os resultados indicam heterogeneidade espacial, com efeitos estatisticamente significativos concentrados no estado do Amazonas, enquanto os demais estados não apresentam evidências robustas de redução do desmatamento intra-imóvel. Esse padrão é consistente com

a literatura, que aponta que a efetividade de políticas ambientais depende da interação entre o desenho institucional da política e as capacidades locais (Ferretti-Gallon e Busch, 2014; Hänggli *et al.*, 2023).

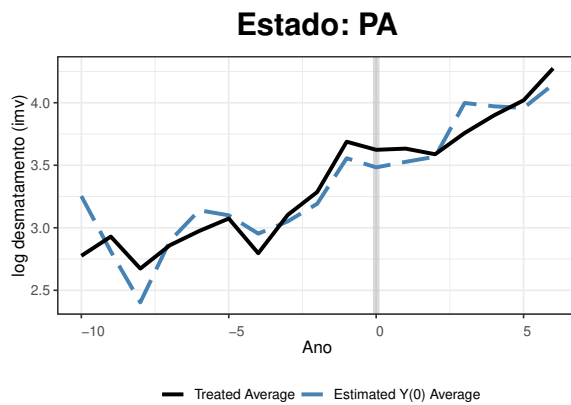
A Tabela 7 apresenta os resultados da análise de heterogeneidade dos efeitos do tratamento por Unidade da Federação (UF), estimados pelo modelo de Controle Sintético Generalizado (CSG). Observa-se variação substancial tanto na magnitude quanto na significância estatística dos efeitos médios do tratamento (ATT), sugerindo que o impacto da política sobre o desmatamento proveniente de imóveis rurais não é homogêneo no espaço. Em particular, destaca-se evidência de efeito negativo estatisticamente significativo no Amazonas, enquanto, nos demais estados as estimativas são imprecisas e não permitem rejeitar a hipótese nula de ausência de efeito médio, em parte devido ao baixo número de unidades tratadas em algumas UFs.

Tabela 7 – Heterogeneidade dos efeitos do tratamento por Unidade da Federação

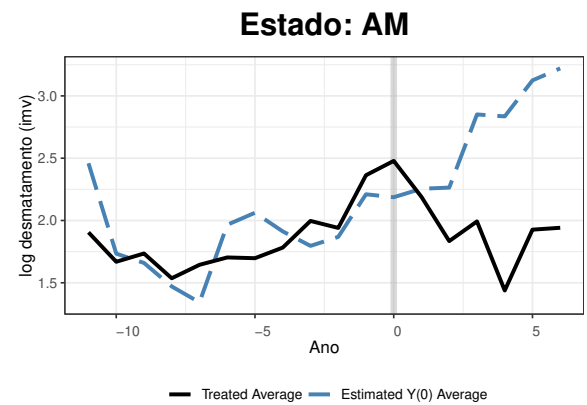
UF	N	N_{tr}	N_{co}	T	$\min T_0$	ATT	Erro-padrão	IC_{inf}	IC_{sup}	Valor- p
PA	133	8	125	13	7	0.008	0.240	-0.461	0.478	0.972
AM	62	5	57	13	7	-0.774	0.277	-1.32	-0.231	0.005
RO	51	3	48	13	7	0.155	0.228	-0.292	0.601	0.498
AC	22	4	18	13	11	0.507	0.322	-0.124	1.14	0.115
MT	77	2	75	13	11	-0.515	0.780	-2.04	1.01	0.509
RR	12	1	11	13	11	-0.231	0.609	-1.43	0.963	0.705

Notas: N indica o número total de municípios na UF; N_{tr} e N_{co} correspondem ao número de municípios tratados e de controle, respectivamente; T denota o número total de períodos; $\min T_0$ indica o número mínimo de períodos pré-tratamento utilizado na estimação. ATT representa o efeito médio do tratamento estimado pelo CSG; IC_{inf} e IC_{sup} denotam os limites inferior e superior do intervalo de confiança de 95%.

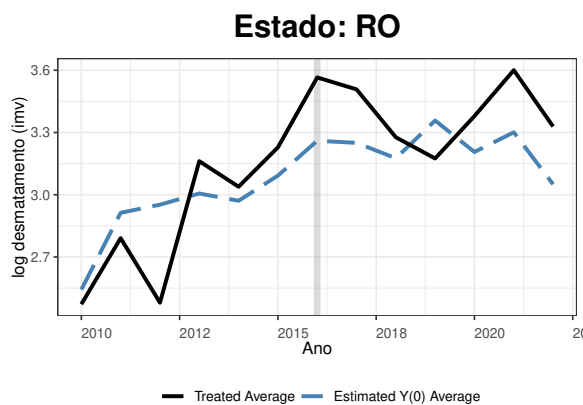
Figura 5 – Trajetórias médias observadas (Média do grupo tratado) e contrafactuais estimadas (Média estimada de $Y(0)$), por estado.



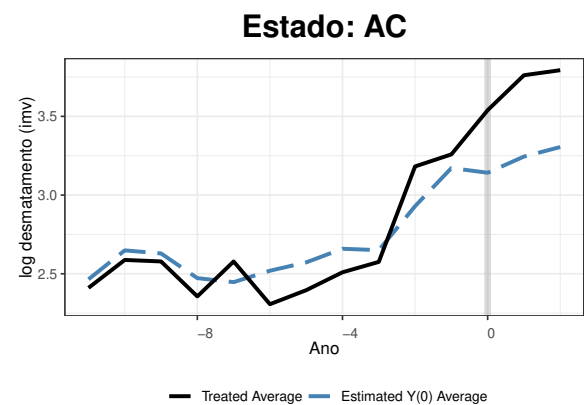
(a) Pará (PA)



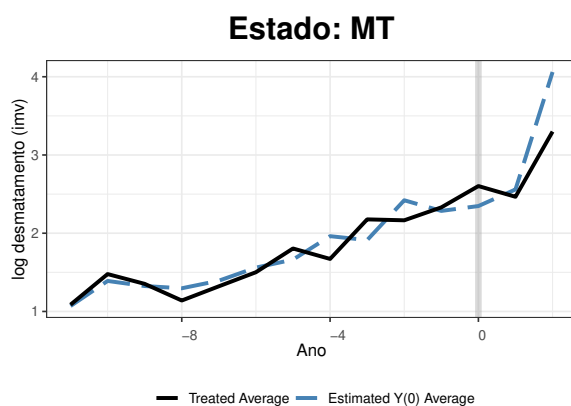
(b) Amazonas (AM)



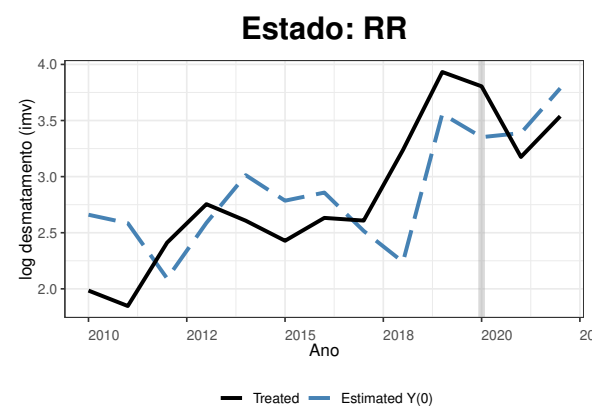
(c) Rondônia (RO)



(d) Acre (AC)



(e) Mato Grosso (MT)



(f) Roraima (RR)

A Figura 5 complementa a análise ao apresentar, por UF, as trajetórias médias observadas do grupo tratado e das contrafactuais estimadas pelo CSG. Essa visualização permite avaliar a dinâmica temporal dos efeitos e a qualidade do ajuste no pré-tratamento, oferecendo evidências adicionais para interpretar a heterogeneidade espacial documentada na Tabela 7.

Entre os estados analisados, o Amazonas (AM) apresenta evidência mais consistente de impacto. O ATT é negativo e estatisticamente significativo ($ATT = -0,774$, erro-padrão = $0,277$, $p = 0,005$), e o painel correspondente na Figura 5 mostra uma divergência persistente entre a trajetória observada e o contrafactual após o início do tratamento, com uma redução do desmatamento observado sistematicamente em torno de 50%. Esse padrão é compatível com um efeito causal negativo da política no estado.⁴

Para os estados de Pará (PA), Rondônia (RO), Acre (AC), Mato Grosso (MT) e Roraima (RR), as estimativas não são estatisticamente significativas, de modo que não é possível rejeitar a hipótese nula de ausência de efeito médio da política nesses casos, ou seja, não se rejeita a hipótese nula de ausência de efeito médio da política no estado, ou seja, não há evidência robusta de impacto médio da política para estes estados.

Em conjunto, as evidências econométricas e gráficas indicam heterogeneidade espacial relevante, os resultados apontam para um efeito negativo estatisticamente significativo concentrado no Amazonas, enquanto, nos demais estados analisados, não se rejeita a hipótese nula de ausência de efeito médio. Essa heterogeneidade pode refletir diferenças institucionais e contextuais entre UFs, como a capacidade de fiscalização, a coordenação interinstitucional e a estrutura produtiva, bem como limitações de poder estatístico decorrentes do baixo número de unidades tratadas em alguns estados.

A heterogeneidade dos efeitos estimados entre os estados é compatível com a literatura sobre políticas de controle do desmatamento baseadas em fiscalização focalizada. Arima *et al.* (2014) mostram que os impactos associados à Lista de Municípios Prioritários se distribuem de forma desigual no território, variando conforme as características institucionais e ambientais, o que sugere que a efetividade da política depende do contexto local. De modo complementar, Melo (2020) reforçam que os efeitos da LMP podem variar segundo condições locais e setoriais, destacando a importância de análises que explorem dinâmicas temporais e heterogeneidade espacial, como a realizada neste trabalho.

Os resultados também dialogam com evidências de que as respostas municipais à

⁴ Como o *outcome* está em log, $ATT = -0,774$ implica uma variação aproximada de $100(\exp(-0,774) - 1) \approx -54\%$.

LMP são heterogêneas e dependem da capacidade institucional e de arranjos locais de governança. Estudos indicam que, embora a política apresente efeito médio negativo sobre o desmatamento, sua efetividade varia com a capacidade de fiscalização, a coordenação entre atores públicos e privados e a trajetória prévia dos municípios (Cisneros *et al.*, 2015; Massoca e Brondízio, 2022; Assunção *et al.*, 2023). Evidências adicionais sugerem que apenas uma parcela dos municípios listados cumpriu os critérios de saída da política, o que reflete diferenças na implementação do CAR e na mobilização local (Cisneros *et al.*, 2015; Massoca e Brondízio, 2022). Ademais, a literatura aponta que os efeitos podem se manifestar com defasagens e variar espacialmente conforme a intensidade do monitoramento e a capacidade institucional subnacional (Cisneros *et al.*, 2015), oferecendo respaldo teórico para a concentração dos efeitos estimados em determinadas UFs neste estudo.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo contribui para a literatura sobre políticas ambientais e controle do desmatamento em três dimensões centrais. Primeiro, ao contrário da literatura existente que se baseia em *outcomes* agregados no nível municipal, este trabalho é o primeiro a demonstrar, com base em dados geoespaciais, que a Lista de Municípios Prioritários (LMP) tem impacto causal sobre o desmatamento ocorrido no interior de imóveis rurais, aproximando a avaliação empírica da escala efetiva de decisão privada de uso da terra. Segundo, ao combinar registros do CAR com o modelo de Controle Sintético Generalizado, o estudo supera limitações associadas à agregação espacial e à adoção escalonada da política, permitindo controlar heterogeneidades não observadas que variam no tempo e entre unidades. Terceiro, a análise evidencia heterogeneidades espaciais relevantes, indicando que a efetividade da política depende de contextos institucionais e territoriais específicos.

O estudo avaliou o impacto causal da LMP sobre o desmatamento proveniente de imóveis rurais nos municípios do bioma Amazônia, no período de 2010 a 2022. Como estratégia de identificação adotou-se 2017 como ponto inicial do tratamento, o que permite uma leitura mais clara do efeito causal da política em um contexto de adoção escalonada, no qual diferentes municípios passam a integrar a LMP em momentos distintos, mas sob o mesmo arcabouço normativo. Tal escolha fortalece a comparabilidade entre unidades tratadas e de controle e é particularmente adequada a aplicação de modelos com efeitos fixos interativos, como o Generalized Synthetic Control, que pressupõem estabilidade estrutural na definição do

tratamento ao longo do período analisado.

A estratégia empírica adotada mostrou-se particularmente adequada a um contexto marcado por elevada persistência temporal do desmatamento e por variações espaciais na intensidade do *enforcement* ambiental. Ao combinar efeitos fixos com fatores latentes interativos, o modelo permite construir trajetórias contrafactuais plausíveis e controlar heterogeneidade não observada.

Os resultados indicam que, em média, a política esteve associada a uma redução estatisticamente significativa do desmatamento em áreas privadas. O efeito médio do tratamento estimado corresponde a uma redução aproximada de 29,6% no desmatamento em relação ao cenário contrafactual. Esse achado fornece evidência robusta de que os instrumentos de comando e controle associados à LMP foram capazes de alterar o comportamento médio dos agentes econômicos, ao elevar o custo esperado do desmatamento ilegal e restringir o acesso a recursos econômicos vinculados à expansão da fronteira produtiva.

A análise dinâmica indica que os efeitos da política não ocorrem de forma imediata, mas se intensificam nos períodos subsequentes à sua implementação, atingindo maior magnitude entre o terceiro e o quarto períodos pós-tratamento. Esse padrão é consistente com mecanismos de implementação gradual, de aprendizado institucional e de adaptação dos agentes às restrições regulatórias impostas pela política, incluindo o fortalecimento da fiscalização, a consolidação do CAR e o uso progressivo de sanções administrativas e financeiras. Embora se observe um coeficiente estatisticamente significativo em um período específico de pré-tratamento, a ausência de um padrão sistemático de divergência antes da intervenção, aliada aos testes placebo realizados, reforça a plausibilidade da interpretação causal dos resultados.

Os testes placebo do tipo *in-space* corroboram essa evidência ao demonstrarem que o efeito estimado no modelo principal é raro em comparação com a distribuição empírica de efeitos obtidos por meio de reatribuições aleatórias do tratamento. A concentração dos coeficientes placebo em torno de zero e a baixa probabilidade de se observar um efeito de magnitude semelhante devido à flutuação aleatória fortalecem a robustez da inferência causal. Esses resultados são particularmente relevantes à luz da literatura recente que enfatiza a possibilidade de interferência espacial em políticas territoriais, indicando que os efeitos identificados neste estudo não decorrem de padrões espaciais espúrios ou de choques não observados comuns a municípios vizinhos.

A análise de heterogeneidade espacial evidencia, entretanto, que os impactos da

LMP não são homogêneos entre as Unidades da Federação. O estado do Amazonas destaca-se como o único a apresentar um efeito médio negativo de grande magnitude e estatisticamente significativo. Esse contraste sugere que a LMP não opera como um instrumento uniforme, mas como um mecanismo cuja efetividade depende da densidade institucional, da coordenação federativa e da intensidade do *enforcement* local. Evidências recentes na literatura indicam ainda que a exposição espacial à fiscalização e a interação entre territórios tratados podem amplificar os efeitos da política, reforçando a interpretação de que os resultados médios agregados ocultam importantes dimensões contextuais.

Em síntese, este estudo fornece evidência empírica robusta de que políticas de comando e controle podem reduzir o desmatamento em áreas privadas, ao mesmo tempo em que demonstra a existência de heterogeneidade espacial relevante em seus efeitos. Ao deslocar a análise para o interior dos imóveis rurais, o trabalho preenche uma lacuna central da literatura e aprofunda a compreensão dos mecanismos pelos quais as políticas ambientais afetam as decisões no nível dos imóveis rurais. Os resultados reforçam a importância de estratégias de política pública territorialmente diferenciadas e indicam que o fortalecimento da efetividade ambiental requer a combinação de instrumentos regulatórios com políticas complementares, ajustadas às especificidades institucionais, produtivas e espaciais de cada contexto local.

5 CAPÍTULO 2: MAIS CRÉDITO, MAIS DESMATAMENTO? EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS EM DOMICÍLIOS RURAIS NO BIOMA AMAZÔNIA.

5.1 INTRODUÇÃO

A substituição do Decreto Federal nº 23.793 de 1934 (Primeiro Código Florestal) pela Lei Federal nº 4.771 de 1965 foi o início de uma mudança gradual do paradigma predominantemente produtivista das florestas para um orientado à conservação da vegetação nativa e à regulação do uso da terra, no qual instrumentos de comando e controle são articulados a mecanismos de monitoramento e regularização ambiental (Arruda *et al.*, 2025). No mesmo período, em paralelo à consolidação dos instrumentos de regulação ambiental, surge a Lei nº 4.829/1965, que institui o crédito rural no Brasil. Trata-se de um instrumento voltado ao financiamento da produção no agronegócio, com o objetivo de ampliar os investimentos, elevar a produtividade e fortalecer economicamente os produtores rurais.

Em sua redação original, o artigo nº 37 da Lei nº 4.829 previa que o acesso ao financiamento não dependia da apresentação de comprovantes de regularidade ambiental ou de certidão negativa de multas por infrações ao Código Florestal. Assim, a concessão do crédito rural não estava condicionada ao cumprimento de exigências ambientais, o que evidencia que, inicialmente, as políticas de crédito e de regulação ambiental operavam de forma dissociada, sem mecanismos explícitos de coordenação entre os objetivos de desenvolvimento produtivo e as restrições ambientais (Brasil, 1965).

Historicamente, o crédito rural desempenha um papel relevante na dinâmica produtiva e no uso da terra no Brasil, configurando-se como um dos principais instrumentos de política pública para o agronegócio. Sua implementação, juntamente com a constituição do Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR), colaborou para a modernização da agropecuária brasileira, ao permitir o acesso a recursos subsidiados destinados à aquisição de insumos, tecnologia e capital produtivo (Sousa *et al.*, 2020; Conservação Internacional, Good Growth Partnership, 2021). A ausência de condicionantes ambientais no desenho institucional do crédito rural começou a ser alterada a partir da década de 2000, com a incorporação de instrumentos que passaram a vincular o financiamento ao cumprimento da legislação ambiental.

De acordo com Almeida (2025), a segunda fase do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), lançada em 2008, representa um ponto de inflexão na política ambiental brasileira ao introduzir um conjunto articulado

de instrumentos que redefiniram as regras de governança do desmatamento. Nesse contexto, destacam-se duas iniciativas centrais: a instituição da Resolução nº 3.545/2008 do Banco Central e a criação da chamada “Lista de Municípios Prioritários (LMP)”. Para o autor, essas medidas não devem ser interpretadas isoladamente, mas como parte de uma estratégia integrada que marcou a transição para um novo regime de políticas públicas, combinando instrumentos econômicos e de comando e controle para induzir mudanças no comportamento dos agentes e conter o avanço do desmatamento.

A Resolução nº 3.545/2008 do BACEN estabelece que a concessão de crédito rural passa a ser condicionada à comprovação da regularidade ambiental do imóvel, incluindo a inexistência de embargos por desmatamento ilegal e a apresentação de documentos como licenças ambientais ou comprovantes de regularização. Essa mudança institucional marca a transição de um modelo de política de promoção do agronegócio dissociado das questões ambientais, no qual o crédito rural passa a atuar como instrumento de indução ao cumprimento do Código Florestal. (BACEN, Banco Central do Brasil, 2008).

Esse movimento ocorre em paralelo à implementação de iniciativas privadas de regulação ambiental, como a Moratória da Soja, que condiciona a comercialização da produção à ausência de desmatamento recente nas propriedades. Enquanto a Resolução nº 3.545 atua no acesso ao financiamento, a moratória opera no acesso ao mercado, configurando mecanismos complementares que reforçam os incentivos à conformidade ambiental.

Posteriormente, foi criado um Novo Código Florestal, instituído e alterado por meio das Leis nº 12.651/2012 e nº 12.727/2012, que introduz inovações na gestão ambiental, como a criação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), do Programa de Regularização Ambiental (PRA) e das Cotas de Reserva Ambiental (CRA) (Brasil, 2012b; Brasil, 2012c).

O Novo Código Florestal estabeleceu limites obrigatórios à proporção de vegetação nativa que pode ser legalmente desmatada em qualquer propriedade rural. Na Amazônia Legal, 80% das propriedades privadas devem ser preservadas como Reservas Florestais, enquanto que, para propriedades em áreas de Cerrado dentro da Amazônia Legal, a vegetação nativa deve constituir 35%. Fora da Amazônia Legal, 20% da vegetação nativa precisa ser mantida, embora algumas leis estaduais estipulem uma porcentagem maior (Rasmussen *et al.*, 2017).

O Cadastro Ambiental Rural (CAR), instituído pelo artigo 29 da Lei nº 12.651/2012, configura-se como um registro eletrônico obrigatório e autodeclaratório, de abrangência nacional, cujo objetivo é promover a regularização ambiental e subsidiar políticas de combate ao

desmatamento (BRASIL, 2012b). O cadastro é um instrumento para o monitoramento, controle e planejamento ambiental, além de funcionar como requisito para o acesso a políticas públicas, como o crédito rural e a adesão ao PRA (BRASIL, 2012b). Sua estrutura permite a consolidação de uma base de dados integrada, com informações georreferenciadas, inclusive imagens de satélite, sobre a situação ambiental das Áreas de Preservação Permanente, Reservas Legais, áreas de uso restrito, remanescentes de vegetação nativa e áreas consolidadas das propriedades e posses rurais (Laudares *et al.*, 2014; Arruda *et al.*, 2025).

Entre 1987 e 2026, 160,548 milhões de hectares de floresta nativa foram desmatados. Desse total, 60,749 milhões, ou seja, 38,56%, correspondem ao desmatamento ocorrido no bioma Amazônia (MapBiomas, 2026).

Nesse contexto, há um amplo debate sobre os efeitos do crédito rural na dinâmica do uso da terra, com evidências de impactos heterogêneos. Por um lado, estudos mostram que o crédito contribui para a expansão da produção agropecuária, frequentemente por meio da ampliação da área cultivada, o que pode intensificar a pressão sobre a vegetação nativa (Sant’Anna *et al.*, 2025). Por outro lado, evidências indicam que os efeitos do crédito dependem do seu desenho institucional, podendo tanto reduzir quanto ampliar o desmatamento, especialmente quando associado a diferentes modalidades de financiamento e níveis de regulação ambiental (Faria *et al.*, 2025a). Adicionalmente, estudos quase experimentais mostram que a restrição ao crédito, quando condicionada ao cumprimento de exigências ambientais, pode reduzir significativamente o desmatamento (Assunção *et al.*, 2019).

Apesar dos avanços na literatura, limitações ainda persistem. Em geral, os estudos utilizam dados agregados em nível municipal e tratam o crédito de forma binária ou como choques institucionais, o que dificulta a identificação dos mecanismos microeconômicos pelos quais o financiamento influencia as decisões de uso da terra. Além disso, ainda há pouca evidência sobre como diferentes intensidades de crédito rural produzem efeitos no desmatamento, bem como sobre possíveis não linearidades e heterogeneidades ao longo da distribuição desse crédito.

Diante disso, a recente atualização do marco regulatório do crédito rural, por meio da Resolução CMN nº 5.268/2025, reforça a centralidade do crédito como instrumento de política ambiental, ao incorporar critérios mais rigorosos de elegibilidade associados à conformidade ambiental. Nesse contexto, torna-se ainda mais relevante investigar empiricamente se e em que medida a expansão do crédito rural está associada a mudanças no desmatamento em imóveis rurais.

Nesse contexto, este estudo investiga o efeito do crédito sobre o desmatamento em imóveis rurais no bioma Amazônia. Ao deslocar a análise do nível municipal agregado para uma escala compatível com as decisões no nível dos imóveis rurais, o estudo supera uma limitação central da literatura existente e aprofunda a compreensão dos mecanismos pelos quais as políticas de crédito afetam o comportamento dos agentes econômicos. Ao integrar dados geoespaciais depurados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) a informações oficiais sobre desmatamento, o trabalho fornece evidências robustas sobre a dose-resposta do crédito ao desmatamento.

Diante disso, a pergunta central deste estudo é: qual é o efeito do crédito rural sobre o desmatamento em imóveis rurais no bioma Amazônia? Em particular, busca-se estimar a função dose-resposta associada ao crédito rural, a fim de compreender como variações contínuas no volume de financiamento influenciam a dinâmica de uso da terra.

A análise é conduzida para os anos de 2008, 2014 e 2019, selecionados por representarem distintos contextos institucionais e marcos relevantes da política ambiental e agrícola no Brasil. O ano de 2008 corresponde à implementação da Resolução nº 3.545 do Banco Central do Brasil, que condiciona o acesso ao crédito rural à regularidade ambiental dos imóveis, além de coincidir com o fortalecimento de instrumentos de comando e controle no âmbito do PPCDAm. O ano de 2014 marca o período de implementação e consolidação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), ampliando a capacidade de monitoramento e regularização ambiental. Por fim, o ano de 2019 está associado a um contexto de enfraquecimento das políticas de fiscalização ambiental, o que permite avaliar como a relação entre crédito e desmatamento se comporta em um ambiente institucional menos restritivo.

Adicionalmente, investiga-se se o efeito do crédito apresenta não linearidades ao longo de sua distribuição, bem como heterogeneidade entre diferentes classes de imóveis. Para tanto, adota-se a abordagem do Escore de Propensão Generalizado (GPS) como estratégia de identificação causal em contextos de tratamento contínuo, complementada pela estimação de funções dose-resposta quantílicas, o que permite analisar como o impacto do crédito varia ao longo da distribuição do desmatamento. Essa abordagem possibilita identificar não apenas o efeito médio do financiamento, mas também como diferentes níveis de pressão antrópica respondem à expansão do crédito rural.

Por fim, este estudo contribui para a literatura em três dimensões principais. Em primeiro lugar, ao deslocar a análise do nível municipal para o nível do imóvel rural, aproxima a investigação empírica da unidade de decisão dos agentes econômicos, avançando em relação a

estudos que utilizam dados agregados, como Assunção *et al.* (2019), que analisam os efeitos de restrições ao crédito sobre o desmatamento em nível municipal.

Em segundo lugar, ao tratar o crédito rural como uma variável contínua, o trabalho contribui para a literatura que busca mensurar os efeitos do financiamento rural sobre o uso da terra, a qual, em geral, se concentra em choques institucionais ou em variações discretas no acesso ao crédito (Sant’Anna *et al.*, 2025; Faria *et al.*, 2025a). Ao adotar uma abordagem de tratamento contínuo, este estudo permite identificar efeitos marginais e não linearidades ao longo da distribuição do crédito, oferecendo evidências mais detalhadas sobre os mecanismos pelos quais o financiamento influencia o desmatamento.

Em terceiro lugar, ao empregar funções dose-resposta quantílicas, o trabalho dialoga com uma literatura ainda incipiente que busca compreender a heterogeneidade dos efeitos do crédito ao longo da distribuição do desmatamento. Enquanto estudos anteriores se concentram predominantemente em efeitos médios, esta abordagem permite identificar como diferentes níveis de pressão antrópica respondem à expansão do crédito rural, contribuindo para uma compreensão mais refinada dos mecanismos econômicos e institucionais que conectam o financiamento e o uso da terra.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 3.2 descreve a revisão de literatura. A Seção 3.3 detalha a estratégia econométrica e de identificação, bem como os dados. A seção 3.4 apresenta a análise e discussão dos resultados. A seção 3.5 conclui com as considerações finais.

5.2 REVISÃO DE LITERATURA

A literatura sobre a relação entre crédito rural, cadastro ambiental rural e desmatamento apresenta ampla diversidade metodológica. Estudos utilizam desde modelos em painel com efeitos fixos (Faria *et al.*, 2025a; Sant’Anna *et al.*, 2025) até estratégias de identificação causal, como Diferenças-em-Diferenças (DiD) com adoção escalonada (Assunção *et al.*, 2019; Arruda *et al.*, 2025) e modelos de dose-resposta via GPS (Souza *et al.*, 2022). Outras abordagens incluem modelos dinâmicos, como Generalized Method of Moments (GMM) (Combes *et al.*, 2018), regressões espaciais, como Geographically Weighted Regression (GWR) (Fernandes e Parré, 2026), e métodos multivariados (Nascimento, 2024).

Parte da literatura concentra-se nos efeitos do crédito rural sobre a produção agropecuária. Sobreira *et al.* (2024) mostram, por meio de uma estratégia de reponderação por entropia,

que o crédito tem efeitos positivos sobre a produção, embora heterogêneos entre regiões, sendo mais expressivos onde o acesso ao crédito é maior. Em consonância, Souza *et al.* (2020) identificam forte concentração espacial e setorial do crédito no Amazonas, com maior correlação com a produção pecuária do que com a agricultura. Já Sant’Anna *et al.* (2025) mostram que o crédito aumenta a produção agrícola, principalmente por meio da expansão da área cultivada, sugerindo predominância da margem extensiva.

A literatura recente tem avançado na compreensão do papel do crédito rural como instrumento ambíguo na dinâmica de uso da terra, podendo tanto induzir ganhos de produtividade quanto ampliar as pressões sobre o desmatamento. No contexto brasileiro, o crédito rural constitui um dos principais instrumentos de política agrícola, com impacto relevante na expansão e intensificação da produção agropecuária. Estudos apontam que, ao longo das últimas décadas, houve uma expansão significativa do volume de crédito, acompanhada de maior concentração em contratos de maior valor e em um número relativamente menor de estabelecimentos rurais (Borges e Parré, 2022).

Do ponto de vista produtivo, a literatura evidencia que o crédito rural exerce efeito positivo sobre variáveis agropecuárias, como o produto, a produtividade e o valor da produção. Evidências empíricas indicam a existência de relação de causalidade temporal entre crédito e produto agropecuário, sugerindo que o crédito atua como fator indutor da atividade econômica no setor (Borges e Parré, 2022). Esse resultado reforça o papel do crédito como instrumento de política pública voltado à expansão da produção, especialmente em contextos de restrição de liquidez.

Entretanto, a relação entre o crédito rural e o desmatamento é mais complexa. Parte da literatura sugere que o acesso ao crédito, particularmente quando subsidiado, pode estimular a expansão da fronteira agrícola, ao reduzir o custo de capital e ampliar a viabilidade econômica de atividades agropecuárias em áreas de floresta. Nesse sentido, há evidências de que a expectativa de acesso ao crédito rural pode atuar como um incentivo indireto à conversão do uso da terra (França, 2022).

Adicionalmente, análises recentes mostram que o crédito rural subsidiado pode estar associado a áreas com desmatamento, ainda que de forma concentrada. Evidências indicam que uma parcela relativamente pequena de propriedades é responsável por grande parte do desmatamento associado ao crédito, especialmente as grandes propriedades com maior acesso a financiamento (Mourão *et al.*, 2024).

No campo institucional, estudos destacam que o crédito rural pode ser utilizado como instrumento de promoção da sustentabilidade, desde que associado a critérios ambientais e mecanismos de monitoramento. A criação de linhas de crédito voltadas à agricultura de baixo carbono e a incorporação de exigências ambientais na concessão de financiamento representam avanços nesse sentido, embora persistam desafios relacionados ao acesso e à efetividade desses instrumentos (Lopes *et al.*, 2016; Lopes e Lowery, 2015).

De forma complementar, análises de políticas públicas indicam que o impacto do crédito rural no uso da terra depende do desenho institucional e da articulação com outros instrumentos de política pública. Evidências mostram que diferentes modalidades de crédito podem gerar efeitos distintos sobre a produção e o desmatamento (Souza *et al.*, 2020).

Esses resultados indicam que o crédito rural cumpre seu papel de estímulo produtivo, mas suscitam dúvidas quanto aos seus impactos indiretos no uso da terra. Desta forma, a relação entre crédito rural e desmatamento é amplamente debatida na literatura, com evidências heterogêneas. Estudos como Faria *et al.* (2025a) mostram que os efeitos dependem do desenho da política: crédito para investimento tende a reduzir o desmatamento, enquanto crédito subsidiado e menos regulado pode ampliá-lo.

Do ponto de vista teórico, o efeito do crédito rural sobre o desmatamento pode ser compreendido a partir da interação entre capital físico e capital natural. O acesso ao crédito reduz as restrições de liquidez e permite a expansão do investimento produtivo, o que pode levar à conversão de áreas florestais. Por outro lado, o crédito também pode favorecer a intensificação da produção, reduzindo a pressão sobre novas áreas. Assim, o efeito líquido do crédito depende da forma como o capital é alocado entre atividades intensivas em terra e em capital (COMBES *et al.*, 2018).

Nesta linha, Sant'Anna *et al.* (2025) evidenciam que o crédito está associado à expansão da fronteira agrícola, ao aumento das áreas de pastagem de soja e à redução da cobertura florestal. Similarmente, Sampaio *et al.* (2026) encontram efeitos positivos e significativos do crédito sobre o desmatamento no Matopiba, utilizando um modelo de diferenças-em-diferenças com tratamento contínuo.

Contrapondo estas evidências, estudos como Coelho (2021) mostram que o crédito agroambiental pode reduzir o desmatamento, ainda que de forma limitada, sugerindo que o tipo de crédito é determinante. Em linha semelhante, Fernandes e Parré (2026) encontram efeitos negativos do crédito sobre o desmatamento em alguns contextos, destacando forte

heterogeneidade espacial.

Outra vertente de estudos utiliza estratégias quase experimentais para identificar os efeitos causais das políticas de crédito sobre o desmatamento. Assunção *et al.* (2013) e Assunção *et al.* (2019) exploram a Resolução nº 3.545/2008 como um choque exógeno, utilizando modelos de diferenças-em-diferenças. Os resultados indicam que a restrição ao crédito reduziu significativamente o desmatamento, com efeitos particularmente fortes em municípios mais intensivos na pecuária. Esses estudos fornecem evidências robustas de que instrumentos financeiros podem alterar incentivos econômicos e contribuir para a conservação ambiental quando condicionados ao cumprimento de requisitos ambientais.

Complementarmente, Hargrave e Kis-Katos (2013) destacam o papel dos incentivos econômicos, mostrando que o desmatamento responde positivamente ao aumento dos preços das commodities agrícolas e à expansão da atividade econômica, incluindo o crédito rural. Utilizando modelos em painel com efeitos fixos e estratégias para tratar a endogeneidade, os autores evidenciam que políticas de comando e controle, como fiscalização ambiental, são capazes de mitigar esses efeitos.

Já na literatura sobre os efeitos do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e do desmatamento, são observados resultados ambíguos. Enquanto Rasmussen *et al.* (2017) mostram, com base em microdados de produtores, que o CAR pode gerar incentivos ao desmatamento em determinados contextos, especialmente na ausência de mecanismos complementares. Evidências causais mais recentes também apontam para resultados heterogêneos. Assis *et al.* (2025) encontram aumento do desmatamento após o registro no CAR em áreas de proteção no Pará, enquanto Arruda *et al.* (2025) mostram efeitos distintos conforme o tamanho do imóvel, com redução para pequenos produtores e aumento para grandes produtores. De forma complementar, estudos baseados em dados georreferenciados, como Souza *et al.* (2022), indicam a ausência de efeito causal robusto quando analisados de forma agregada, mas destacam heterogeneidade entre imóveis.

Evidências microeconômicas também indicam que o acesso ao crédito pode influenciar diretamente o comportamento dos produtores em relação ao desmatamento. Estudos baseados em dados de pequenos agricultores mostram que o uso de crédito agrícola está associado à maior propensão ao desmatamento, especialmente em contextos de expansão da pecuária, sugerindo que a disponibilidade de financiamento atua como um canal relevante na decisão de conversão do uso da terra (Rasmussen *et al.*, 2017).

Em uma perspectiva internacional, Combes *et al.* (2018) reforçam a existência de um *trade-off* entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental, ao mostrar que a expansão do crédito e do gasto público está associada ao aumento da perda de cobertura florestal em países em desenvolvimento, evidenciando complementaridade entre capital físico e capital natural.

Adicionalmente, a literatura sobre o uso sustentável da terra indica que a expansão da produção agropecuária não depende necessariamente da conversão de novas áreas. Estudos mostram que a recuperação florestal em larga escala pode ser economicamente viável no Brasil, gerando emprego, renda e retornos econômicos ao longo do tempo, além de benefícios ambientais relevantes (Gusson Eduardo; Cunha, 2016). Nesse sentido, a relação entre crédito rural e desmatamento deve ser compreendida à luz dos incentivos institucionais que orientam a alocação do capital, e não apenas das restrições produtivas.

Mais recentemente, Ruggiero *et al.* (2024) propõem uma tipologia espacial para explicar quando o crédito rural tende a ampliar o desmatamento. Os autores demonstram que os impactos diferem entre municípios com fronteiras agrícolas consolidadas e regiões de expansão recente, encontrando efeitos positivos principalmente em contextos de menor governança fundiária e expansão agropecuária.

De forma geral, a literatura aponta que os efeitos do crédito rural sobre o desmatamento são heterogêneos e dependem do desenho institucional, do tipo de financiamento e do perfil dos produtores. Em particular, evidências indicam que o crédito destinado ao investimento produtivo pode estar associado à redução do desmatamento, enquanto modalidades subsidiadas e menos reguladas tendem a ampliá-lo (Faria *et al.*, 2025b).

Desta forma, enquanto a literatura predominante se baseia em dados agregados e em tratamentos discretos, este estudo avança ao utilizar microdados georreferenciados em nível de imóvel rural e ao modelar o crédito como variável contínua. Adicionalmente, ao incorporar funções dose-resposta quantílicas, o trabalho permite identificar heterogeneidades que permanecem ocultas em análises baseadas em efeitos médios.

5.3 METODOLOGIA

5.3.1 Base de dados

Esta seção descreve a construção da base empírica voltada à análise da relação entre crédito e desmatamento no interior de imóveis rurais. Para isso, combinam-se registros do

CAR/SICAR com dados oficiais de desmatamento do INPE, permitindo deslocar a análise do nível municipal agregado para uma escala diretamente associada às decisões no nível dos imóveis rurais, conforme abordagem recente na literatura, composta por Souza *et al.* (2022) e Arruda *et al.* (2025).

A base resulta da integração de informações geoespaciais, socioeconômicas, agropecuárias, demográficas e climáticas, tendo como núcleo o cruzamento entre os polígonos dos imóveis rurais e os dados anuais de incremento do desmatamento. Essa estratégia permite mensurar o desmatamento intraimóvel, definindo o *outcome* de interesse de forma mais próxima do processo decisório dos agentes econômicos.

Os dados do SICAR apresentam limitações conhecidas, sobretudo devido ao caráter autodeclaratório e à presença de sobreposições entre polígonos. Para mitigar essas inconsistências, foram aplicados procedimentos de depuração espacial alinhados a Souza *et al.* (2022) e Arruda *et al.* (2025), incluindo a exclusão de áreas sobrepostas e a reclassificação dos imóveis por porte. Esse procedimento assegura a estabilidade da unidade de análise e evita que variações artificiais na geometria dos polígonos contaminem a mensuração do *outcome*.

A construção da variável de desmatamento baseia-se na intersecção entre os *shapefiles* dos imóveis e do desmatamento, permitindo atribuir com precisão a área desmatada a cada unidade produtiva. Essa escolha é particularmente relevante para a aplicação do Escore de Propensão Generalizado (GPS), pois permite modelar o desmatamento como resposta contínua a diferentes intensidades de tratamento de crédito rural, preservando a heterogeneidade ao nível dos domicílios rurais e garantindo maior aderência entre a medida do tratamento e o comportamento observado.

Conforme detalhado no Quadro 2, a base de dados¹ combina: (i) variáveis no nível do imóvel rural/município, como o logaritmo da área desmatada dentro dos imóveis rurais, e (ii) variáveis no nível municipal, incluindo crédito rural (valor total dos contratos), indicadores agropecuários (densidade de gado), indicadores econômicos (PIB agropecuário), variáveis de *enforcement* (quantidade de infrações), variáveis demográficas (percentual da população rural) e variáveis climáticas (precipitação anual).

A delimitação temporal cobre o período 2008-2019 e decorre de dois aspectos, o primeiro advém da base de dados do crédito rural disponível somente a partir de 2008, o segundo

¹ A maioria das variáveis foi transformada por meio do logaritmo natural, na forma $\log(x + 1)$, com o objetivo de tratar valores nulos e mitigar problemas de assimetria e heterocedasticidade. Ademais, foram incluídos termos quadráticos das covariáveis (x^2), permitindo maior flexibilidade funcional e a captura de possíveis não-linearidades nas relações entre as variáveis explicativas e o *outcome*

Quadro 2 – Variáveis utilizadas na análise: classificação, descrição e fonte dos dados

Tipo	Variável	Descrição	Fonte
Tratamento	Log_credito	Logaritmo do valor total dos contratos de crédito rural no município, a preços constantes de 2021.	BACEN
Resultado	Log_desmat_inv	Logaritmo da área desmatada em imóveis rurais no município, em hectares, no período de análise.	INPE; SICAR
Identificação	Cd_Mun	Código identificador do município.	IBGE
Controle	Log_densid_gado	Logaritmo do efetivo do rebanho bovino dividido pela área territorial do município.	IBGE
Controle	perc_poprural_sq	percentual da população residente em área rural no município (termo quadrático).	IBGE
Controle	Log_PIB_agro	Logaritmo do Produto Interno Bruto agropecuário municipal (em milhares de R\$), a preços constantes de 2021.	IBGE
Controle	log_PIB_sq	Termo quadrático de Log_PIB_agro.	IBAMA
Controle	Log_precip_anual	Logaritmo da precipitação anual acumulada no município, em milímetros.	ERA5-Land
Controle	log_precip_sq	Termo quadrático de Log_precip_anual.	IBAMA
Controle	Log_Qtde_infracao	Logaritmo do número total de infrações ambientais registradas no município.	IBAMA
Controle	Log_soma_area_inv	Logaritmo da soma da área (ha) dos imóveis rurais no município, antes do processo de diferença simétrica.	IBAMA
Controle	log_area_sq	Termo quadrático de Log_soma_area_inv.	IBAMA

Fonte: Elaboração própria. As variáveis demográficas apresentam baixa variação temporal, por se basearem em dados censitários ou em estimativas intercensitárias. As variáveis monetárias foram deflacionadas e expressas em preços constantes de 2021. As variáveis climáticas foram obtidas da base de dados ERA5-Land (Muñoz-Sabater et al., 2021). Para variáveis censitárias, os valores ausentes foram replicados com base no último ano disponível. Os demais dados faltantes foram tratados por imputação múltipla via o pacote MICE.

aspecto advém da disponibilidade dos dados econômicos. Por fim, a base final constitui um painel abrangendo 212.432 imóveis rurais, localizados em 511 municípios do bioma Amazônia: Acre, Amazonas, Amapá, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins.

5.3.2 Estratégia de identificação

A estratégia de identificação explora a variação na intensidade do crédito rural como fator determinante do desmatamento proveniente de imóveis rurais. O interesse neste estudo recai sobre o efeito do crédito rural sobre o desmatamento, quando o tratamento é contínuo, como dose, intensidade, desta forma, o parâmetro de interesse é a função dose–resposta.

Desta forma, a análise deste estudo contempla todos os 212.432 imóveis rurais localizados em 511 municípios do bioma Amazônia: Acre, Amazonas, Amapá, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins.

A seleção dos anos de análise, 2008, 2014 e 2019, busca capturar diferentes momentos da trajetória das políticas ambientais e de crédito rural no bioma Amazônia, permitindo explorar variações institucionais e dinâmicas ao longo do tempo. O ano de 2008 representa um marco inicial relevante, pois coincide com o fortalecimento das políticas de comando e

controle no âmbito do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), especialmente com a Resolução nº 3.545/2008 que introduziu mecanismos que passaram a condicionar o acesso ao crédito rural à regularidade ambiental dos produtores. Esse período também marca a implementação da Moratória da Soja na Amazônia e a criação da chamada “lista de municípios prioritários”, elemento central para a intensificação da fiscalização e do monitoramento do desmatamento.

O ano de 2014, por sua vez, corresponde a um momento intermediário, caracterizado por instrumentos institucionais importantes, como a implementação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), regulamentado pela Lei nº 12.651/2012 (Código Florestal). Nesse contexto, observa-se maior integração entre políticas ambientais e produtivas, com avanços nos sistemas de monitoramento, na regularização ambiental e na disponibilidade de informações geoespaciais, fatores que potencialmente afetam tanto o acesso ao crédito quanto as decisões de uso da terra.

Por fim, o ano de 2019 reflete um período mais recente, marcado por mudanças no ambiente institucional e no grau de *enforcement* das políticas ambientais. A literatura tem apontado que, a partir desse período, houve alterações na intensidade da fiscalização e na governança ambiental, o que pode ter influenciado os incentivos enfrentados pelos produtores rurais. Assim, a inclusão de 2019 permite avaliar se e como a relação entre crédito rural e desmatamento se comporta em um contexto de possível enfraquecimento das políticas de controle.

Dessa forma, a escolha desses três anos permite investigar a heterogeneidade dos efeitos em diferentes regimes institucionais, contribuindo para uma análise mais robusta da relação entre crédito rural e desmatamento no bioma Amazônia.

A identificação do efeito do crédito sobre o desmatamento enfrenta desafios típicos de não aleatoriedade, uma vez que o acesso ao crédito pode estar correlacionado com características observáveis e não observáveis dos produtores e dos territórios. Para lidar com esse problema, adota-se o método GPS, que permite estimar a função dose-resposta associada a tratamentos contínuos, conforme proposto inicialmente por Hirano e Imbens (2004) e adaptado por Bia *et al.* (2014).

O GPS é definido como uma função de densidade do tratamento condicional às covariáveis, neste caso, o nível de crédito rural, dado um conjunto de covariáveis, permitindo balancear as diferenças sistemáticas entre unidades expostas a diferentes intensidades de crédito. A partir desse procedimento, torna-se possível recuperar o efeito médio do tratamento ao longo

de toda a distribuição da variável de interesse, neste caso, o desmatamento, capturando potenciais não linearidades na relação entre crédito rural e desmatamento.

A validade da estratégia de identificação baseia-se na hipótese de não confundimento fraco (*weak unconfoundedness*), segundo a qual, condicional ao conjunto de covariáveis observadas, a atribuição do tratamento contínuo é independente dos resultados potenciais em cada nível do tratamento. Adicionalmente, requer-se a condição de suporte comum, isto é, a existência de sobreposição suficiente na distribuição do crédito entre os diferentes níveis de exposição.

Reconhecem-se, contudo, potenciais ameaças à identificação, como a presença de variáveis omitidas ao nível do imóvel, a dependência espacial entre as unidades e as limitações associadas ao caráter autodeclaratório dos dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Tais aspectos podem comprometer a validade da hipótese de não confundimento, especialmente em contextos de heterogeneidade não observada. Essas limitações reforçam a importância da adoção de especificações flexíveis e da realização de diagnósticos rigorosos de balanceamento e de suporte comum, conforme apresentado nas seções subsequentes.

5.3.2.1 *Estratégia econométrica*

Esta seção apresenta a estratégia econométrica adotada para identificar como diferentes intensidades de crédito rural afetam o desmatamento em nível de imóveis rurais, considerando a natureza contínua do tratamento e as possíveis fontes de viés associadas à seleção não aleatória. Diante desse contexto, a análise fundamenta-se na literatura de inferência causal com tratamento contínuo, que utiliza o GPS para estimar funções dose-resposta em contextos observacionais. Além disso, busca-se explorar possíveis heterogeneidades ao longo da distribuição do tratamento, garantindo maior robustez na identificação dos impactos.

Tal metodologia foi introduzida por Rosenbaum e Rubin (1983), por meio do escore de propensão (PS), um instrumento para tratamentos binários, para reduzir vieses nas comparações entre diferentes níveis de tratamento. Sob determinadas condições, o escore de propensão reproduz propriedades de balanceamento semelhantes às de um experimento aleatorizado, tornando comparáveis unidades com a mesma probabilidade de receber o tratamento. A validade dessa abordagem depende do pressuposto de ignorabilidade forte e da condição de sobreposição (*overlap*).

Posteriormente, Hirano e Imbens (2004) estendem essa abordagem a tratamentos contínuos, generalizando o escore de propensão (GPS), definido como a densidade condicional

do tratamento dado o conjunto de covariáveis, $r(t, X) = f_{T|X}(t | X)$. Nesse contexto, o método baseia-se no pressuposto de ignorabilidade fraca, isto é, independência condicional para cada nível do tratamento, segundo a qual, para cada valor das covariáveis X , existe probabilidade positiva de observar qualquer nível de dose t , formalmente expressa como $Y(t) \perp T | X, \forall t$, o que garante comparabilidade entre unidades com diferentes níveis de tratamento.

Como alternativa à abordagem paramétrica de Hirano e Imbens (2004), Bia *et al.* (2014) apresentam uma estratégia semiparamétrica, que permite maior flexibilidade na estimação da função dose-resposta. Esse método mantém o uso do GPS como mecanismo de ajuste de covariáveis, mas relaxa a imposição de formas funcionais restritivas, sendo capaz de capturar não linearidades e interações complexas, reduzindo o risco de má especificação do modelo e aumentando a robustez das estimativas em comparação com especificações estritamente paramétricas.

Formalmente, o método estima a função dose-resposta, que descreve o efeito médio do tratamento contínuo sobre o resultado de interesse. Considere uma amostra aleatória de unidades indexadas por $i = 1, \dots, N$. Para cada unidade, define-se um conjunto de resultados potenciais $Y_i(t)$, para $t \in \mathcal{T}$, denominada função dose-resposta ao nível individual.

Desta forma, essa dose-resposta é definida como:

$$\mu(t) = \mathbb{E}[Y_i(t)] \quad (5.1)$$

O objetivo empírico consiste em recuperar essa função a partir de dados observacionais, sob a hipótese de ignorabilidade fraca. Para isso, utiliza-se o escore de propensão generalizado (GPS), definido como a densidade condicional do tratamento dado o conjunto de covariáveis observáveis:

$$r(t, X) = f_{T|X}(t | X) \quad (5.2)$$

O GPS atua como um escore de balanceamento, permitindo comparar unidades com diferentes níveis de tratamento, mas com valores semelhantes de $r(t, X)$, o que reduz vieses associados às covariáveis. Sob a hipótese de ignorabilidade fraca, a função dose-resposta pode ser identificada como:

$$\mu(t) = \mathbb{E}[\beta(t, r(t, X))] \quad (5.3)$$

$$\text{em que } \beta(t, r) = \mathbb{E}[Y | T = t, R = r] \quad (5.4)$$

em que $\beta(t, r)$ representa a esperança condicional do resultado dado o nível de tratamento t e o valor do escore de propensão generalizado r . Essa expressão indica que a função dose-resposta pode ser obtida a partir da modelagem da relação entre o resultado, o tratamento e o GPS, seguida da integração dessa relação sobre a distribuição do escore avaliado em $r(t, X)$.

Assim, a identificação de $\mu(t)$ ocorre em dois estágios. No primeiro, assume-se que a distribuição do tratamento condicional às covariáveis segue uma forma paramétrica, tipicamente normal. No segundo, integra-se a função condicional estimada em relação à distribuição do escore de propensão generalizado, avaliado por $r(t, X)$, obtendo-se a função dose-resposta média.

No primeiro estágio, assume-se que a distribuição do tratamento condicional às covariáveis segue uma forma paramétrica, tipicamente normal:

$$T_i | X_i \sim \mathcal{N}(\beta_0 + \beta_1 X_i, \sigma^2) \quad (5.5)$$

A partir dessa especificação, obtém-se o escore de propensão generalizado estimado:

$$\hat{R}_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hat{\sigma}^2}} \exp\left(-\frac{(T_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 X_i)^2}{2\hat{\sigma}^2}\right) \quad (5.6)$$

Denota-se por $R_i = \hat{r}(T_i, X_i)$ o escore de propensão generalizado estimado.

Já no segundo estágio, estima-se a esperança condicional do resultado como uma função flexível do tratamento e do GPS:

$$\mathbb{E}[Y_i | T_i, R_i] = \alpha_0 + \alpha_1 T_i + \alpha_2 T_i^2 + \alpha_3 R_i + \alpha_4 R_i^2 + \alpha_5 T_i R_i \quad (5.7)$$

A função dose-resposta é então obtida ao se calcular a média da função estimada ao longo da distribuição do GPS avaliado em cada nível de tratamento:

$$\mathbb{E}[\hat{Y}(t)] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 t + \hat{\alpha}_2 t^2 + \hat{\alpha}_3 r(t, X_i) + \hat{\alpha}_4 r(t, X_i)^2 + \hat{\alpha}_5 t r(t, X_i)) \quad (5.8)$$

No processo de inferência estatística, o estimador apresenta consistência e normalidade assintótica. Contudo, na prática, utiliza-se o método *bootstrap* para a obtenção de erros-padrão e intervalos de confiança, uma vez que esse procedimento incorpora a incerteza proveniente da estimação do GPS e da função de resultado.

Posteriormente, Bia *et al.* (2014) contribuem para a literatura ao estimar a função dose-resposta combinando o GPS com *Additive Spline*. Da mesma forma que em Hirano e Imbens (2004) sob a hipótese de ignorabilidade fraca, a metodologia segue uma abordagem

semiparamétrica baseada no estimador de *Additive Spline*. No primeiro estágio, estima-se um modelo paramétrico para o tratamento contínuo em função das covariáveis observáveis, o que permite obter o escore de propensão generalizado, definido como a densidade condicional do tratamento dado o vetor de covariáveis:

$$r(t, X) = f_{T|X}(t | X) \quad (5.9)$$

No segundo estágio, modela-se a esperança condicional do resultado como uma função flexível do tratamento observado e do GPS estimado, utilizando *splines* aditivas. Em particular, a função de resultado pode ser representada como:

$$\mathbb{E}[Y_i | T_i, R_i] = \alpha_0 + \alpha_1 T_i + \alpha_2 R_i + \sum_{k=1}^K u_k (T_i - \kappa_k)_+ + \sum_{k=1}^K v_k (R_i - \kappa_k)_+ \quad (5.10)$$

em que $R_i = r(T_i, X_i)$ representa o GPS estimado, κ_k são os nós (knots) da spline e $(z)_+ = \max(z, 0)$ denota a função base *spline*. Essa especificação permite capturar relações não lineares entre o tratamento e o resultado, evitando impor restrições paramétricas rígidas à forma funcional da dose-resposta. A função dose-resposta média é então obtida ao predizer os resultados potenciais para cada unidade em um nível específico de tratamento t e calcular sua média:

$$\hat{Y}_i(t) = \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 t + \hat{\alpha}_2 r(t, X_i) + \sum_{k=1}^K \hat{u}_k (t - \kappa_k)_+ + \sum_{k=1}^K \hat{v}_k (r(t, X_i) - \kappa_k)_+ \quad (5.11)$$

$$\hat{\mu}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{Y}_i(t) \quad (5.12)$$

Para a inferência estatística, emprega-se o método bootstrap não paramétrico, com reamostragem com reposição da base de dados e reestimação completa do procedimento em cada repetição. Esse procedimento permite obter intervalos de confiança que incorporam tanto a incerteza associada à estimação do modelo de tratamento quanto à incerteza associada à modelagem da função de resultado.

Diante disso, a estratégia empírica combina diferentes abordagens. Inicialmente, a função dose-resposta média é estimada por meio da abordagem semiparamétrica de Bia *et al.* (2014), adotada como método principal deste estudo. Essa escolha justifica-se pela maior flexibilidade funcional e pela capacidade de capturar não linearidades na relação entre crédito rural e desmatamento. Em complemento, Hirano e Imbens (2004) é utilizado como estratégia de robustez, permitindo avaliar a sensibilidade dos resultados a diferentes especificações.

Tanto para o modelo adotado por Hirano e Imbens (2004) quanto para o modelo adotado por Bia *et al.* (2014), ressalta-se que a interpretação causal dos resultados depende crucialmente da validade da hipótese de ignorabilidade, bem como da correta especificação do modelo do tratamento e da condição de suporte comum entre unidades com diferentes níveis de exposição.

Cabe destacar que, em aplicações empíricas com dados observacionais, a presença de fatores de confusão constitui um desafio central, uma vez que variáveis observáveis podem influenciar simultaneamente o tratamento e o resultado (Austin, 2011). Nesse contexto, diferenças sistemáticas entre unidades expostas a distintos níveis de tratamento podem introduzir viés nas estimativas, sendo necessário corrigi-las previamente à estimação dos efeitos.

Para mitigar esses vieses, emprega-se o balanceamento das covariáveis, cujo objetivo é tornar o tratamento aproximadamente independente das características observáveis, reconstruindo um cenário análogo a um experimento aleatorizado condicionalmente às covariáveis.

No presente estudo, o escore de propensão generalizado (GPS) é obtido a partir de um modelo linear para o tratamento contínuo, assumindo-se que, condicionalmente às covariáveis, o tratamento segue uma distribuição normal. Assim, seja $\hat{\mu}_i = \mathbb{E}[T_i | X_i]$ o valor predito pelo modelo do tratamento e $\hat{\sigma}$ o desvio padrão residual estimado, o GPS é calculado como:

$$\hat{r}(T_i, X_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hat{\sigma}^2}} \exp\left(-\frac{(T_i - \hat{\mu}_i)^2}{2\hat{\sigma}^2}\right) \quad (5.13)$$

Em seguida, constroem-se pesos estabilizados para tratamento contínuo (IPTW), definidos como:

$$w_i = \frac{\hat{f}_T(T_i)}{\hat{r}(T_i, X_i)} \quad (5.14)$$

em que $\hat{f}_T(T_i)$ representa a densidade marginal estimada do tratamento e $\hat{r}(T_i, X_i)$ corresponde ao GPS estimado.

Desta forma, os pesos reponderam a amostra de forma a reduzir a dependência entre o tratamento e as covariáveis observáveis, atribuindo maior peso a observações com baixa probabilidade condicional de receber determinado nível de tratamento e menor peso àquelas para as quais esse nível de tratamento é esperado. Essa estratégia de reponderação busca aproximar a independência entre o tratamento e as características observáveis na amostra ponderada,

fortalecendo a plausibilidade da hipótese de ignorabilidade necessária à estimação da função dose-resposta (Austin, 2011; Morris *et al.*, 2022).

Assim, o diagnóstico de balanceamento das covariáveis foi realizado por meio da comparação, para cada covariável, da correlação absoluta com o tratamento antes e após a ponderação pelos pesos IPTW estabilizados. Os resultados foram apresentados por meio de gráficos do tipo *Love plot*, permitindo avaliar em que medida a ponderação reduziu a dependência entre o tratamento contínuo e as covariáveis observáveis. Além disso, foram realizados diagnósticos empíricos para verificar a validade dos pressupostos necessários à identificação causal. Em particular, foi conduzido um diagnóstico de suporte comum (*overlap*) por meio da inspeção gráfica das distribuições do GPS entre grupos definidos pelos quartis do tratamento.

Como extensão da análise da função dose-resposta, implementa-se a metodologia da função dose-resposta quantílica (QDRF), introduzida por Alejo *et al.* (2018) e que permite investigar a heterogeneidade dos efeitos ao longo da distribuição do desmatamento (Firpo, 2007; Cattaneo, 2010).

A função dose-resposta quantílica (*Quantile Dose-Response Function* – QDRF) é definida como o quantil τ da distribuição dos resultados potenciais:

$$q_\tau(t) = \inf \{q \in \mathbb{R} : F_{Y(t)}(q) \geq \tau\}, \quad \tau \in (0, 1) \quad (5.15)$$

Essa função descreve como diferentes níveis de crédito afetam o desmatamento em diferentes pontos da distribuição, sendo particularmente útil para capturar heterogeneidade nos efeitos do tratamento (Alejo *et al.*, 2018).

A abordagem quantílica segue uma estratégia distinta da utilizada na estimação da função média, baseando-se em reponderação via GPS. A identificação dos efeitos causais baseia-se na hipótese de ignorabilidade fraca, segundo a qual, condicional a um conjunto de covariáveis observáveis X , a atribuição do tratamento é independente dos resultados potenciais:

$$Y(t) \perp T \mid X, \quad \forall t \in \mathcal{T} \quad (5.16)$$

Essa hipótese, amplamente utilizada na literatura de avaliação de impacto, permite interpretar os resultados como causais sob seleção nas observáveis (Rubin, 1977; Imbens e Rubin, 2015). Além disso, é necessária a condição de sobreposição (*overlap*), que exige que todos os níveis de tratamento tenham probabilidade positiva para diferentes valores das covariáveis. Essa condição garante suporte comum e viabiliza a comparação entre unidades expostas a diferentes intensidades de crédito (Hirano e Imbens, 2004).

A identificação da função dose-resposta é obtida por meio do GPS, definido como a densidade condicional do tratamento dadas as covariáveis, $r(t, X) = f_{T|X}(t|X)$. Conforme proposto por Hirano e Imbens (2004), o GPS permite generalizar o escore de propensão para o caso de tratamentos contínuos, preservando a propriedade de balanceamento das covariáveis.

No caso considerado neste estudo, a identificação envolve uma reponderação baseada na razão de densidades condicionais, conforme desenvolvido por Galvao e Wang (2015) e Alejo *et al.* (2018), o que permite expressar a função de momentos em termos de variáveis observáveis.

A estratégia de estimação segue um procedimento em dois estágios. No primeiro estágio, estima-se o GPS por meio de um modelo paramétrico flexível baseado na transformação Box–Cox, que permite acomodar distribuições não lineares e um grande número de covariáveis. Essa abordagem apresenta vantagens computacionais e empíricas em relação a métodos não paramétricos, especialmente em contextos de alta dimensionalidade (Alejo *et al.*, 2018).

No segundo estágio, a função dose-resposta é estimada por meio de regressão quantílica ponderada, na qual os pesos são derivados do GPS estimado. Especificamente, para cada nível de tratamento t , estima-se:

$$\hat{q}_\tau(t) = \arg \min_{q \in \mathbb{R}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i(t) \rho_\tau(Y_i - q) \quad (5.17)$$

Onde $\rho_\tau(\cdot)$ é a função *check* da regressão quantílica (Koenker e Bassett, 1978) e $w_i(t)$ representa os pesos baseados na razão de densidades condicionais.

A partir da QDRF, é possível derivar o efeito causal contínuo quantílico (*Quantile Continuous Treatment Effect* – QCTE), definido como a diferença entre quantis associados a diferentes níveis de tratamento:

$$\Delta_\tau(t, t') = q_\tau(t) - q_\tau(t') \quad (5.18)$$

Esse parâmetro permite avaliar como variações marginais no crédito afetam o desmatamento ao longo da distribuição do resultado (Firpo, 2007; Cattaneo, 2010). Além disso, a inferência estatística desta metodologia é realizada por meio de procedimentos *bootstrap*, que permitem construir intervalos de confiança e realizar testes de hipóteses tanto para valores pontuais quanto de forma uniforme ao longo da distribuição do tratamento. Essa abordagem é particularmente adequada em contextos de tratamento contínuo, nos quais os parâmetros de interesse são funções, e não apenas escalares (Alejo *et al.*, 2018).

Por fim, a combinação entre o uso do GPS, estimadores semiparamétricos e a extensão para funções dose-resposta quantílicas representa um avanço em relação às abordagens

tradicionais, permitindo não apenas estimar efeitos médios, mas também explorar heterogeneidades ao longo da distribuição do desmatamento. Essa estratégia é particularmente relevante em contextos em que os efeitos do tratamento não são uniformes, como na relação entre o crédito rural e o uso da terra.

5.4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.4.1 *Análise descritiva dos dados*

A Tabela 8 apresenta as estatísticas descritivas das principais variáveis utilizadas na análise, comparando os anos de 2008 com 2014 e 2019. De modo geral, observa-se uma expansão significativa do crédito rural ao longo do período, refletida pelo aumento da variável de tratamento em log, que passa de 15,356 para 16,066, sendo essa diferença estatisticamente significativa ao nível de 1%.

Em relação ao desmatamento, medido em log, verifica-se uma redução entre os períodos analisados, com a média passando de 1,529 em 2008 para 0,916 em 2014 e 1,118 em 2019, o que é estatisticamente significativo. Esse resultado sugere uma tendência de queda no desmatamento ao longo do tempo, embora essa comparação não permita inferir causalidade direta, uma vez que incorpora simultaneamente mudanças estruturais e institucionais ocorridas no período.

No que se refere às covariáveis, observa-se uma redução no número de infrações ambientais (de 2,271 para 1,786 e, posteriormente, para 1,856), o que indica uma possível intensificação dos mecanismos de controle ou mudanças no comportamento dos agentes. A precipitação média apresenta leve redução, enquanto o PIB agropecuário em log cresce no período, sugerindo expansão da atividade econômica rural.

Por outro lado, a densidade de gado apresenta leve aumento, embora sem significância estatística, e a área dos imóveis permanece praticamente constante. Destaca-se ainda o aumento da proporção da população rural, que passa de 45,676% para 52,162%, com diferença estatisticamente significativa.

De forma geral, os resultados indicam mudanças estruturais nas características dos municípios ao longo do período analisado, reforçando a importância de controlar por essas variáveis na estimação dos efeitos da intensidade de crédito sobre o desmatamento. Isso é consistente com a literatura que documenta a relação entre a expansão do crédito rural, a

Tabela 8 – Estatísticas descritivas das variáveis do modelo: 2008, 2014 e 2019

Variável	Médias			Diferença (2008–2014)			Diferença (2008–2019)		
	2008	2014	2019	Dif.	t	p-valor	Dif.	t	p-valor
Crédito (log)	15,356	16,151	16,066	-0,794	-6,234	0,000***	-0,710	-5,506	0,000***
Desmatamento (log)	1,529	0,916	1,118	0,613	8,234	0,000***	0,411	5,074	0,000***
Precipitação (log)	7,662	7,591	7,558	0,071	4,494	0,000***	0,105	5,894	0,000***
Infrações (log)	2,271	1,786	1,856	0,485	6,772	0,000***	0,415	5,822	0,000***
PIB (log)	17,681	18,026	17,872	-0,345	-5,266	0,005***	-0,190	-2,792	0,005***
Densidade de gado (log)	2,759	2,823	2,855	-0,064	-0,679	0,497	-0,095	-1,001	0,316
Área dos imóveis (log)	10,370	10,370	10,370	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000
População rural (%)	45,676	52,162	52,162	-6,487	-4,339	0,000***	-6,487	-4,339	0,000***

Notas: A tabela apresenta as médias das variáveis em 2008, 2014 e 2019. As diferenças correspondem à média de 2008 menos a média nos anos comparados. O teste *t* é do tipo Welch, com variâncias desiguais.

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$.

intensificação da atividade agropecuária e seus efeitos sobre o uso da terra (Sousa *et al.*, 2020; Sant’Anna *et al.*, 2025).

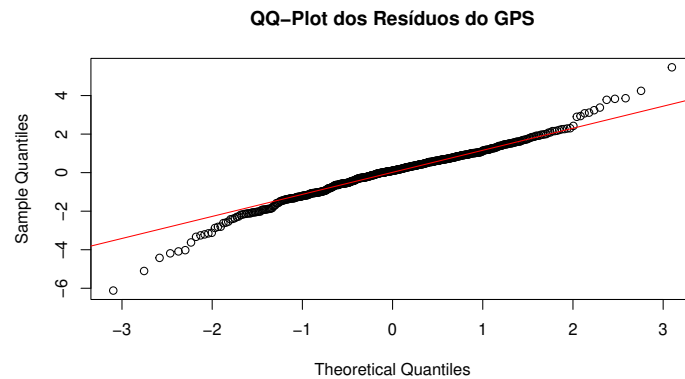
5.4.2 Diagnóstico de balanceamento

A análise dos gráficos dos resíduos do modelo do tratamento para os anos de 2008, 2014 e 2019, na Figura 6, indica que a hipótese de normalidade é razoável na região central da distribuição, uma vez que os pontos se alinham de forma próxima à reta de referência. No entanto, observa-se a presença de desvios nas extremidades, evidenciando caudas mais pesadas do que as previstas pela distribuição normal. Esses resultados sugerem que, embora a suposição de normalidade não seja plenamente satisfeita, ela constitui uma aproximação adequada para a estimação do Escore de Propensão Generalizado.

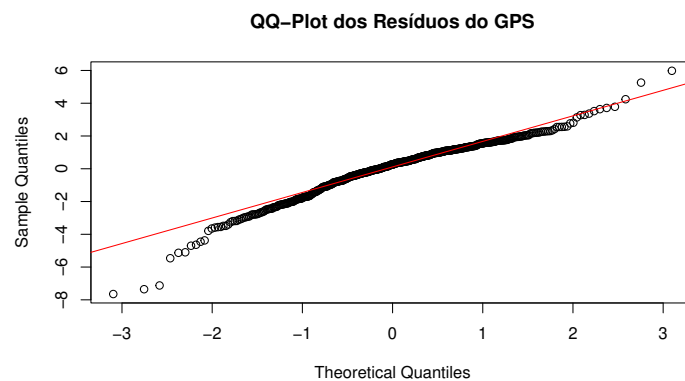
A verificação da condição de suporte comum, Figura 7, por meio da análise da sobreposição das densidades do GPS entre os quartis do tratamento, indica a presença de *overlap* em todos os anos analisados. Observa-se que as distribuições dos diferentes grupos de intensidade de crédito apresentam regiões de interseção ao longo do suporte do GPS, sugerindo comparabilidade entre as unidades expostas a distintos níveis de tratamento, o que permite a aplicação de métodos de ponderação e a estimação da função dose-resposta. Esse resultado está alinhado com a literatura sobre inferência causal, que destaca o papel do balanceamento na aproximação a um cenário quase experimental em dados observacionais.

Os resultados do diagnóstico de balanceamento, na Figura 8, indicam que a aplicação da ponderação por probabilidade inversa do tratamento (IPTW) foi eficaz em reduzir substancialmente a correlação entre o tratamento e as covariáveis nos anos de 2008, 2014 e 2019. Antes da

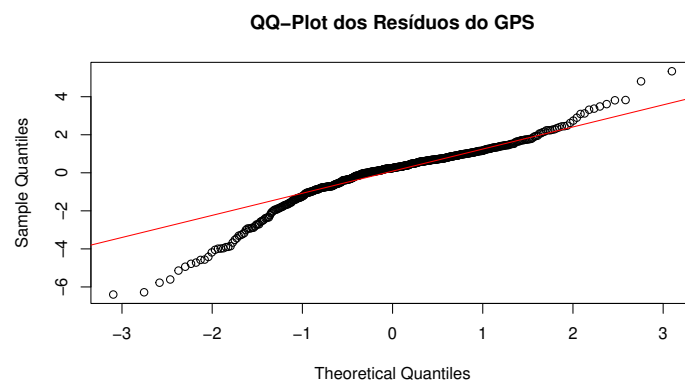
ponderação, observam-se correlações relativamente elevadas, o que evidencia a presença de viés de confusão. Após a aplicação dos pesos, observa-se uma redução dessas correlações, com a maioria das covariáveis apresentando intervalo de confiança abaixo de 5%, indicando melhora no balanceamento. Os resultados indicam que o IPTW aproximou a amostra de um cenário quase experimental, tornando mais plausível a interpretação das estimativas.



(a) Ano: 2008



(b) Ano: 2014



(c) Ano: 2019

Figura 6 – Diagnóstico da suposição de normalidade

5.4.3 Efeito da intensidade de dose

Sob a hipótese de ignorabilidade condicional em relação às covariáveis observáveis, os resultados da estimação da função dose-resposta por meio do estimador semiparamétrico de Bia *et al.* (2014) indicam uma relação positiva e não linear entre a dose de crédito e o desmatamento proveniente de imóveis rurais, em todos os anos analisados.

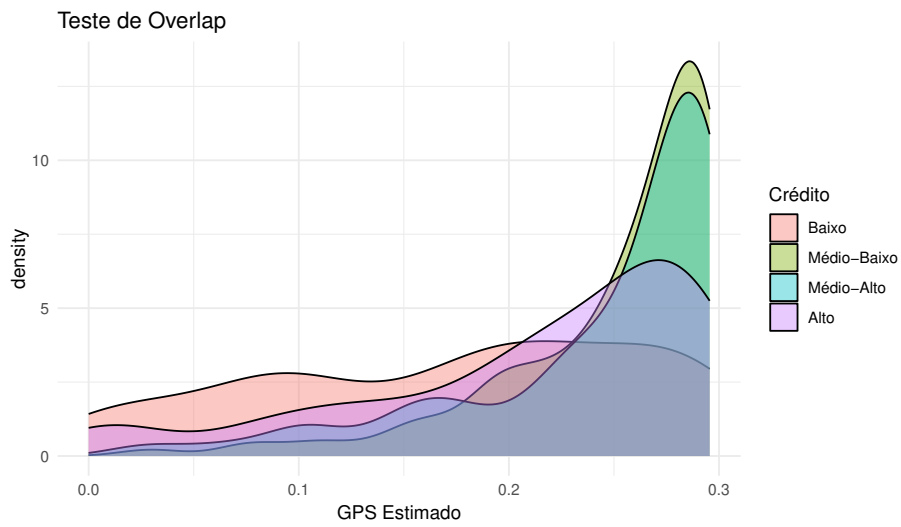
A inclinação das curvas indica que o efeito marginal do crédito não é constante ao longo da distribuição, apresentando comportamento crescente, o que evidencia a presença de não linearidades na relação entre crédito e desmatamento. Ademais, observam-se diferenças na magnitude do efeito entre os anos analisados, sugerindo que a relação entre crédito e desmatamento é sensível ao contexto institucional.

Em 2008, os resultados indicam uma relação positiva entre crédito e desmatamento, com um crescimento mais acentuado em níveis elevados de crédito. Observa-se que a inclinação da função dose-resposta se intensifica na parte superior da distribuição do tratamento, indicando maior sensibilidade do desmatamento a aumentos no crédito nesses níveis. No entanto, esse padrão é acompanhado de maior incerteza, refletida pela amplitude dos intervalos de confiança.

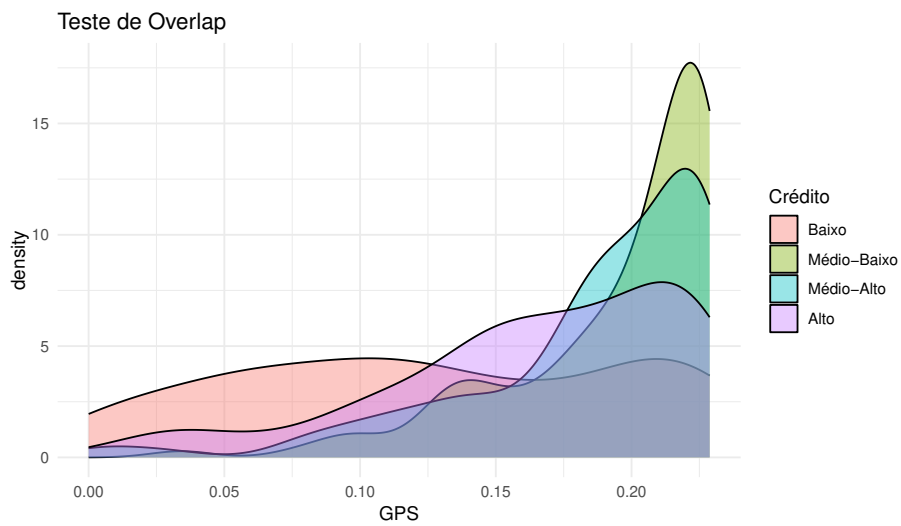
Esse resultado está em linha com evidências empíricas que indicam que o crédito rural pode atuar como fator de expansão da fronteira agropecuária, sobretudo em contextos de restrição de capital, nos quais o aumento da disponibilidade de financiamento induz a incorporação de novas áreas à produção (Assunção *et al.*, 2019). De forma complementar, evidências recentes mostram que o crédito rural no Brasil tem sido associado ao aumento da produção agrícola, principalmente por meio da expansão de área, e não por ganhos de produtividade, o que implica efeitos adversos sobre o desmatamento (Sant’Anna *et al.*, 2025).

Cabe destacar que, em 2008, foi implementada a Resolução nº 3.545 do Banco Central, que estabeleceu condicionantes de regularidade ambiental à concessão de crédito rural no bioma Amazônia. Evidências indicam que essa política resultou em uma redução significativa do desmatamento ao restringir o acesso ao crédito para produtores em situação irregular (Assunção *et al.*, 2019). Assim, os resultados observados para 2008 refletem a coexistência de dois mecanismos: por um lado, o crédito como vetor de expansão produtiva e, por outro, as restrições institucionais impostas pela política, que atuam para mitigar esse efeito.

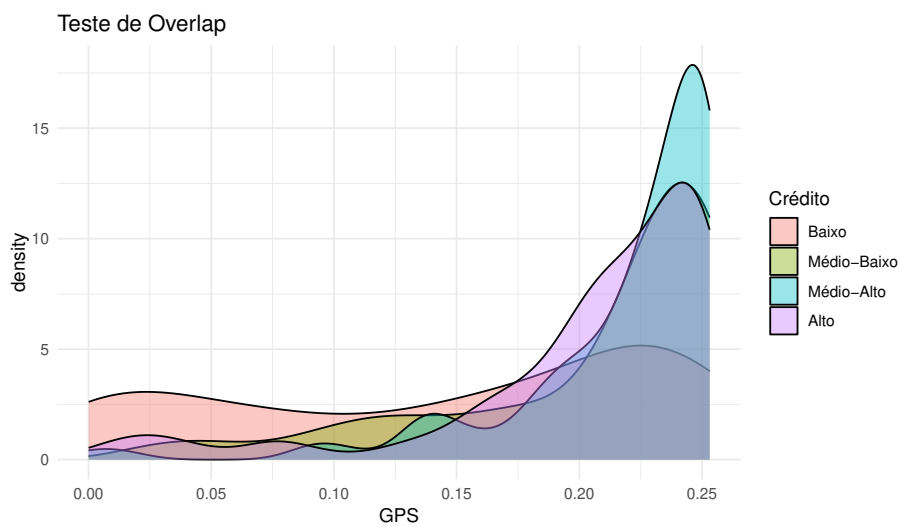
Adicionalmente, esse período coincide com o fortalecimento da Moratória da Soja, acordo voluntário firmado entre empresas do setor e organizações da sociedade civil, que passou a restringir a comercialização de soja proveniente de áreas desmatadas no bioma Amazônia após



(a) Ano: 2008

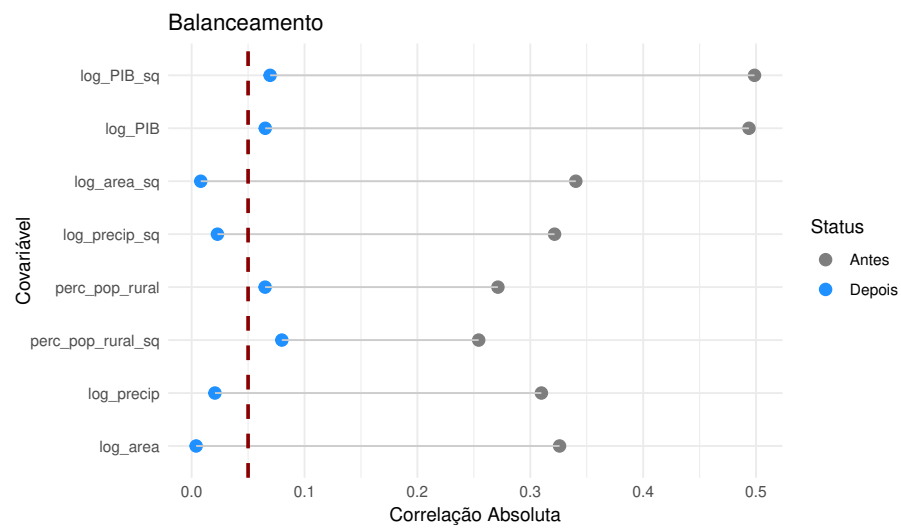


(b) Ano: 2014

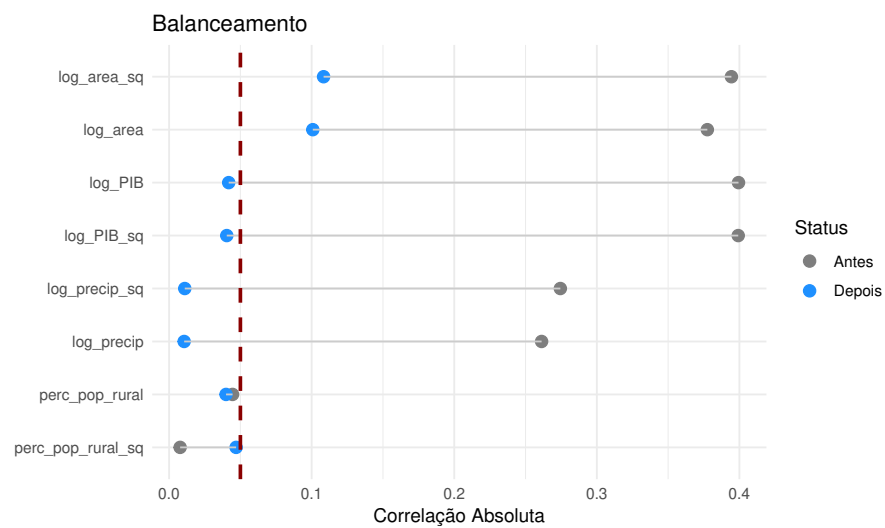


(c) Ano: 2019

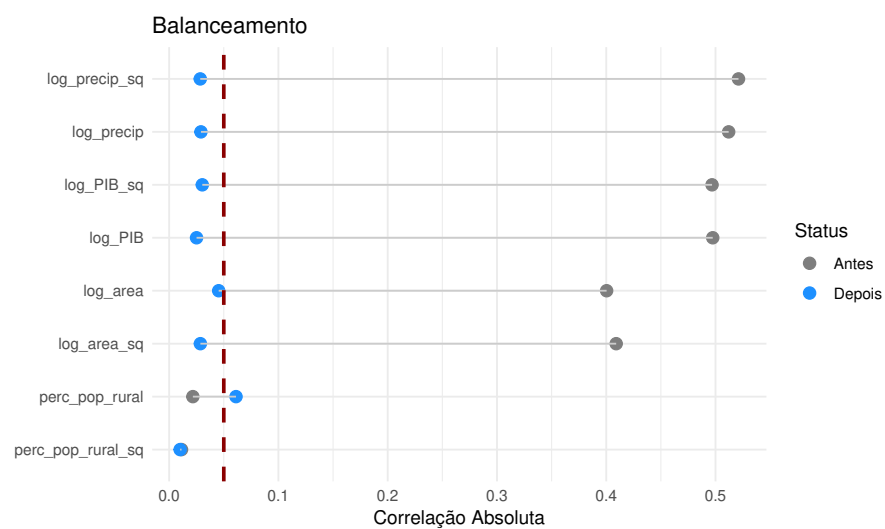
Figura 7 – Diagnóstico de suporte comum (*overlap*).



(a) Ano: 2008



(b) Ano: 2014



(c) Ano: 2019

Figura 8 – Diagnóstico de balanceamento antes e após a aplicação dos pesos IPTW.

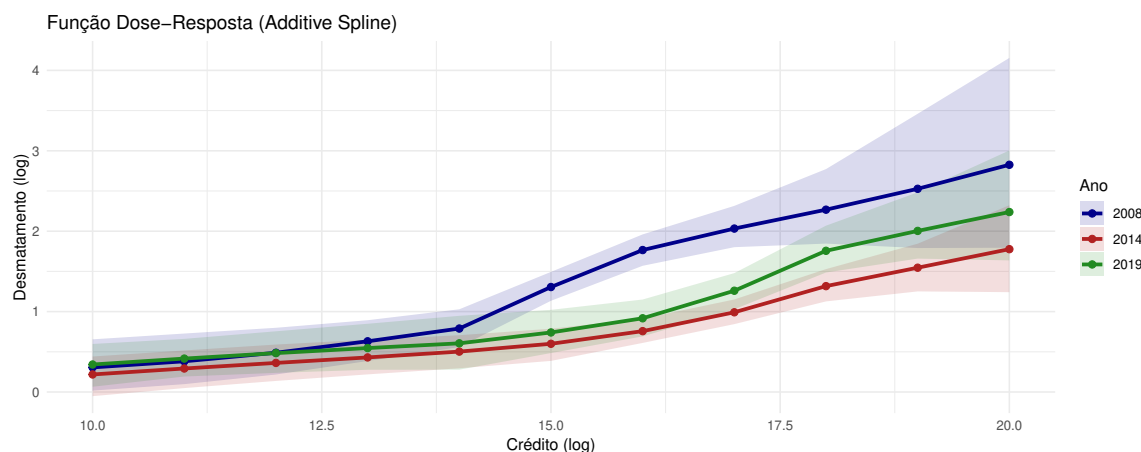


Figura 9 – Função dose–resposta estimada pelo método semiparamétrico de Bia e Mattei (*Additive Spline*) para os anos de 2008, 2014 e 2019.

2008. Evidências indicam que a moratória contribuiu para reduzir o desmatamento associado à expansão da soja, ao impor restrições de mercado à conversão de novas áreas (Sampaio *et al.*, 2026).

Em 2014, observa-se uma relação positiva mais estável entre crédito rural e desmatamento ao longo da distribuição do tratamento, com um crescimento mais suave da função dose-resposta em comparação a 2008, especialmente em níveis elevados de crédito. Esse período coincide com a implementação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), instrumento central do Código Florestal de 2012, voltado à regularização ambiental das propriedades. Tais resultados estão em consonância com evidências de que o CAR teve impacto na redução do desmatamento em imóveis rurais cadastrados nos primeiros anos de sua implementação (Arruda *et al.*, 2025).

Nesse contexto, a literatura sugere que instrumentos de regulação ambiental podem alterar os incentivos econômicos associados ao uso da terra, restringindo a expansão da fronteira agrícola no curto prazo (Assunção *et al.*, 2019). Assim, a menor inclinação da função dose-resposta em 2014 pode refletir um ambiente institucional mais restritivo, no qual os efeitos do crédito sobre o desmatamento são parcialmente atenuados.

Para 2019, os resultados indicam a mesma relação positiva entre crédito e desmatamento, com aumento da inclinação da função dose-resposta em relação a 2014, especialmente nos níveis mais elevados de crédito. Esse período corresponde a uma fase em que o Cadastro Ambiental Rural (CAR) já se encontrava amplamente implementado, com elevada cobertura cadastral.

Evidências recentes apontam que os efeitos do CAR podem se alterar ao longo do tempo, com reduções iniciais no desmatamento seguidas de aumentos em períodos posteriores,

especialmente em contextos de baixa capacidade institucional (Arruda *et al.*, 2025). Adicionalmente, mudanças no arcabouço institucional, como o Decreto nº 9.760/2019, que flexibilizou os mecanismos de sanção ambiental, podem ter reduzido a percepção de risco associada ao desmatamento ilegal (Brasil, 2019).

Nesse cenário, o crédito rural tende a atuar como um vetor de expansão das atividades produtivas, ampliando seu impacto sobre o desmatamento. Esse resultado é consistente com evidências de que o aumento da disponibilidade de crédito está associado à expansão da produção agropecuária por meio da incorporação de novas áreas, sobretudo em contextos de menor enforcement ambiental (Sant’Anna *et al.*, 2025; Assunção *et al.*, 2019). Evidências adicionais corroboram esse padrão: Arruda *et al.* (2025) identifica um aumento do desmatamento em imóveis cadastrados no período de 2022, com efeitos mais intensos em propriedades de maior porte. De forma complementar, dados do Relatório Anual de Desmatamento do MapBiomas indicam baixos níveis de fiscalização e punição, com apenas 2,4% dos eventos de desmatamento e 10,5% da área desmatada sendo alvo de ações de fiscalização entre 2019 e 2021, além de taxas historicamente reduzidas de penalização (MapBiomas, 2022).

Em conjunto, os resultados indicam a existência de uma relação positiva e não linear entre o crédito rural e o desmatamento proveniente de imóveis rurais, sendo esse efeito mais intenso em níveis elevados de crédito. Esses achados são consistentes com a literatura que associa a expansão do crédito à ampliação da fronteira agrícola e ao aumento da conversão de áreas de vegetação nativa (Sant’Anna *et al.*, 2025; Sampaio *et al.*, 2026). Ao mesmo tempo, os resultados complementam estudos que identificam efeitos médios do crédito sobre o desmatamento (Faria *et al.*, 2025a), ao evidenciar que tais efeitos não são constantes, mas crescem ao longo da distribuição do tratamento, indicando a presença de não linearidades.

Adicionalmente, a variação temporal observada sugere que o efeito do crédito é condicionado pelo ambiente institucional, sendo mais moderado em contextos de maior restrição regulatória e mais intenso em períodos de menor *enforcement* ambiental. Nesse sentido, os resultados dialogam com a literatura que destaca o papel de instrumentos institucionais, como a Resolução nº 3.545/2008, na mitigação dos efeitos do crédito sobre o desmatamento (Assunção *et al.*, 2019).

Os resultados também dialogam com Ruggiero *et al.* (2024)), que mostram que o efeito do crédito rural depende do contexto local de uso da terra e da governança fundiária. Assim como observado neste estudo, o crédito não produz um efeito uniforme sobre o desmatamento,

mas varia conforme as condições institucionais e produtivas dos territórios analisados.

Por fim, ao utilizar dados em nível de imóvel rural e uma abordagem de tratamento contínuo, este estudo avança em relação à literatura existente ao capturar os mecanismos microeconômicos por meio dos quais o crédito influencia as decisões de uso da terra, evidenciando que o impacto do financiamento é crescente em intensidade e heterogêneo ao longo da distribuição do desmatamento. Esses resultados evidenciam que análises baseadas em efeitos médios podem subestimar a complexidade da relação entre crédito e desmatamento, uma vez que os efeitos variam ao longo da distribuição do tratamento.

5.4.4 Função dose-resposta quantílica

A análise da função dose–resposta quantílica permite investigar como o efeito do crédito rural sobre o desmatamento, proveniente de imóveis rurais, varia ao longo da distribuição de resultados, capturando possíveis heterogeneidades que não são observáveis na média. Em particular, essa abordagem possibilita avaliar se o efeito do crédito rural é mais pronunciado em municípios com níveis mais elevados deste tipo de desmatamento, contribuindo para uma compreensão mais detalhada dos mecanismos subjacentes à dinâmica de conversão de áreas.

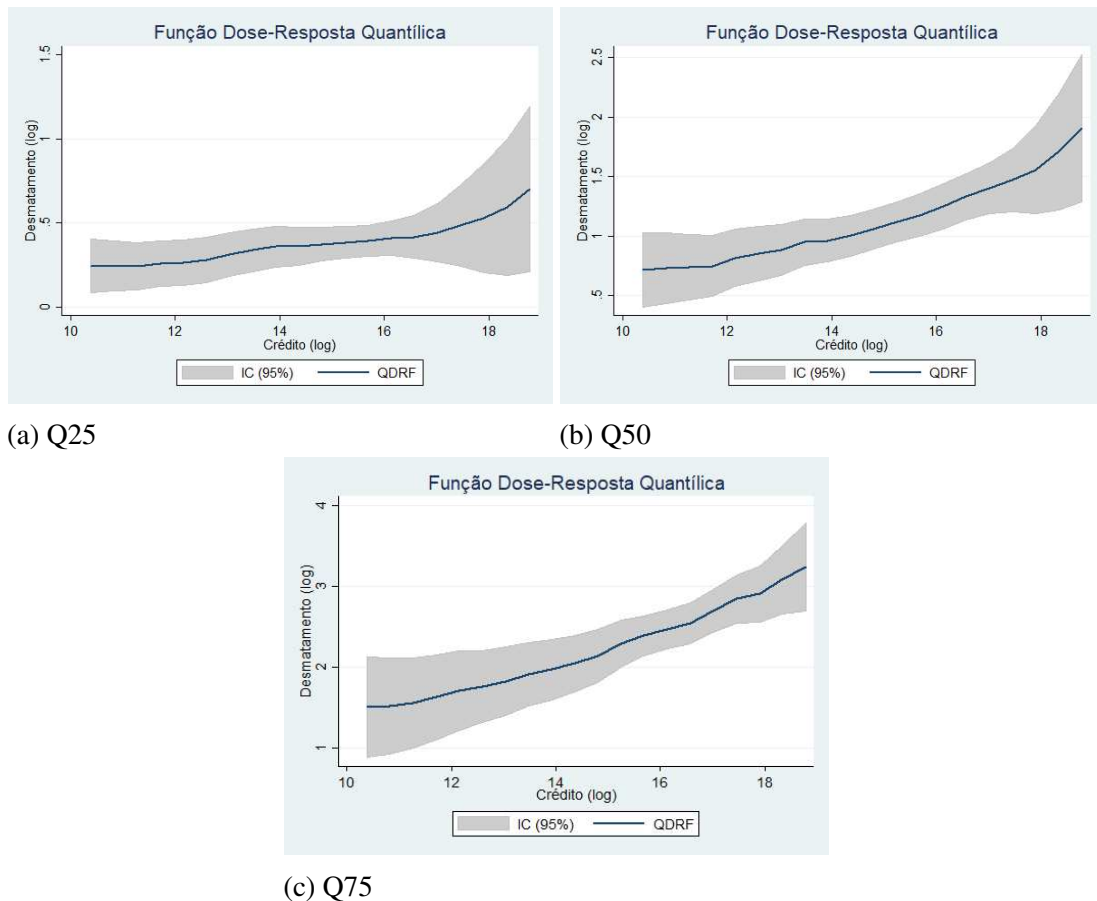


Figura 10 – Função dose-resposta quantílica – 2008

Observa-se na Figura 10 que, em 2008, a relação entre crédito e desmatamento apresenta comportamento crescente ao longo da distribuição do tratamento, especialmente nos quantis mais elevados. No quantil 25, os efeitos são relativamente modestos e a incerteza, refletida pela amplitude dos intervalos de confiança, é maior, sobretudo em níveis baixos de crédito. Desta forma, há pouca evidência do efeito do crédito nos níveis baixos de desmatamento. Já nos quantis 50 e 75, a função dose-resposta apresenta inclinação positiva mais pronunciada, indicando que municípios com maior nível de desmatamento respondem de forma mais intensa ao crédito. Isso sugere evidências robustas de que o crédito aumenta o desmatamento em municípios com níveis mais elevados de desmatamento.

Para o ano de 2014, na Figura 11, observa-se que o intervalo de confiança (IC) associado às estimativas da função varia em função dos quantis e dos níveis de tratamento. Em particular, estes são substancialmente mais amplos nos quantis Q25 e Q50, indicando menor precisão das estimativas nessas regiões da distribuição. Desta forma, deve-se ter cautela na interpretação dos resultados da função dose-resposta do quantil 50, que indica um efeito positivo entre crédito e desmatamento. Por outro lado, o quantil Q75 apresenta um intervalo mais estreito,

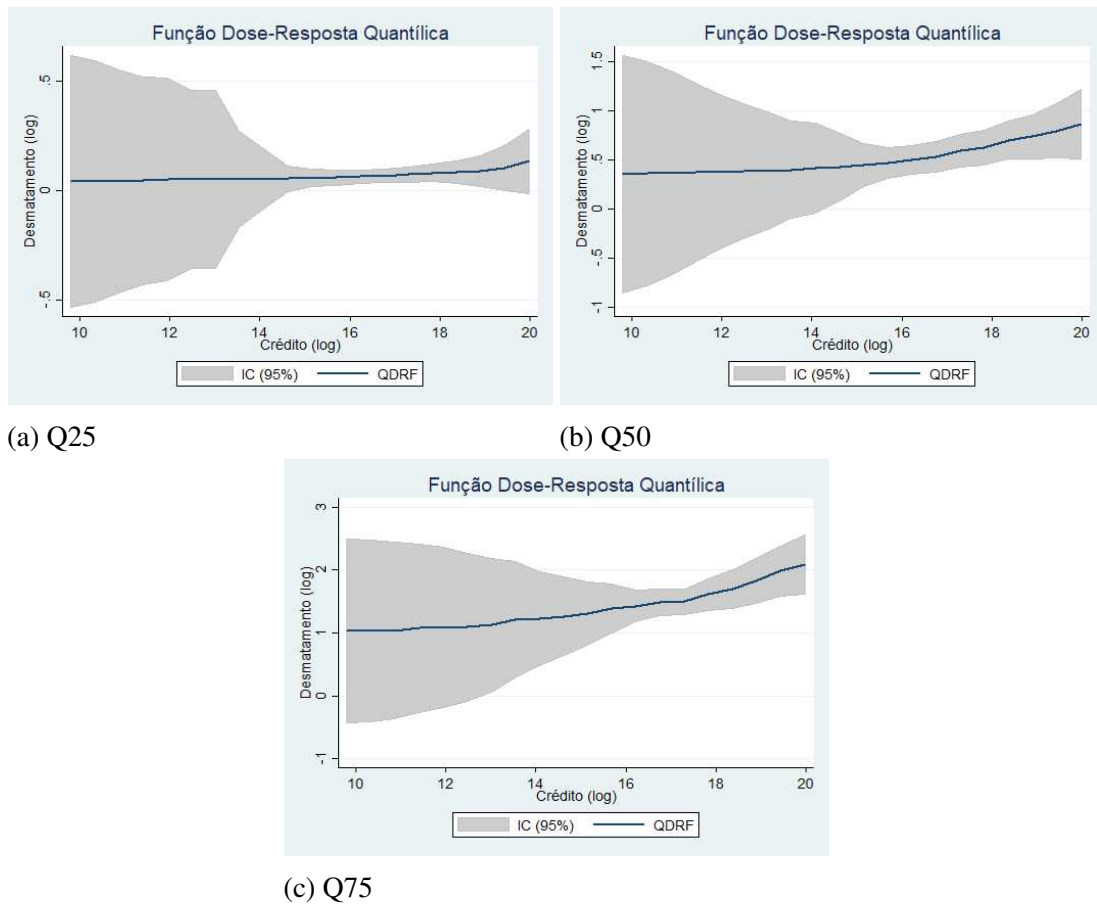
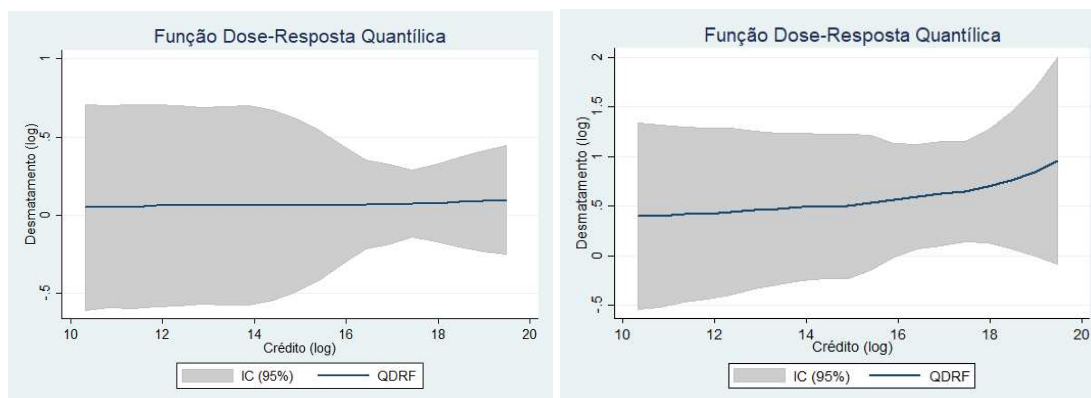


Figura 11 – Função dose-resposta quantílica – 2014

sugerindo maior robustez dos resultados e evidências de efeito sobre o desmatamento, em que a inclinação se torna mais acentuada à medida que aumenta a intensidade do crédito.

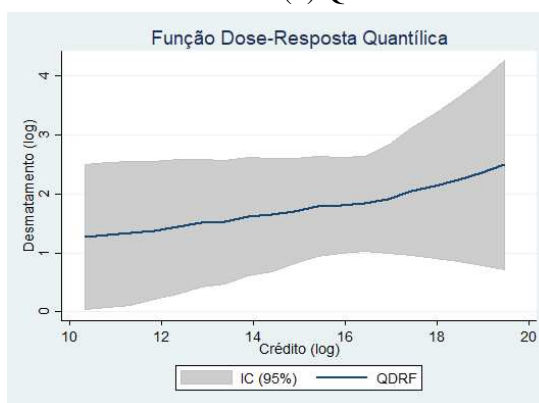
Em 2019, Figura 12, a relação entre crédito e desmatamento apresenta-se ainda mais pronunciada, especialmente nos quantis superiores. Verifica-se um aumento da inclinação da curva nos quantis 50 e 75 em comparação com os anos anteriores, indicando que o efeito marginal do crédito sobre o desmatamento tornou-se mais intenso. Esse padrão sugere que, em contextos mais recentes, o crédito pode estar associado a uma maior capacidade de expansão da fronteira produtiva. Esse resultado pode estar relacionado ao contexto político-institucional do período, caracterizado por mudanças na governança ambiental, incluindo o Decreto nº 9.760/2019, que introduziu alterações nos mecanismos de fiscalização e de sanção ambiental, o que potencialmente reduziu o custo esperado do desmatamento ilegal.

Além dos padrões discutidos, é importante destacar que os efeitos estimados não são estatisticamente significativos em determinados trechos da distribuição do tratamento. Em particular, observa-se ausência de significância estatística nos quantis inferiores, correspondentes a níveis mais baixos de intensidade de crédito e, simultaneamente, a contextos de menor pressão



(a) Q25

(b) Q50



(c) Q75

Figura 12 – Função dose-resposta quantílica – 2019

antrópica.

Esse resultado sugere que, em municípios com baixa intensidade de uso da terra ou menor inserção em cadeias produtivas agropecuárias, o crédito rural não exerce influência relevante sobre o desmatamento. Nesses contextos, a dinâmica de uso da terra parece ser menos sensível à disponibilidade de financiamento, possivelmente em razão de restrições estruturais, como menor integração aos mercados, limitações tecnológicas ou características biofísicas menos favoráveis à expansão agropecuária.

Por outro lado, a significância estatística dos efeitos tende a se concentrar nos quantis superiores da distribuição, indicando que o impacto do crédito sobre o desmatamento é mais pronunciado em áreas já inseridas em dinâmicas produtivas mais intensivas. Esse padrão reforça a heterogeneidade dos efeitos do crédito rural, evidenciando que sua influência depende do contexto econômico e produtivo local.

Os resultados da função dose-resposta quantílica reforçam e aprofundam os achados da análise média ao evidenciar que o efeito do crédito rural sobre o desmatamento não apenas é positivo, mas também heterogêneo ao longo da distribuição dos resultados. Esse padrão é

consistente com a literatura que associa a expansão do crédito à intensificação da fronteira agrícola (Sant’Anna *et al.*, 2025; Sampaio *et al.*, 2026), mas avança ao mostrar que esse efeito é significativamente mais intenso entre municípios com maior nível de desmatamento.

Enquanto estudos anteriores concentram-se predominantemente em efeitos médios, os resultados aqui obtidos indicam que o crédito atua de forma diferenciada ao longo da distribuição, ampliando especialmente o desmatamento nos quantis superiores. Esse achado sugere que os impactos do crédito não são uniformes e são mais relevantes em contextos em que a pressão sobre o uso da terra já é elevada. Dessa forma, a abordagem quantílica contribui para uma compreensão mais completa dos mecanismos econômicos subjacentes, evidenciando que políticas de crédito podem gerar efeitos desproporcionais entre diferentes perfis de produtores e níveis de uso da terra.

5.4.5 *Teste de Robustez*

No contexto de tratamentos contínuos, como o analisado neste estudo, os testes de robustez são particularmente relevantes, uma vez que a identificação do resultado depende fortemente das hipóteses de ignorabilidade e da especificação correta do modelo do tratamento. Nesse sentido, a literatura destaca que o uso de diferentes estimadores e estratégias de diagnóstico permite avaliar a sensibilidade dos resultados e a consistência das estimativas obtidas (Galagate e Schafer, 2022).

Neste estudo, a verificação de robustez foi conduzida por meio da comparação entre diferentes estimadores da função dose-resposta, interpretada como um teste de placebo indireto. Especificamente, foram comparados o estimador paramétrico de Hirano e Imbens (2004) e o estimador semiparamétrico baseado em *splines* de Bia *et al.* (2014), sendo esta a especificação principal.

A lógica desse procedimento fundamenta-se no pressuposto de que, sob correta especificação e ausência de viés, os diferentes métodos devem produzir resultados consistentes entre si. Nesse sentido, os estimadores de Hirano e Imbens (2004) podem ser interpretados como testes de placebo indiretos, na medida em que permitem avaliar se os padrões estimados são robustos a diferentes formas de modelar a relação entre tratamento e resultado. Caso os resultados sejam semelhantes entre os métodos, isso sugere que as estimativas não são artefatos de uma especificação particular. Por outro lado, divergências relevantes podem indicar sensibilidade à escolha do modelo ou um possível viés residual.

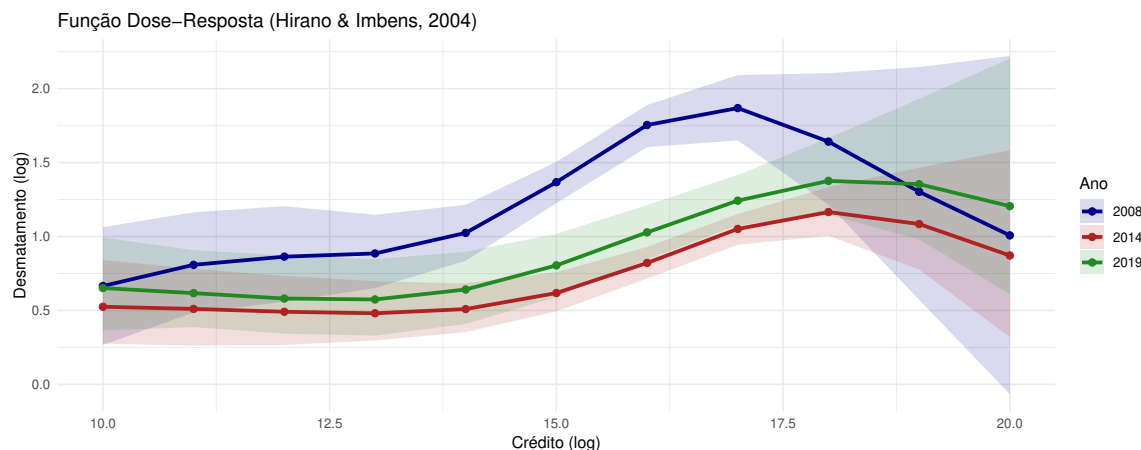


Figura 13 – Função Dose-Resposta de Hirano e Imbens (2004)

Os resultados da Figura 13 denota uma relação positiva e não linear entre a intensidade do crédito e o desmatamento, com padrões distintos ao longo do tempo. Em 2008, observa-se um aumento acentuado do desmatamento até níveis intermediários de crédito, seguido de uma reversão para níveis mais elevados, sugerindo possíveis efeitos de saturação ou de restrições institucionais. Em 2014, a relação se mostra mais suave e menos pronunciada, o que indica um possível fortalecimento dos mecanismos de controle ambiental. Já em 2019, a relação positiva se mantém de forma mais persistente ao longo da distribuição do crédito, com menor evidência de reversão, o que pode refletir mudanças no ambiente institucional e regulatório. Esses resultados evidenciam a presença de heterogeneidade temporal.

Apesar do estimador de Hirano e Imbens (2004) apresentar uma relação positiva entre crédito e desmatamento, sua inclinação é menor do que a do modelo semiparamétrico de Bia *et al.* (2014), o que reforça a limitação do estimador na captura de não linearidades. Esses achados são consistentes com a literatura, que indica que estimadores paramétricos podem ser sensíveis à especificação funcional, enquanto métodos baseados em ponderação podem apresentar elevada variabilidade na presença de pesos extremos. Dessa forma, a utilização de múltiplos estimadores permite avaliar a robustez dos resultados e identificar possíveis fragilidades na modelagem (Galagate e Schafer, 2022).

Observa-se na Figura 14 que, para níveis mais baixos de crédito, os diferentes estimadores produzem resultados bastante semelhantes, indicando maior estabilidade das estimativas nessa região do suporte comum. No entanto, à medida que a intensidade do crédito aumenta, surgem diferenças significativas entre os métodos.

Além disso, observa-se que as divergências entre os métodos tornam-se mais pronunciadas nos anos mais recentes, especialmente em 2019, indicando maior sensibilidade à

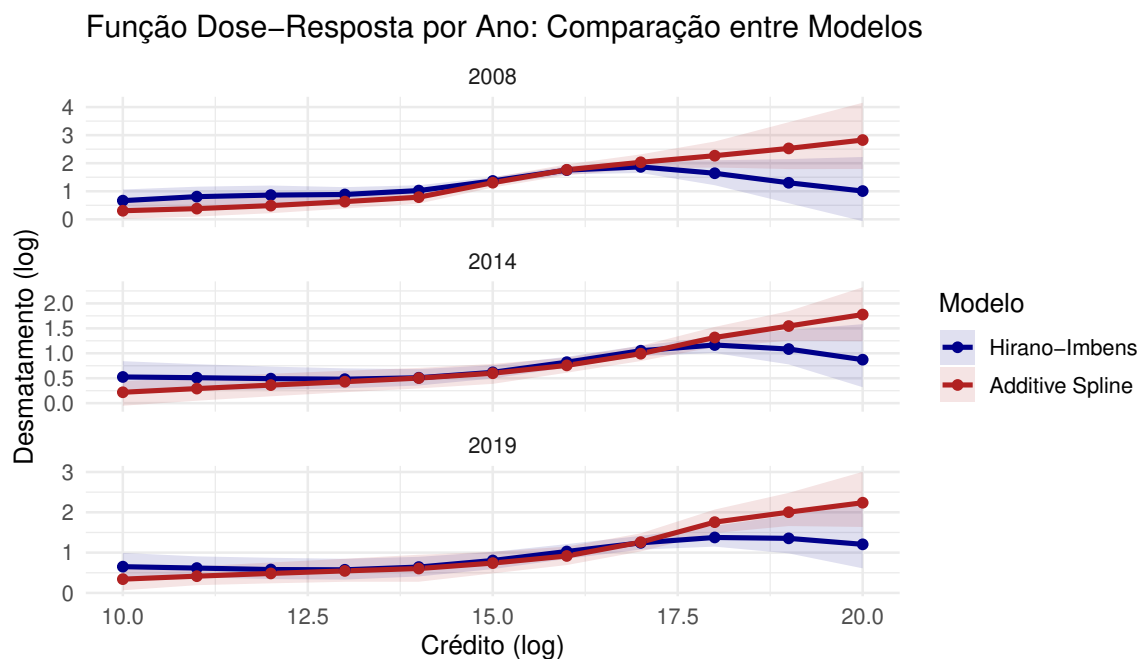


Figura 14 – Análise comparativa da função dose-resposta

especificação do modelo em contextos em que o efeito do crédito é mais intenso. Esse padrão sugere que a escolha metodológica é particularmente relevante nas regiões da distribuição do tratamento em que a extrapolação é maior e os dados são mais escassos.

Dessa forma, a consistência geral do padrão positivo entre crédito e desmatamento, ainda que com diferenças de magnitude entre os métodos, reforça a credibilidade dos resultados principais. Ao mesmo tempo, as divergências observadas evidenciam a importância do uso de abordagens flexíveis, como o modelo de *splines*, para capturar adequadamente a relação entre as variáveis. Essa abordagem é consistente com a literatura sobre modelos de dose-resposta, na qual múltiplos estimadores são utilizados para avaliar a robustez das inferências causais, especialmente em contextos sujeitos à presença de fatores de confusão não observados (Galagate, 2016).

5.4.6 Efeitos heterogêneos

O presente teste possui o objetivo de investigar a heterogeneidade dos efeitos do crédito rural sobre o desmatamento, em uma análise desagregada por tamanho dos imóveis rurais² e classificados em:

- a) **Minifúndio:** imóvel rural com área inferior à Fração Mínima de Parcelamento;

² Ver Lei nº 13.465/2017 (que altera a Lei nº 8.629/1993). O módulo fiscal é uma medida de área (ha) fixada pelo INCRA para cada município. Informação disponível em <<https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/modulo-fiscal>>. Acesso em 19/01/2026.

- b) **Pequena propriedade:** imóvel com área entre a Fração Mínima de Parcelamento e quatro módulos fiscais;
- c) **Média propriedade:** imóvel rural com área superior a quatro e até quinze módulos fiscais;
- d) **Grande propriedade:** imóvel rural com área superior a quinze módulos fiscais.

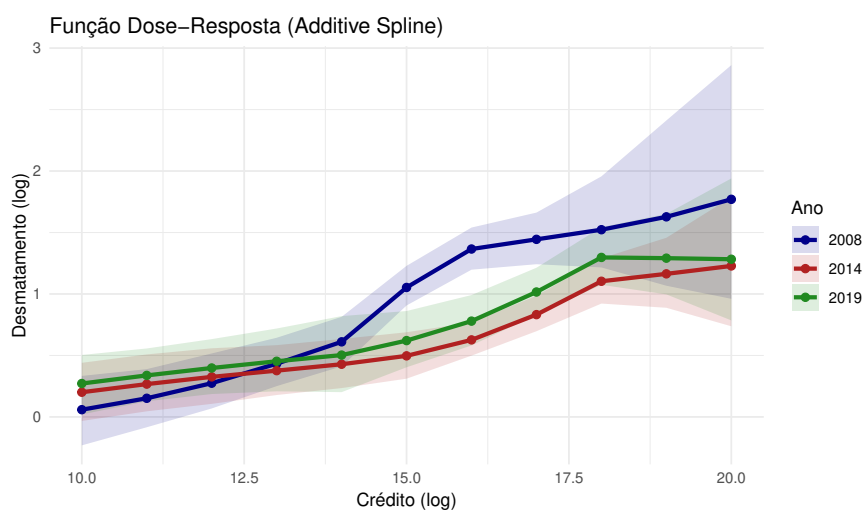
Para tanto, tais imóveis rurais foram reagrupados em três grupos distintos, dos quais se consideraram, para o primeiro, os imóveis classificados como minifúndio ou de pequeno porte. Tal escolha justifica-se pelo fato de essas unidades produtivas, em geral, enfrentarem maiores restrições de capital, menor acesso a tecnologias produtivas e maior dependência do crédito como instrumento de viabilização da atividade econômica.

Os resultados indicam que, para esses imóveis, como minifúndios e imóveis de pequeno porte, a relação entre crédito e desmatamento é positiva, porém marcada por heterogeneidade ao longo da distribuição do tratamento. Em níveis mais baixos de crédito, os efeitos estimados são relativamente modestos, sugerindo que os recursos financeiros são predominantemente utilizados para a manutenção das atividades produtivas existentes. Contudo, à medida que a intensidade do crédito aumenta, observa-se uma ampliação mais acentuada do desmatamento, indicando que o acesso a volumes mais elevados de financiamento pode viabilizar a expansão da fronteira produtiva, inclusive por meio da conversão de áreas florestais.

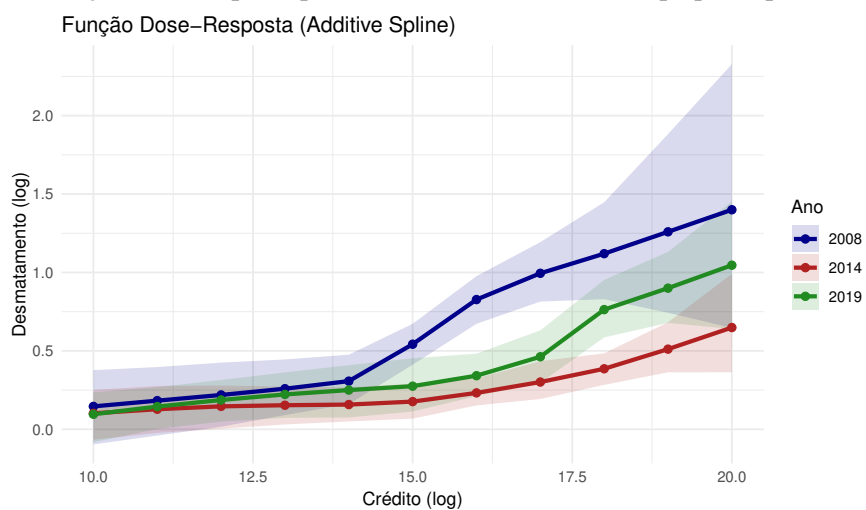
Esse comportamento é consistente com a literatura, que aponta que pequenos produtores enfrentam restrições iniciais que limitam sua capacidade de expansão, mas que, uma vez relaxadas por meio do crédito, podem intensificar o uso da terra. Ademais, a maior sensibilidade do desmatamento em níveis elevados de crédito sugere a presença de não linearidades na função dose-resposta, reforçando a adequação do uso de estimadores semiparamétricos.

Para o segundo grupo, consideraram-se aqueles imóveis classificados como médio porte. Para estes, a relação entre crédito e desmatamento também se mantém positiva, porém com uma dinâmica distinta. Observa-se que os efeitos do crédito são mais pronunciados mesmo em níveis iniciais de financiamento, sugerindo maior capacidade desses produtores de converter recursos em expansão produtiva. Ao longo da distribuição do tratamento, a função dose-resposta apresenta crescimento mais contínuo e menos acentuadamente não linear em comparação com o grupo de menor porte. Esse padrão indica que, para imóveis de médio porte, o crédito atua predominantemente como mecanismo de intensificação produtiva.

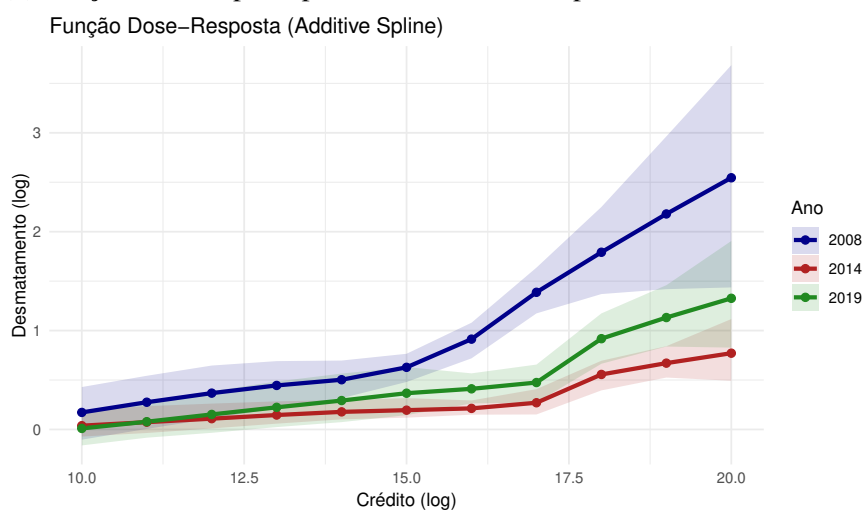
Por fim, analisou-se o terceiro grupo, classificado como imóveis de grande porte. Os resultados indicam que, embora a relação entre crédito e desmatamento permaneça positiva,



(a) Função dose-resposta para minifúndios e imóveis de pequeno porte.



(b) Função dose-resposta para imóveis de médio porte.



(c) Função dose-resposta para imóveis de grande porte.

Figura 15 – Função dose-resposta por porte

sua intensidade marginal é menor em comparação aos demais grupos. Em níveis mais baixos de crédito, o desmatamento já se encontra em patamares relativamente elevados, sugerindo que esses produtores operam próximos de sua fronteira produtiva.

À medida que o crédito aumenta, a função dose-resposta apresenta crescimento mais suave, com indícios de estabilização em níveis mais elevados do tratamento, o que sugere a presença de retornos marginais decrescentes do crédito sobre o desmatamento. Esse comportamento indica que, para grandes produtores, o crédito desempenha um papel mais limitado na expansão adicional do uso da terra.

Em síntese, os resultados evidenciam que o efeito do crédito sobre o desmatamento é fortemente heterogêneo em função do tamanho dos imóveis. Enquanto para pequenos produtores o crédito atua como mecanismo de expansão, para médios produtores funciona como fator de intensificação produtiva e, para grandes produtores, seus efeitos marginais tendem a ser mais limitados. Esses resultados evidenciam que o efeito do crédito sobre o desmatamento varia de forma sistemática em função do tamanho dos imóveis, indicando diferentes mecanismos econômicos ao longo da estrutura produtiva.

Esses resultados dialogam com a literatura que enfatiza a importância das restrições de crédito e da escala produtiva na dinâmica do uso da terra. De acordo com Arruda *et al.* (2025), após 2016, a taxa de desmatamento aumentou de forma mais expressiva em imóveis de grande porte do que em imóveis de pequeno porte. Adicionalmente, estudos indicam que pequenos produtores tendem a enfrentar maiores limitações de capital, o que restringe sua capacidade de expansão, enquanto produtores de maior escala têm maior acesso a tecnologias e mercados, o que altera a forma como o crédito influencia suas decisões produtivas (Faria *et al.*, 2025a). Nesse sentido, os resultados deste estudo avançam ao evidenciar que o impacto do crédito não apenas varia em intensidade, mas também conforme o perfil da estrutura produtiva, reforçando a importância de abordagens desagregadas na análise de políticas públicas.

5.5 Considerações Finais

Este estudo investigou o efeito da intensidade do crédito rural sobre o desmatamento proveniente de imóveis rurais no bioma Amazônia, adotando uma abordagem de tratamento contínuo baseada no Escore de Propensão Generalizado (GPS), combinada com estimadores semiparamétricos propostos por Bia *et al.* (2014). Ao deslocar a análise para o nível dos imóveis rurais, o trabalho contribui para a literatura ao aproximar a investigação empírica da unidade de

decisão que é o agente econômico.

Os resultados evidenciam que a relação entre crédito e desmatamento é positiva, não linear e heterogênea ao longo da distribuição dos resultados. De forma consistente entre os anos analisados (2008, 2014 e 2019, observa-se que níveis mais elevados de crédito estão associados a níveis mais elevados de desmatamento, com esse efeito mais pronunciado nos quantis superiores da distribuição. Esse padrão indica que municípios com maior intensidade de desmatamento respondem de forma mais sensível à expansão do crédito. Em contraste, para os quantis inferiores, não se identifica evidência estatisticamente robusta de efeito da intensidade do crédito, sugerindo que, em contextos de baixo desmatamento, a dinâmica do uso da terra é relativamente independente do volume de financiamento. Esses achados reforçam a existência de heterogeneidade estrutural, indicando que os efeitos do crédito dependem do estágio de pressão sobre o uso da terra.

Adicionalmente, os resultados indicam que o efeito do crédito varia ao longo do tempo e é condicionado pelo ambiente institucional. Em contextos de maior *enforcement* ambiental, como no período imediatamente posterior à implementação da Resolução nº 3.545/2008 e à consolidação do Cadastro Ambiental Rural, a relação entre crédito e desmatamento mostra-se mais moderada. Por outro lado, em períodos mais recentes, caracterizados por alterações na governança ambiental, observa-se a intensificação dessa relação, o que sugere uma redução do papel disciplinador das políticas ambientais.

Em conjunto, os achados indicam que o crédito rural atua não como um fator inicial de desmatamento, mas como um amplificador de dinâmicas já existentes, intensificando a conversão de áreas em contextos onde a pressão sobre a vegetação nativa é mais elevada. Do ponto de vista das políticas públicas, esses resultados indicam que o desenho de instrumentos econômicos deve considerar explicitamente os potenciais efeitos indiretos sobre o uso da terra. Em particular, a evidência de uma relação positiva e não linear entre crédito rural e desmatamento sugere que, na ausência de condicionantes adequados, o crédito pode reforçar os incentivos à expansão da fronteira agropecuária.

Nesse sentido, os achados apontam para a necessidade de aperfeiçoamento dos mecanismos de governança do crédito rural, com destaque para o fortalecimento de critérios socioambientais na concessão de financiamento. Instrumentos que condicionam o acesso ao crédito à regularidade ambiental, como os estabelecidos pelo Banco Central do Brasil, mostram-se particularmente relevantes, pois influenciam diretamente as decisões dos agentes econômicos.

Além disso, a heterogeneidade dos efeitos ao longo da distribuição do desmatamento sugere que políticas uniformes podem ser insuficientes. Estratégias diferenciadas, focalizadas em áreas com maior intensidade de desmatamento, tendem a ser mais eficazes, dado que é nesses contextos que o impacto marginal do crédito se mostra mais elevado.

Nesse contexto, os resultados reforçam a importância da articulação entre instrumentos de comando e controle e mecanismos econômicos, indicando que políticas ambientais eficazes devem combinar restrições regulatórias, monitoramento e incentivos econômicos alinhados à conservação. Essa coordenação é essencial para mitigar efeitos adversos associados à expansão do crédito rural e para promover um padrão de desenvolvimento compatível com a conservação ambiental.

Por fim, ressalta-se que, embora a estratégia empírica adotada busque mitigar problemas de viés de seleção por meio do GPS e de técnicas de reponderação, a interpretação causal dos resultados depende da validade da hipótese de ignorabilidade condicional às covariáveis observáveis. Nesse sentido, futuras pesquisas podem avançar ao incorporar dimensões espaciais, explorar fontes adicionais de variação exógena e aprofundar a análise dos mecanismos microeconômicos associados à decisão de uso da terra. Em termos de contribuição, o estudo avança ao tratar o crédito como uma variável contínua e ao explorar a heterogeneidade dos efeitos ao longo da distribuição do desmatamento, complementando evidências baseadas em efeitos médios e contribuindo para uma compreensão mais detalhada dos mecanismos pelos quais o crédito influencia a dinâmica do desmatamento.

6 CONCLUSÕES GERAIS

Esta tese teve como objetivo investigar a dinâmica do desmatamento no bioma Amazônia a partir de duas dimensões centrais da política pública: os instrumentos de comando e controle e os instrumentos econômicos, com ênfase no papel do crédito rural. Ao deslocar a análise para o nível dos imóveis rurais, unidade efetiva de decisão sobre o uso da terra, o trabalho buscou avançar na compreensão dos mecanismos microeconômicos que condicionam o desmatamento, contribuindo para uma literatura predominantemente baseada em dados agregados.

Os resultados obtidos ao longo dos dois capítulos revelam evidências consistentes de que diferentes instrumentos de política pública atuam de forma distinta na dinâmica do desmatamento. No Capítulo 1, a análise do impacto da inclusão de municípios na Lista de Municípios Prioritários (LMP), por meio do método de Controle Sintético Generalizado, indica que as políticas de comando e controle são eficazes na redução do desmatamento associado a imóveis rurais. Os efeitos estimados não apenas se consolidam ao longo do tempo, como também apresentam heterogeneidade espacial relevante, sugerindo que a efetividade dessas políticas depende das capacidades institucionais locais e das condições específicas de implementação.

Por outro lado, os resultados do Capítulo 2, baseados em uma abordagem de tratamento contínuo, com o uso do Escore de Propensão Generalizado e de estimadores semi-paramétricos, evidenciam que o crédito rural exerce um efeito positivo e não linear sobre o desmatamento. Em particular, observa-se que níveis mais elevados de crédito estão associados a aumentos mais intensos no desmatamento, com efeitos concentrados nos quantis superiores da distribuição, indicando que áreas com maior pressão antrópica respondem de forma mais sensível à expansão do financiamento do agronegócio.

Tomados em conjunto, esses achados apontam para uma contribuição central desta tese: o desmatamento não pode ser compreendido de forma isolada por meio de um único instrumento de política pública, pois resulta da interação entre incentivos econômicos e restrições institucionais. Enquanto as políticas de comando e controle atuam para restringir comportamentos ambientalmente prejudiciais, instrumentos econômicos, como o crédito rural, podem, na ausência de condicionantes adequados, reforçar os incentivos à expansão da fronteira agrícola. Dessa forma, a efetividade da política ambiental depende, fundamentalmente, da articulação entre esses instrumentos.

Essa evidência reforça a importância de abordagens integradas no desenho de po-

líticas públicas. Em particular, os resultados sugerem que a combinação entre mecanismos de monitoramento, fiscalização e sanções, como os associados à LMP, e instrumentos econômicos condicionados à conformidade ambiental, como o crédito rural, constitui um caminho promissor para alinhar incentivos privados aos objetivos de conservação. A ausência dessa coordenação pode gerar inconsistências no sistema de incentivos, reduzindo a efetividade das políticas e, potencialmente, ampliando as pressões sobre a cobertura florestal.

Além disso, a identificação de heterogeneidades espaciais e distributivas nos efeitos estimados evidencia que políticas uniformes podem produzir resultados desiguais, reforçando a necessidade de estratégias territorialmente diferenciadas. A efetividade das intervenções públicas depende não apenas de seu desenho formal, mas também da capacidade institucional de implementação, monitoramento e *enforcement* em diferentes contextos locais.

Do ponto de vista metodológico, esta tese contribui ao combinar dados geoespaciais de alta resolução com estratégias empíricas robustas, capazes de lidar com desafios como a adoção escalonada de políticas e o tratamento contínuo. Ao utilizar dados de imóveis rurais, o trabalho aproxima a análise empírica da unidade efetiva de decisão dos agentes econômicos, reduzindo problemas de agregação e oferecendo evidências mais precisas sobre os determinantes do desmatamento.

Por fim, os resultados desta tese têm implicações relevantes para o desenho de políticas públicas no contexto amazônico. Em um cenário de crescente pressão sobre os recursos naturais e de necessidade de conciliar produção e conservação, torna-se fundamental estruturar políticas que não apenas restrinjam o desmatamento, mas também reorientem os incentivos econômicos que o sustentam. Nesse sentido, o alinhamento entre instrumentos regulatórios e econômicos emerge como elemento-chave para a construção de uma estratégia eficaz e sustentável de combate ao desmatamento.

REFERÊNCIAS

- ALEJO, J.; GALVAO, A. F.; MONTES-ROJAS, G. Quantile continuous treatment effects. **Econometrics and Statistics**, v. 8, p. 13–36, 2018.
- ALMEIDA, C. M.-S. d. **Land Use Impacts of the Erasure of Protected Areas in the Brazilian Amazon**. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Economia)) — Fundação Getulio Vargas (FGV EPGE), Rio de Janeiro, 2025. Orientador: Francisco Junqueira Moreira da Costa.
- ANDRADE, L. **Blacklisting municipalities to curb deforestation: evidence from the Brazilian Amazon**. Dissertação (Mestrado em Economia) — Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brazil, 2016.
- ARIMA, E. Y.; BARRETO, P.; ARAUJO, E.; SOARES-FILHO, B. Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from brazil. **Land Use Policy**, v. 41, p. 465–473, 2014.
- ARRUDA, V.; COSTA, E. M.; KHAN, A. S.; IRFFI, G.; RIBEIRO, L. L.; JUNIOR, F. R. P. N. Assessment of the impact of the rural environmental registry on deforestation reduction and environmental compliance in the brazilian central-west. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 21, n. 2, p. 705–730, 2025. ISSN 1809-239X.
- ASSIS, T.; CHEIN, F.; BASTOS, S. Q. d. A.; FRAGA, R. Deforestation effects of the rural environmental registry (car) in strictly protected areas. **Anais do ANPEC**, 2025. Trabalho apresentado no Encontro da ANPEC.
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. **Does Credit Affect Deforestation? Evidence from a Rural Credit Policy in the Brazilian Amazon**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. Deforestation slowdown in the brazilian amazon: prices or policies? **Environment and Development Economics**, v. 20, n. 6, p. 697–722, 2015.
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. Deter-ing deforestation in the amazon: Environmental monitoring and law enforcement. **Miscellaneous**, v. 15, n. 2, p. 125–56, 2023.
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R.; ROCHA, R. The effect of rural credit on deforestation: Evidence from the brazilian amazon. **The Economic Journal**, v. 130, n. 626, p. 290–330, 2019.
- ASSUNÇÃO, J.; MCMILLAN, R.; MURPHY, J.; SOUZA-RODRIGUES, E. Optimal environmental targeting in the amazon rainforest. **The Review of Economic Studies**, v. 90, n. 4, p. 1608–1641, 2023.
- ASSUNÇÃO, J.; ROCHA, R. Getting greener by going black: The effect of blacklisting municipalities on Amazon deforestation. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 93, p. 118–134, 2019.
- AUSTIN, P. C. An introduction to propensity score methods for reducing the effects of confounding in observational studies. **Multivariate Behavioral Research**, v. 46, n. 3, p. 399–424, 2011.

BACEN. **Banco Central do Brasil. Resolução nº 5.268, de 18 de dezembro de 2025.** 2025. <<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/exibenormativo?tipo=Resoluçãã%20CMN&numero=5268>>. Altera normas da Seção 9 (Impedimentos Sociais, Ambientais e Climáticos) do Manual de Crédito Rural (MCR). Acesso em: 20 abr. 2026.

BACEN, Banco Central do Brasil. **Resolução nº 3.545, de 29 de fevereiro de 2008.** 2008. <https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/2008/pdf/res_3545_v1_O.pdf>. Altera o MCR 2-1 para estabelecer exigência de regularidade ambiental e outras condicionantes para concessão de crédito rural no Bioma Amazônia.

BENEVIT, B.; TRINDADE, C. S. d.; JÚNIOR, R. B. d. M.; UHR, D. d. A. P.; UHR, J. G. Z. Análise do impacto das políticas de combate ao desmatamento na amazônia legal brasileira. **Sinergia**, v. 27, n. 2, p. 89–104, 2023.

BIA, M.; FLORES, C. A.; FLORES-LAGUNES, A.; MATTEI, A. A stata package for the application of semiparametric estimators of dose–response functions. **The Stata Journal**, v. 14, n. 3, p. 580–604, 2014.

BNDES. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Programa Municípios Verdes.** 2025. <<https://www.fundoamazonia.gov.br/pt/projeto/Programa-Municipios-Verdes/>>. Projeto do Fundo Amazônia. Acesso em: 25 jun. 2025.

BORGES, M. J.; PARRÉ, J. L. O impacto do crédito rural no produto agropecuário brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, n. 2, 2022.

BRASIL. **Lei nº 4.829, de 5 de novembro de 1965.** 1965. <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-4829-5-novembro-1965-368469-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Institucionaliza o crédito rural.

BRASIL. **Decreto nº 6.321, de 21 de dezembro de 2007.** 2007. <https://www.planalto.gov.br/ccivil03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6321.htm>. Dispõe sobre ações voltadas à prevenção, monitoramento e controle do desmatamento na Amazônia Legal. Acesso em: 28 maio 2025.

BRASIL. **Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012.** 2012. <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/decreto/d7830.htm>. Dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural - SICAR, o Cadastro Ambiental Rural - CAR, e estabelece normas de caráter geral aos Programas de Regularização Ambiental - PRA, de que trata a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, e dá outras providências. Acesso em: 28 maio 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** 2012. <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Acesso em: 28 maio 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012.** 2012. <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm>. Altera a Lei nº 12.651/2012 (Código Florestal).

BRASIL. **Decreto nº 8.235, de 5 de maio de 2014.** Brasília, DF: [s.n.], 2014. <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/decreto/d8235.htm>. Dispõe sobre os Programas de Regularização Ambiental (PRA). Acesso em: 28 maio 2025.

BRASIL. **Decreto nº 9.760, de 11 de abril de 2019.** 2019. <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9760.htm>. Altera o Decreto nº 6.514/2008, que dispõe sobre infrações e sanções administrativas ao meio ambiente. Acesso em: 07 abr. 2026.

BRASIL. **Decreto nº 11.687, de 26 de setembro de 2023**. 2023. <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Decreto/D11687.htm>. Institui o Programa União com Municípios pela Redução do Desmatamento e Incêndios Florestais na Amazônia. Acesso em: 28 maio 2025.

BUUREN, S. van; GROOTHUIS-OUDSHOORN, K. mice: Multivariate imputation by chained equations in r. **Journal of Statistical Software**, v. 45, n. 3, 2011.

CATTANEO, M. D. Efficient semiparametric estimation of multi-valued treatment effects under ignorability. **Journal of Econometrics**, v. 155, n. 2, p. 138–154, 2010.

CHAGAS, A. L. S.; ANDRADE, L. Spatial difference-in-differences and event study: identification and application to the case of priority list of municipalities in the brazilian amazon. Working paper. 2024.

CISNEROS, E.; ZHOU, S. L.; Börner, J. Naming and shaming for conservation: evidence from the brazilian amazon. **Plos One**, v. 10, p. e0136402, 2015.

COELHO, L. J. d. M. **Introdução ao Crédito Agroambiental no Brasil: Sua Influência sobre o Desmatamento no Bioma Amazônia**. Dourados, MS, 2021.

COMBES, J.-L.; DELACOTE, P.; MOTEL, P. C.; YOGO, T. U. Public spending, credit and natural capital: Does access to capital foster deforestation? **Economic Modelling**, v. 73, p. 92–103, 2018.

Conservação Internacional, Good Growth Partnership. **Crédito rural: gestão de riscos e oportunidades de financiamento para a produção sustentável**. Brasília, DF: [s.n.], 2021. <arquivoPDF>. Cartilha da série Perspectivas de Gênero para uma Produção Sustentável no MATOPIBA.

FARIA, W. R.; SILVA, F. M. d.; ALMEIDA, A. N. d.; JUNIOR, A. A. B. The relationship between rural credit policy and deforestation: evidence from brazil. **Environmental Economics and Policy Studies**, v. 27, p. 231–263, 2025.

FARIA, W. R.; SILVA, F. M. d.; ALMEIDA, A. N. d.; JUNIOR, A. A. B. The relationship between rural credit policy and deforestation: evidence from brazil. **Environmental Economics and Policy Studies**, Springer, v. 27, p. 231–263, 2025.

FERNANDES, P. G. A.; PARRÉ, J. L. The influence of rural credit on the conservation of the amazon biome. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 20, n. 1, p. 56–78, 2026.

FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B. Desmatamento recente nos estados da amazônia legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 1, p. 93–108, 2015.

FERRETTI-GALLON, K.; BUSCH, J. **What Drives Deforestation and What Stops It? A Meta-Analysis of Spatially Explicit Econometric Studies**. [S.l.], 2014.

FIRPO, S. Efficient semiparametric estimation of quantile treatment effects. **Econometrica**, v. 75, n. 1, p. 259–276, 2007.

FRANÇA, F. A. **Desmatamento na Amazônia Legal: análise dos impactos da concessão de crédito rural**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

GALAGATE, D. **Causal Inference with a Continuous Treatment and Outcome: Alternative Estimators for Parametric Dose-Response Functions with Applications**. Tese (Doutorado) — University of Maryland, College Park, 2016.

GALAGATE, D.; SCHAFER, J. L. Estimating average dose response functions using the r package *causaldrf*. 2022. Working paper / package documentation. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/causaldrf/index.html>>.

GALVAO, A. F.; WANG, L. Uniformly valid inference for quantile treatment effects with continuous treatment. **Journal of Econometrics**, v. 188, n. 2, p. 316–327, 2015.

GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A.; AMARAL, P.; PINTO, A.; DEMACHKI, A. **Municípios verdes: caminhos para a sustentabilidade**. 2. ed. Belém: Imazon, 2013. ISBN 978-85-86212-55-0.

GUSSON EDUARDO; CUNHA, G. C. d. L. A. U. K. P. P. M. C. M. A. **Quanto o Brasil precisa investir para recuperar 12 milhões de hectares de floresta?** São Paulo: [s.n.], 2016.

HÄNGGLI, A.; LEVY, S. A.; ARMENTERAS, D.; BOVOLO, C. I.; BRANDÃO, J.; RUEDA, X.; GARRETT, R. D. A systematic comparison of deforestation drivers and policy effectiveness across the amazon biome. **Environmental Research Letters**, v. 18, n. 7, p. 073001, 2023.

HARGRAVE, J.; KIS-KATOS, K. Economic causes of deforestation in the brazilian amazon: A panel data analysis for the 2000s. **Environmental and Resource Economics**, Springer, v. 54, n. 4, p. 471–494, 2013.

HEILMAYR, R.; RAUSCH, L. L.; MUNGER, J.; GIBBS, H. K. Brazil's amazon soy moratorium reduced deforestation. **Nature Food**, v. 1, n. 12, p. 801–810, 2020.

HIRANO, K.; IMBENS, G. W. The propensity score with continuous treatments. In: GELMAN, A.; MENG, X.-L. (Ed.). **Applied Bayesian Modeling and Causal Inference from Incomplete-Data Perspectives**. Chichester: John Wiley & Sons, 2004. p. 73–84.

HUQUE, M. H.; CARLIN, J. B.; SIMPSON, J. A.; LEE, K. J. A comparison of multiple imputation methods for missing data in longitudinal studies. **BMC Medical Research Methodology**, v. 18, n. 168, 2018.

IBF. **Instituto Brasileiro de Florestas. Bioma Amazônico**. s.d. <<https://www.ibflorestas.org.br/bioma-amazonico>>. Acesso em: 4 set. 2025.

IBGE. **Mapa da Amazônia Legal**. 2021. <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/28089-ibge-atualiza-mapa-da-amazonia-legal>>. Agência de Notícias do IBGE. Acesso em: 31 jul. 2025.

IMBENS, G. W.; RUBIN, D. B. **Causal Inference for Statistics, Social, and Biomedical Sciences**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2015.

JUNAID, K.; KIRAN, T.; GUPTA, M.; KISHORE, K.; SIWATCH, S. How much missing data is too much to impute for longitudinal health indicators? a preliminary guideline for the choice of the extent of missing proportion to impute with multiple imputation by chained equations. **Population Health Metrics**, v. 23, n. 1, p. 2, 2025.

KHAN, A. S.; SILVA, L. C. A influência dos principais determinantes e da governança sobre o desmatamento na amazônia legal brasileira. **Desenvolvimento em Debate**, v. 11, n. 1, p. 193–217, 2023.

KOCH, N.; ERMGASSEN, E. K. H. J. zu; WEHKAMP, J.; FILHO, F. J. B. O.; SCHWERHOFF, G. Agricultural productivity and forest conservation: Evidence from the brazilian amazon. **American Journal of Agricultural Economics**, Oxford University Press, v. 101, n. 3, p. 919–940, 2019. Open Access.

KOENKER, R.; BASSETT, G. Regression quantiles. **Econometrica**, v. 46, n. 1, p. 33–50, 1978.

LAUDARES, S. S. d. A.; SILVA, K. G. d.; BORGES, L. A. C. Cadastro ambiental rural: uma análise da nova ferramenta para regularização ambiental no brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, ago. 2014. UFPR, Sistema Eletrônico de Revistas. Disponível em: <<https://doi.org/10.5380/dma.v31i0.33743>>.

LOPES, D.; LOWERY, S. **Crédito Rural no Brasil: desafios e oportunidades para a promoção da agropecuária sustentável**. 2015.

LOPES, D.; LOWERY, S.; PEROBA, T. L. C. Crédito rural no brasil: desafios e oportunidades para a promoção da agropecuária sustentável. **Revista do BNDES**, n. 45, 2016.

MAPA. **Ministério da Agricultura e Pecuária. Cadastro ambiental rural: relatório final de avaliação ex post. Volume 1: diagnóstico, desenho, implementação, governança e orçamento**. Brasília, DF, 2022. Recurso: digital; Formato: PDF; Modo de acesso: World Wide Web.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2021**. [S.l.], 2022. Disponível em: <<http://alerta.mapbiomas.org>>.

MAPBIOMAS. **Destakes do Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra – Bioma Amazônia (1985–2023), Coleção 9**. São Paulo, 2024. Factsheet. Recomendação de citação: Projeto MapBiomas – Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil – Coleção 9. Acesso em: 4 set. 2025.

MAPBIOMAS. **Desmatamento acumulado anual no Brasil**. 2026. <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/deforestation/deforestation_annual_accumulated>. Coleção 10 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acesso em março de 2026.

MARIANO, J. L.; ARRAES, A. A.; SIMONASSI, A. Causas do desmatamento no brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, n. 1, p. 119–140, 2012.

MASSOCA, P. E. d. S.; BRONDÍZIO, E. S. National policies encounter municipal realities: A critical analysis of the outcomes of the list of priority municipalities in curbing deforestation in the brazilian amazon. **World Development**, v. 158, p. 106004, 2022.

MELO, A. K. A. **Avaliação do Impacto da Lista de Municípios Prioritários no Bioma Amazônia sobre Indicadores de Saúde e Produtividade**. Dissertação (Mestrado em Economia) — Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Paraíba, Brazil, 2020.

Moratória da Soja. **O Acordo da Moratória da Soja**. 2025. <<https://moratoriadasoja.com.br/home#the-agreement>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

MORRIS, T. P.; WALKER, A. S.; WILLIAMSON, E. J.; WHITE, I. R. Planning a method for covariate adjustment in individually randomised trials: A practical guide. **Trials**, v. 23, n. 328, 2022.

MOURÃO, J.; STUSSI, M.; SOUZA, P. **Mérito a quem merece: revelando a relação entre subsídios ao crédito rural e o desmatamento**. 2024. Disponível em: <<https://www.climatepolicyinitiative.org>>.

NASCIMENTO, G. S. **Condicionantes do desmatamento na Amazônia Legal Brasileira**. Dissertação (Dissertação de Mestrado em Economia Rural) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

Prefeitura de Paragominas. **Sobre o Município**. 2025. <https://paragominas.pa.gov.br/o-municipio/sobre-o-municipio/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

RASMUSSEN, L. V.; JUNG, S.; BRITES, A. D.; WATKINS, C.; AGRAWAL, A. Understanding smallholders' intended deforestation behavior in the brazilian cerrado following environmental registry. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 9, p. 094001, 2017.

ROSENBAUM, P. R.; RUBIN, D. B. The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. **Biometrika**, v. 70, n. 1, p. 41–55, 1983.

RUBIN, D. B. Assignment to treatment group on the basis of a covariate. **Journal of Educational Statistics**, v. 2, n. 1, p. 1–26, 1977.

RUBIN, D. B. **Multiple Imputation for Nonresponse in Surveys**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1987.

RUGGIERO, P. G. C.; PEREDA, P. C.; PFAFF, A. When does rural credit drive amazon deforestation? in cattle and crops, contexts shift credit's forest impact. **SSRN Electronic Journal**, 2024. Preprint, not peer reviewed. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=5011215>>.

SAMPAIO, A.; COSTA, M. R.; MARIANO, J. L.; IRFFI, G. Impactos do acordo da moratória da soja no desmatamento e produtividade agropecuária: uma análise para o matopiba. Manuscrito. 2026.

SANT'ANNA, A. A.; COSTA, L. d. A. N. d.; ROCHA, R.; YOUNG, C. E. F. Does rural credit enhance a sustainable and intensive agriculture in brazil? **Anais do ANPEC**, 2025. Working paper apresentado no Encontro da ANPEC.

SANTOS, A. M. d. *et al.* Deforestation drivers in the brazilian amazon: assessing new spatial predictors. **Journal of Environmental Management**, v. 294, p. 113020, 2021.

SFB. **Serviço Florestal Brasileiro. Consulta Pública**: Cadastro ambiental rural (car). 2025. [Http://www.car.gov.br/publico](http://www.car.gov.br/publico).

SILLS, E. O. *et al.* Estimating the impacts of local policy innovation: the synthetic control method applied to tropical deforestation. **PLOS ONE**, v. 10, n. 7, p. e0132590, 2015.

SILVA, A. P. M. d.; MARQUES, H. R.; SAMBUICHI, R. H. R. **Mudanças no código florestal brasileiro: desafios para a implementação da nova lei**. Rio de Janeiro: Ipea, 2016. Organizadores.

SOBREIRA, D. B.; TABOSA, F. J. S.; COSTA, E. M.; KHAN, A. S. Heterogeneous regional effects of rural credit on agricultural production in brazil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 4, p. e271082, 2024.

SOUSA, S. B. d.; JUNIOR, L. G. F.; MIZIARA, F.; MORAIS, H. A. d. Crédito rural no brasil: evolução e distribuição espacial (1969–2016). **Confins: Revue franco-brésilienne de géographie**, n. 45, 2020. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/29836>>.

SOUZA, C. C. M. d.; SANTOS, M. A. S. d.; REBELLO, F. K.; MARTINS, C. M. Evolução das aplicações e efeitos da política de crédito rural no estado do amazonas. **Revista Desenvolvimento Socioeconômico em Debate**, v. 6, n. 2, p. 118–143, 2020.

SOUZA, G. C.; BASTOS, J. M.; REIS, B. S.; GALVÃO, C. A.; ADAMCZYK, W. **Cadastro Ambiental Rural: impactos sobre desmatamento e a conformidade ambiental dos imóveis rurais**. Brasília, 2022.

SOUZA, P.; HERSCHMANN, S.; ASSUNÇÃO, J. **Política de Crédito Rural no Brasil: Agropecuária, Proteção Ambiental e Desenvolvimento Econômico**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2020.

WEST, T. A. P.; FEARNSIDE, P. M. Brazil's conservation reform and the reduction of deforestation in amazonia. **Land Use Policy**, v. 100, p. 105072, 2021.

XU, Y. Generalized synthetic control method: Causal inference with interactive fixed effects models. **Political Analysis**, Cambridge University Press, v. 25, n. 1, p. 57–76, 2017.

APÊNDICE A – GOVERNANÇA DA LMP

Quadro 3 – Governança da política (Decreto nº 6.321/2007 e Portaria MMA nº 28/2008)

Instituição	Funções atribuídas pela norma
Ministério do Meio Ambiente (MMA)	• Editar anualmente a lista de municípios prioritários com base em critérios técnicos (Art. 2º); • Estabelecer limites de desmatamento para inclusão em lista positiva (Art. 14).
Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA)	• Atualizar o cadastro de imóveis rurais (Art. 3º); • Estabelecer critérios técnicos para georreferenciamento (Art. 4º); • Coordenar o georreferenciamento gratuito de pequenos imóveis (Art. 9º); • Compartilhar dados com IBAMA e ICMBio (Art. 3º, §3º); • Suspender cadastro no SNCR em caso de não atualização (Art. 7º).
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)	• Receber dados integrados do INCRA (Art. 3º, §3º); • Publicar e atualizar periodicamente a lista positiva de imóveis com cobertura monitorada pelo Poder Público (Art. 4º, §2º); • Aplicar penalidades a áreas desmatadas irregularmente (Art. 12, §13).
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)	• Receber dados compartilhados do INCRA (Art. 3º, §3º); • Atuar em sinergia com IBAMA e MMA na fiscalização ambiental.
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)	• Produzir, por meio de sensoriamento remoto, dados para identificação de áreas com base na dinâmica histórica do desmatamento; • Atualizar a base dinâmica do desmatamento (Portaria MMA nº 28/2008, Art. 3º).
Instituições Oficiais Federais de Crédito	• Criar linha de crédito especial para georreferenciamento de imóveis rurais (Art. 10); • Restringir concessão de crédito a imóveis e empreendimentos em situação irregular (Art. 11).
União (Governo Federal)	• Promover, sob coordenação do INCRA, o georreferenciamento gratuito de imóveis de até quatro módulos fiscais (Art. 9º); • Priorizar municípios da lista em políticas de incentivos econômicos e fiscais voltadas à produção sustentável (Art. 14, §1º).

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (DOU), elaborado pela autora.

**APÊNDICE B – PRINCIPAIS ATOS NORMATIVOS QUE REGULAMENTARAM A
LMP (2007–2023)**

Quadro 4 – Principais atos normativos que regulamentaram a LMP (2007–2023)

Ano	Ato Normativo	Tema	Descrição
2007	Decreto nº 6.321	Dispõe sobre ações relativas à prevenção, monitoramento e controle de desmatamento no Bioma Amazônia. Para facilitar a interpretação iremos adaptar o texto com duas siglas LMP e LMC. Onde LMP significa lista de Municípios Prioritários, consiste na lista de municípios para ações prioritárias de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento ilegal e LMC significa lista de municípios sob controle, consiste na lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle.	LMP: Área total de floresta desmatada; Área total de floresta desmatada nos últimos três anos; e Aumento da taxa de desmatamento em pelo menos três, dos últimos cinco anos. LMC: Possuir oitenta por cento de seu território, excetuadas as unidades de conservação de domínio público e terras indígenas homologadas, com imóveis rurais devidamente monitorados na forma e de acordo com critérios técnicos fixados em instrução normativa específica do INCRA, nos termos do Art. 4 deste Decreto; e Mantenha taxa de desmatamento anual abaixo do limite estabelecido em portaria do Ministério do Meio Ambiente.
2008	Portaria nº 28	Dispõe sobre os municípios situados no Bioma Amazônia onde incidirão ações prioritárias de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento ilegal.	A referida portaria mantém os critérios definidos pelo Decreto, para inserção dos municípios na LMP.

Ano	Ato Normativo	Tema	Descrição
2009	Portaria nº 102	Dispõe sobre a lista de Municípios situados no Bioma Amazônia onde incidem ações prioritárias de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento ilegal.	A portaria adiciona dois novos critérios para inclusão de municípios na LMP, conforme a seguir: IV - desmatamento em 2008 igual ou superior a 200 km ² ; e V - ocorrência de 4 (quatro) aumentos do desmatamento nos últimos 5 (cinco) anos e cuja soma do desmatamento nos últimos 3 (três) anos tenha sido igual ou superior a 90 km ² .
2009	Portaria nº 103	Dispõe sobre os requisitos para que os municípios passem a integrar a lista de Municípios com desmatamento monitorado e sob controle - LMC e define o Cadastro Ambiental Rural-CAR.	A portaria altera parcialmente os critérios para inclusão dos municípios na LMC, da seguinte forma: II - que o desmatamento ocorrido no ano de 2008 tenha sido igual ou menor que 40 km ² ; III - que a média do desmatamento dos anos de 2007 e 2008 tenha sido igual ou inferior a 60% em relação à média do período de 2004 a 2006.
2010	Portaria nº 67	Dispõe sobre o primeiro município a sair da LMP e entrar na LMC.	O município de Paragominas/PA é indicado como aquele com desmatamento monitorado e sob controle na Amazônia.
2011	Portaria nº 138	Dispõe sobre os requisitos de 2011 para que os municípios passem a integrar a lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle - LMC.	Para inclusão dos municípios na LMC, a referida portaria altera os critérios que tratam do nível de desmatamento: o desmatamento ocorrido no ano de 2010 tenha sido igual ou menor que 40 km ² ; e III - a média do desmatamento dos períodos de 2008-09 e 2009-10 tenha sido igual ou inferior a 60% em relação à média do período de 2005-06, 2006-07 e 2007-08.

Ano	Ato Normativo	Tema	Descrição
2011	Portaria nº 139	Dispõe sobre o segundo município a sair da LMP e entrar na LMC.	O município de Querência/MT é indicado como aquele com desmatamento monitorado e sob controle na Amazônia.
2011	Portaria nº 175	Dispõe sobre a lista de municípios situados no Bioma Amazônia onde incidem ações prioritárias de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento ilegal.	No tocante à LMP, altera os critérios IV e V da Portaria nº 102 de 2009 para um único critério: aumento do desmatamento de 2010 em relação ao desmatamento de 2009 e desmatamento em 2010 igual ou superior a 80 km ² ou desmatamento identificado pelo sistema DETER no período de agosto de 2010 a abril de 2011 próximo ou superior a 40 km ² .
2012	Portaria nº 186	Dispõe sobre os requisitos de 2012 para que os municípios passem a integrar a lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle - LMC.	Para inclusão dos municípios na LMC, a referida portaria atualiza os anos para cálculo do desmatamento, da seguinte forma: II - o desmatamento ocorrido no ano de 2011 tenha sido igual ou menor que 40 km ² ; e III - a média do desmatamento dos períodos de 2009-2010 e 2010-2011 tenha sido igual ou inferior a 60% em relação à média do período de 2006-2007, 2007-2008 e 2008-2009.
2012	Portaria nº 187	Dispõe sobre o terceiro município a sair da LMP e entrar na LMC.	O município de Alta Floresta/MT é indicado como aquele com desmatamento monitorado e sob controle na Amazônia.

Ano	Ato Normativo	Tema	Descrição
2012	Portaria nº 322	Altera parcialmente os critérios sobre desmatamento anual para inclusão de municípios na lista dos municípios prioritários para ações de combate ao desmatamento, no ano de 2012.	Exclui da Portaria nº175 de 2011 o critério que trata de desmatamento identificado pelo sistema DETER no período de agosto de 2010 a abril de 2011 próximo ou superior a 40 km ² . Além disso altera o critério que trata do aumento da taxa de desmatamento, passando este a ser calculado para pelo menos dois, dos últimos três anos; e atualiza os anos para cálculo do aumento do desmatamento, da seguinte forma: IV - aumento do desmatamento de 2011 em relação ao desmatamento de 2010 e desmatamento em 2011 igual ou superior a 80km ² .
2012	Portaria nº 323	Inclui municípios na lista de municípios com incidência de ações prioritárias, prevenção, monitoramento e controle do desmatamento - LMP	Os Municípios de Anapu e Senador José Porfírio são selecionados para a LMP.
2012	Portaria nº 324	Dispõe sobre o quarto e quinto município a sair da LMP e entrar na LMC.	Os municípios de Ulianópolis e Dom Eliseu são indicados como aqueles com desmatamento monitorado e sob controle na Amazônia.

Ano	Ato Normativo	Tema	Descrição
2013	Portaria nº 411	Dispõe sobre os requisitos de 2013 para que os municípios passem a integrar a lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle - LMC.	Para inclusão dos municípios na LMC, a referida portaria atualiza os anos para cálculo do desmatamento, da seguinte forma: II - o desmatamento ocorrido no ano de 2012 tenha sido igual ou menor que 40 km ² ; e III - a média do desmatamento dos períodos de 2010-2011 e 2011-2012 tenha sido igual ou inferior a 60% em relação à média do período de 2007-2008, 2008-2009 e 2009-2010.
2013	Portaria nº 412	Dispõe sobre a inclusão na lista de municípios situados no Bioma Amazônia com desmatamento monitorado e sob controle - LMC.	Os municípios de Brasnorte/MT, Feliz Natal/MT, Marcelândia/ MT, Brasil Novo/PA e Tailândia/PA são incluídos na LMC contempla os

Ano	Ato Normativo	Tema	Descrição
2017	Portaria nº 360	Estabelece os critérios para inclusão na lista de municípios prioritários para ações de combate ao desmatamento - LMP e os critérios para inclusão na lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle - LMC no ano de 2017.	Para a LMP, altera os critérios I - área total de floresta desmatada em 2016 igual ou superior a 80 km²; II - área total de floresta desmatada nos últimos três anos igual ou superior 160 km²; e III - aumento da taxa de desmatamento em pelo menos três, dos últimos cinco anos. Além disso exclui o critério IV da Portaria Nº 322 de 2012. Para a LMC, mantém o critério I da portaria Nº411 de 2013, altera o critério II - municípios que mantiveram desmatamento inferior a 40 km² nos últimos quatro anos. E estabelece a reingresso à lista de municípios prioritários aqueles que constarem da lista de municípios monitorados e sob controle e atingirem desmatamento anual superior a 40 km²
2017	Portaria nº 361	Declara os municípios a serem inseridos na lista de municípios prioritários para ações de combate ao desmatamento - LMP.	Os municípios de Apuí, Manicoré e Novo Aripuanã do Estado do Amazonas, Itaituba e Portel do Estado do Pará, e Buritis, Candeias do Jamari e Cujubim do Estado de Rondônia, passam a integrar a lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento. - LMP

Ano	Ato Normativo	Tema	Descrição
2017	Portaria nº 362	Declara os municípios a serem inseridos na lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle - LMC.	Os municípios de Santa Maria das Barreiras do Estado do Pará e Alto Boa Vista, Cláudia, Confresa, Nova Ubiratã, Porto dos Gaúchos, Santa Carmem, São Félix do Araguaia, Tapurah e Vila Rica do Estado do Mato Grosso na lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle - LMC.
2018	Portaria nº 427	Dispõe sobre os requisitos para a inclusão na lista de municípios prioritários para ações de prevenção e controle do desmatamento e na lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle.	A Portaria mantém os critérios estabelecidos na Portaria Nº 360 de 2017, apenas atualizando o ano de referência destes.

Ano	Ato Normativo	Tema	Descrição
2018	Portaria nº 428	Declara os municípios a serem inseridos na lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle - LMC e na lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento - LMP	Os municípios de Placas e Uruará, no Estado do Pará, passam a integrar a lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento no Bioma Amazônia; O município de Marcelândia, no Estado do Mato Grosso, regressa à lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento no Bioma Amazônia; e o município de Peixoto de Azevedo, no Estado do Mato Grosso, passa a integrar a lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle no Bioma Amazônia.
2020	Portaria nº 161	Dispõe sobre os requisitos para a inclusão na lista de municípios prioritários para ações de prevenção e controle do desmatamento e na lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle.	A Portaria mantém os critérios estabelecidos na Portaria Nº 360 de 2017, apenas atualizando o ano de referência destes.
2020	Portaria nº 162	Declara que os municípios que regressam à lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento.	Os municípios de Alto Boa Vista, Cláudia, Feliz Natal e Querência, todos no estado do Mato Grosso passam a ser reinseridos na LMP.

Ano	Ato Normativo	Tema	Descrição
2020	Portaria nº 365	Retifica a Portaria Nº 162 de 2020	Exclui o município de Alto Boa Vista da lista que passam a ser reinseridos na LMP.
2021	Portaria nº 474	Dispõe sobre os requisitos para a inclusão na lista de municípios prioritários para ações de prevenção e controle do desmatamento e na lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle.	A Portaria mantém os critérios estabelecidos na Portaria Nº 360 de 2017, apenas atualizando o ano de referência destes. Além disso cita diretamente que os dados serão retirados do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia - Prodes.
2021	Portaria nº 475	Declara os municípios a serem inseridos na lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle - LMC e na lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento - LMP	O Município de União do Sul, no Estado do Mato Grosso, passa a integrar a lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento no Bioma Amazônia; Os Municípios Itupiranga, no Estado do Pará, Amarante do Maranhão e Grajaú, no Estado do Maranhão, passam a integrar a lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle; e, os Municípios de Santana do Araguaia e Ulianópolis, ambos no Estado do Pará, regressam à lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento no Bioma Amazônia.

Ano	Ato Normativo	Tema	Descrição
2021	Portaria nº 9	Declara os municípios a serem inseridos na lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle - LMC e na lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento - LMP	Os municípios de Feijó e Sena Madureira, no estado do Acre, o município de Humaitá, no estado do Amazonas, os municípios de Jacareacanga, Medicilândia, Rurópolis e Trairão, no estado do Pará e o município de Rorainópolis, no estado de Roraima, passam a integrar a lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento no Bioma Amazônia; O município de Peixoto de Azevedo, no Estado do Mato Grosso, regressa à lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento no Bioma Amazônia; e, o município de Rondon do Pará, no estado do Pará, passa a integrar a lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle no bioma Amazônia.

Ano	Ato Normativo	Tema	Descrição
2022	Portaria nº 251	Declara os municípios a serem inseridos na lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle - LMC e na lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento - LMP	Os municípios de Rio Branco e de Tarauacá, no Estado do Acre, o município de Canutama, no Estado do Amazonas, e o município de Apiacás, no Estado do Mato Grosso, passam a integrar a lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento no Bioma Amazônia; O município de Pimenta Bueno, no Estado de Rondônia, passa a integrar a lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle; e os municípios de Dom Eliseu e de Itupiranga, localizados no Estado do Pará, regressam à lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento no Bioma Amazônia.

Ano	Ato Normativo	Tema	Descrição
2023	Decreto nº 11.687	Revoga o decreto original, cria o Programa União com Municípios e altera a lógica da LMP.	Institui o Programa União com Municípios pela Redução de Desmatamento e Incêndios Florestais, com o objetivo de apoiar financeiramente os Municípios na prevenção, no monitoramento, no controle e na redução dos desmatamentos e da degradação florestal no Bioma Amazônia. Ficam estalecidos os seguintes critérios como orientadores para compor a LMP: I - área total de floresta desmatada; II - área total de floresta desmatada nos últimos três anos; - aumento da taxa de desmatamento em pelo menos três, dos últimos cinco anos; e IV - área total de alertas de degradação florestal.

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (DOU), elaborado pela autora.

**APÊNDICE C – TABELA DE MUNICÍPIOS PRIORITÁRIOS PARA AÇÕES DE
PREVENÇÃO, MONITORAMENTO E CONTROLE DO DESMATAMENTO**

Quadro 5 – Lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento

Nº	UF	Município	Ano de Entrada	Ano de Saída	Ano de Regresso	Portaria de Entrada	Portaria de Saída	Portaria de Regresso
1	AC	FEIJÓ	2021			Portaria nº 9/2021		
2	AC	RIO BRANCO	2022			Portaria nº 251/2022		
3	AC	SENA MADUREIRA	2021			Portaria nº 9/2021		
4	AC	TARAUCÁ	2022			Portaria nº 251/2022		
5	AC	MANOEL URBANO	2023			Portaria nº 833/2023		
6	AM	APUÍ	2017			Portaria nº 361/2017		
7	AM	BOCA DO ACRE	2011			Portaria nº 175/2011		
8	AM	CANUTAMA	2022			Portaria nº 251/2022		
9	AM	HUMAITÁ	2021			Portaria nº 9/2021		
10	AM	ITAPIRANGA	2023			Portaria nº 833/2023		

Nº	UF	Município	Ano de Entrada	Ano de Saída	Ano de Regresso	Portaria de Entrada	Portaria de Saída	Portaria de Regresso
11	AM	MANAUS	2024			Portaria n 1202/2024		
12	AM	MAUÉS	2023			Portaria nº 833/2023		
13	AM	LÁBREA	2008			Portaria nº 28/2008		
14	AM	MANICORÉ	2017			Portaria nº 361/2017		
15	AM	NOVO ARIPUANÃ	2017			Portaria nº 361/2017		
16	MA	AMARANTE DO MARRANHÃO	2009	2021		Portaria n 102/2009	Portaria n 475/2021	
17	MA	GRAJAÚ	2011	2021		Portaria nº 175/2011	Portaria nº 475/2021	
18	MT	ALTA FLORESTA	2008	2012		Portaria nº 28/2008	Portaria nº 187/2012	
19	MT	ALTO BOA VISTA	2011	2017	2020	Portaria nº 175/2011	Portaria nº 362/2017	Portaria nº 162/2020

Nº	UF	Município	Ano de Entrada	Ano de Saída	Ano de Regresso	Portaria de Entrada	Portaria de Saída	Portaria de Regresso
20	MT	APIACÁS	2022			Portaria nº 251/2022		
21	MT	ARIPUANÃ	2008			Portaria nº 28/2008		
22	MT	BRASNORTE	2008	2013		Portaria nº 28/2008	Portaria nº 412/2013	
23	MT	BOM JESUS DO ARAGUAIA	2023			Portaria nº 833/2023		
24	MT	CLÁUDIA	2011	2017	2020	Portaria nº 175/2011	Portaria nº 362/2017	Portaria nº 162/2020
25	MT	COLNIZA	2008			Portaria nº 28/2008		
26	MT	COMODORO	2023			Portaria nº 833/2023		
27	MT	CONFRESA	2008	2017		Portaria nº 28/2008	Portaria nº 362/2017	
28	MT	CONQUISTA DÓESTE	2024			Portaria nº 1202/2024		

Nº	UF	Município	Ano de Entrada	Ano de Saída	Ano de Regresso	Portaria de Entrada	Portaria de Saída	Portaria de Regresso
29	MT	COTRIGUAÇU	2008			Portaria n 28/2008		
30	MT	FELIZ NATAL	2009	2013	2020	Portaria nº 102/2009	Portaria nº 412/2013	Portaria nº 162/2020
31	MT	GAÚCHA DO NORTE	2008			Portaria nº 28/2008		
32	MT	CONQUISTA DÓESTE	2024			Portaria nº 1202/2024		
33	MT	JUARA	2009			Portaria nº 102/2009		
34	MT	JUÍNA	2008			Portaria nº 28/2008		
35	MT	MARCELÂNDIA	2008	2013	2018	Portaria nº 28/2008	Portaria nº 412/2013	Portaria nº 428/2018
36	MT	NOVA BANDEIRANTES	2008			Portaria nº 28/2008		
37	MT	NOVA MARINGÁ	2008			Portaria nº 28/2008		

Nº	UF	Município	Ano de Entrada	Ano de Saída	Ano de Regresso	Portaria de Entrada	Portaria de Saída	Portaria de Regresso
38	MT	NOVA UBIRATÃ	2008	2017		Portaria nº 28/2008	Portaria nº 362/2017	
39	MT	PARANAÍTA	2008			Portaria nº 28/2008		
40	MT	PARANATINGA	2023			Portaria nº 833/2023		
41	MT	PEIXOTO DE AZEVEDO	2008	2018	2021	Portaria nº 28/2008	Portaria nº 428/2018	Portaria nº 9/2021
42	MT	PORTO DOS GAÚCHOS	2008	2017		Portaria nº 28/2008	Portaria nº 362/2017	
43	MT	QUERÊNCIA	2008	2011	2020	Portaria nº 28/2008 Portaria nº 139/2011	Portaria nº 162/2020	
44	MT	RONDONLANDIA	2023			Portaria nº 833/2023		
45	MT	RIBEIRÃO CASCA- LHEIRA	2024			Portaria nº 1202/2024		

Nº	UF	Município	Ano de Entrada	Ano de Saída	Ano de Regresso	Portaria de Entrada	Portaria de Saída	Portaria de Regresso
46	MT	SANTA CARMEM	2011	2017		Portaria nº 175/2011	Portaria nº 362/2017	
47	MT	SANTA TEREZINHA	2024			Portaria nº 1202/2024		
48	MT	SÃO FÉLIX DO ARAGUAIA	2008	2017		Portaria nº 28/2008	Portaria nº 362/2017	
49	MT	SÃO JOSÉ DO XINGU	2023			Portaria nº 833/2023		
50	MT	TAPURAH	2011	2017		Portaria nº 175/2011	Portaria nº 362/2017	
51	MT	UNIÃO DO SUL	2021			Portaria nº 475/2021		
52	MT	VILA BELA DA SANTÍSSIMA TRINDADE	2024			Portaria nº 1202/2024		
53	MT	VILA RICA	2008	2017		Portaria nº 28/2008	Portaria nº 362/2017	
54	PA	ALTAMIRA	2008			Portaria nº 28/2008		

Nº	UF	Município	Ano de Entrada	Ano de Saída	Ano de Regresso	Portaria de Entrada	Portaria de Saída	Portaria de Regresso
55	PA	ANAPU	2012			Portaria nº 323/2012		
56	MT	BANNACH	2024			Portaria nº 1202/2024		
57	PA	BRASIL NOVO	2008	2013		Portaria nº 28/2008	Portaria nº 412/2013	
58	PA	CUMARU DO NORTE	2008			Portaria nº 28/2008		
59	PA	DOM ELISEU	2008	2012	2022	Portaria nº 28/2008	Portaria nº 324/2012	Portaria nº 251/2022
60	PA	ITAITUBA	2017			Portaria nº 361/2017		
61	PA	ITUPIRANGA	2009	2021	2022	Portaria nº 102/2009	Portaria nº 475/2021	Portaria nº 251/2022
62	PA	JACAREACANGA	2021			Portaria nº 9/2021		
63	PA	MARABÁ	2009			Portaria nº 102/2009		
64	PA	MEDICILÂNDIA	2021			Portaria nº 9/2021		

Nº	UF	Município	Ano de Entrada	Ano de Saída	Ano de Regresso	Portaria de Entrada	Portaria de Saída	Portaria de Regresso
65	PA	MOJU	2011			Portaria nº 175/2011		
66	PA	MOJUÍ DOS CAMPOS	2023			Portaria nº 833/2023		
67	PA	NOVO PROGRESSO	2008			Portaria nº 28/2008		
68	PA	NOVO REPARTIMENTO	2008			Portaria nº 28/2008		
69	PA	PACAJÁ	2009			Portaria nº 102/2009		
70	PA	PARAGOMINAS	2008	2010	2023	Portaria nº 28/2008	Portaria nº 67/2010	Portaria nº 833/2023
71	PA	PLACAS	2018			Portaria nº 428/2018		
72	PA	PORTEL	2017			Portaria nº 361/2017		
73	PA	PRAINHA	2023			Portaria nº 833/2023		

Nº	UF	Município	Ano de Entrada	Ano de Saída	Ano de Regresso	Portaria de Entrada	Portaria de Saída	Portaria de Regresso
74	PA	RONDON DO PARA	2008	2021	2023	Portaria nº 28/2008	Portaria nº 9/2021	Portaria nº 833/2023
75	PA	RURÓPOLIS	2021			Portaria nº 9/2021		
76	PA	SANTA MARIA DAS BARREIRAS	2008	2017		Portaria nº 28/2008	Portaria nº 362/2017	
77	PA	SANTANA DO ARAGUAIA	2008	2012	2021	Portaria nº 28/2008	Portaria nº 187/2012	Portaria nº 475/2021
78	PA	SÃO FÉLIX DO XINGU	2008			Portaria nº 28/2008		
79	PA	SENADOR JOSÉ PORFÍRIO	2012			Portaria nº 323/2012		
80	PA	TAILÂNDIA	2009	2013		Portaria nº 102/2009	Portaria nº 412/2013	
81	PA	TRAIRÃO	2021			Portaria nº 9/2021		
82	PA	ULIANÓPOLIS	2008	2012	2021	Portaria nº 28/2008	Portaria nº 324/2012	Portaria nº 475/2021
83	PA	URUARÁ	2018			Portaria nº 428/2018		

Nº	UF	Município	Ano de Entrada	Ano de Saída	Ano de Regresso	Portaria de Entrada	Portaria de Saída	Portaria de Regresso
84	RO	BURITIS	2017			Portaria nº 361/2017		
85	RO	CANDEIAS DO JAMARI	2017			Portaria nº 361/2017		
86	RO	CUJUBIM	2017			Portaria nº 361/2017		
87	RO	MACHADINHO D'OESTE	2008			Portaria nº 28/2008		
88	RO	NOVA MAMORÉ	2008			Portaria nº 28/2008		
89	RO	PIMENTA BUENO	2008	2022		Portaria nº 28/2008	Portaria nº 251/2022	
90	RO	PORTO VELHO	2008			Portaria nº 28/2008		
91	RR	MUCAJÁ	2009			Portaria nº 102/2009		
92	RR	RORAINÓPOLIS	2021			Portaria nº 9/2021		

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (DOU), elaborado pela autora.

