



Rogério Reis de Mello Filho

**Grilagem e desmatamento na Amazônia Brasileira:
Uma Análise Geoespacial com Base no Cadastro
Ambiental Rural**

Monografia de Final de Curso

Orientadores: Juliano Assunção e João Mourão

Declaro que o presente trabalho é de minha autoria e que não recorri, para realizá-lo, a nenhuma forma de ajuda externa, exceto quando autorizado pelo professor tutor.

Rio de Janeiro, junho de 2024

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que me apoiaram e contribuíram para a realização desta monografia. Em primeiro lugar, agradeço aos meus orientadores, Juliano Assunção e João Mourão. O Professor Juliano foi uma fonte inestimável de insights ao longo de todo o processo. Sua expertise no tema foi essencial para o desenvolvimento e qualidade deste trabalho. Ao João Mourão, agradeço imensamente pelas reuniões semanais e por toda atenção dedicada. Seu apoio contínuo e feedback construtivo foram fundamentais para o aprimoramento da pesquisa.

Também gostaria de agradecer profundamente à minha família, que sempre me apoiou incondicionalmente. Em especial, quero expressar minha gratidão à minha namorada, cujo apoio constante e encorajamento foram essenciais para que eu pudesse superar os desafios e concluir este trabalho.

Resumo

A grilagem de terras e o desmatamento são práticas ilegais que representam alguns dos problemas mais graves na Amazônia brasileira. Este estudo analisa a relação entre esses dois fenômenos utilizando diversos conjuntos de dados geoespaciais. Aplicamos uma metodologia que envolve a identificação espacial de áreas com sinais de grilagem e a criação de um índice de exposição à grilagem para os municípios da Amazônia. Utilizamos regressões lineares para analisar a relação entre exposição à grilagem e desmatamento acumulado nos municípios. Nossos resultados são consistentes e significativos para diferentes especificações de desmatamento. Mesmo após controlar características geográficas, socioeconômicas, agrícolas e de infraestrutura dos municípios, encontramos uma forte correlação entre exposição à grilagem e desmatamento. Esses achados corroboram a literatura existente e evidenciam a necessidade de políticas públicas mais eficazes para combater essas práticas ilícitas.

Palavras-chave

Desmatamento; Grilagem de terra; Florestas Públicas Não Destinadas; Cadastro Ambiental Rural; Amazônia.

CONTEÚDO

Lista de Figuras	6
Lista de Tabelas	6
1 INTRODUÇÃO	7
2 CONTEXTO GERAL	9
2.1 O problema fundiário da Amazônia	9
2.2 O CAR como instrumento de grilagem	10
3 DADOS E METODOLOGIA	13
3.1 Índice de Exposição à Grilagem Municipal	13
3.1.1 Dados	13
3.1.2 Criação do índice de exposição à grilagem	14
3.2 Índices de desmatamento acumulado	17
3.2.1 Dados	17
3.2.2 Criação dos índices de desmatamento	17
3.3 Controles	21
3.3.1 Controles Geográficos e Ambientais	21
3.3.2 Controles Sociais e Econômicos	22
3.3.3 Controles Agropecuários	23
3.3.4 Controles de Infraestrutura	24
3.4 Estratégia Empírica	26
3.4.1 Especificação dos Modelos	26

3.4.2	Estrutura das Regressões	27
3.4.3	Contrafactual	28
4	RESULTADOS	30
4.1	Análise temporal	32
4.2	Contrafactual	34
5	CONCLUSÃO	36
	BIBLIOGRAFIA	37
6	ANEXOS	39

Lista de Figuras

Figura 1 – Florestas Públicas Não Destinadas com e sem sobreposição com CARs Amazônia Legal	11
Figura 2 – Desmatamento em Florestas Públicas Não Destinadas com e sem sobreposição com CAR	12
Figura 3 – Índice de Exposição à Grilagem por Município	16
Figura 4 – Quintis dos Índices de Desmatamento	20
Figura 5 – Coeficiente do índice de exposição à grilagem por intervalos de 5 Anos	33
Figura 6 – Contrafactuais	34
Figura 7 – Coeficiente do Índice de Grilagem por Ano	39

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Estatísticas descritivas do Índice de Exposição à Grilagem	16
Tabela 2 – Estatísticas descritivas dos índices de desmatamento	19
Tabela 3 – Estatísticas descritivas dos controles municipais	25
Tabela 4 – Efeito da exposição municipal à grilagem no desmatamento	30

1 Introdução

A Floresta Amazônica é a maior floresta tropical do mundo e desempenha um papel crucial na prestação de serviços ecossistêmicos vitais para o planeta, como a regulação climática e a manutenção dos ciclos hídricos da América do Sul (SPRACKLEN et al., 2012; GANDOUR, 2021). No entanto, diante do cenário de alto desmatamento na região, a prestação desses serviços se encontra sob ameaça. A Amazônia brasileira já perdeu mais de 800 mil km² de vegetação nativa, representando aproximadamente um quinto de sua extensão original (INPE, 2021).

No Brasil, o desmatamento está fortemente atrelado à atuação de grupos criminosos e práticas ilícitas. Evidências apontam que 95% do desmatamento no país entre 2008 e 2021 foi ilegal (AZEVEDO et al., 2021; VALDIONAS et al., 2021). Além disso, há evidência de que, na região amazônica, processo de desmatamento é, em grande medida, resultante da grilagem de terras públicas (LIMA et al., 2021).

A grilagem refere-se à ocupação ilegal de terras, onde ações fraudulentas transferem terras públicas para o patrimônio de terceiros (INCRA, 1999). Historicamente, a grilagem envolvia a falsificação de documentos, mas atualmente, grileiros utilizam ferramentas modernas como imagens de satélite e GPS para registrar e vender terras públicas ilegalmente (CHIAVARI et al., 2021). Evidências apontam que o Cadastro Ambiental Rural (CAR), um cadastro obrigatório para todos os imóveis rurais do Brasil, é uma das ferramentas frequentemente utilizadas nesses esquemas de grilagem (AZEVEDO et al., 2017; BRITO et al., 2019).

Adicionalmente, estudos mostram que as Florestas Públicas Não-Destinadas (FPNDs) são altamente vulneráveis à grilagem de terras. Essas áreas, que são uma das diversas categorias fundiárias presentes na Amazônia, concentram grande parte do desmatamento na região. Essa vulnerabilidade se deve principalmente aos seus direitos fundiários fracos e à falta de supervisão governamental adequada (RAMOS et al., 2020). Em 2020, mais de 116 mil km² de FPNDs (quase 29% da área total) estavam registradas ilegalmente no CAR, representando um forte indício de grilagem de terras públicas. Além disso, cerca de 91% dessa área foi alvo de desmatamento entre agosto de 2007 e julho de 2022.

Apesar da ampla literatura documentando o problema da grilagem e do desmatamento na Amazônia, faltam contribuições empíricas que demonstrem a relação direta entre esses dois fenômenos. Este estudo busca preencher essa lacuna ao criar

uma metodologia inovadora para identificar áreas com sinais de grilagem e analisar como diferentes níveis de exposição à grilagem estão relacionados ao desmatamento nos municípios da Amazônia brasileira.

Utilizando um conjunto de dados georreferenciados, construímos um índice de exposição à grilagem para 335 municípios da Amazônia. Esse índice reflete o quanto da área de floresta do município é ocupada por FPNDs com sinais de grilagem em 2020. Para identificar áreas com sinais de grilagem, definimos essas áreas como as FPNDs que estão registradas no CAR.

Em seguida, utilizamos regressões lineares para analisar a relação entre o índice de exposição à grilagem e diferentes medidas de desmatamento acumulado entre agosto de 2007 e julho de 2022. Mesmo quando controlamos para características geográficas, socioeconômicas, agrícolas e de infraestrutura dos municípios, há uma correlação significativa entre as duas variáveis. Nossos resultados indicam que um aumento de 1 ponto percentual no índice de exposição à grilagem está associado a um aumento de 0.25 ponto percentual na proporção das florestas desmatadas nos municípios.

Além disso, nossos resultados mantêm-se positivos e significativos para diferentes medidas de desmatamento, demonstrando a robustez dos achados. Observamos, ainda, que o efeito da grilagem no desmatamento tende a ser mais forte nos anos mais recentes (2017 a 2022).

Além de significativos, nossos resultados são economicamente relevantes. Uma análise contrafactual revela que, caso os municípios com índices de exposição à grilagem acima do terceiro quartil tivessem índices iguais ao terceiro quartil, veríamos uma redução de 3.5% no desmatamento acumulado da região.

Portanto, nossos resultados indicam uma relação positiva e significativa entre grilagem e desmatamento na Amazônia brasileira. Esses achados estão alinhados com a literatura existente e ressaltam a necessidade de políticas públicas eficazes para combater essas práticas.

2 Contexto Geral

2.1 O problema fundiário da Amazônia

A questão fundiária é um problema antigo no Brasil, especialmente na Amazônia. Historicamente, a floresta sofreu com uma ocupação territorial desordenada, com pouca coordenação do poder público e sem a devida separação entre terras públicas e privadas, facilitando o processo de grilagem (CHIAVARI et al., 2021). Este cenário persiste até os dias atuais e representa um dos grandes desafios da região Amazônica, marcada por disputas de terra, violência no campo, ocupação irregular do território e desmatamento ilegal.

Atualmente, muitos agricultores na Amazônia não possuem títulos de propriedade e milhares de imóveis rurais estão situação irregular. Além disso, temos no país um complexo emaranhado de cadastros de imóveis rurais com diferentes finalidades (fiscais, econômicas, de planejamento fundiário e ambiental) que apresentam pouca integração entre si (CHIAVARI et al., 2021).

Dada essa teia fundiária e a ausência de um cadastro único de terras que reúna informações geográficas e jurídicas das propriedades no Brasil, as políticas fundiárias foram promovidas sem o conhecimento preciso do espaço, resultando em sobreposições territoriais e regiões de vazios fundiários (CHIAVARI et al., 2021).

Esse cenário facilitou a apropriação fraudulenta de terras públicas por particulares, fenômeno conhecido como grilagem. Toda ação ilegal que visa a transferência de terras públicas para o patrimônio de terceiros configura grilagem (INCRA, 1999). Inicialmente, esse fenômeno envolvia a falsificação de documentos físicos. Atualmente, grileiros se aproveitam da desorganização cadastral supracitada e utilizam ferramentas modernas como imagens de satélite para registrar e vender terras públicas ilegalmente (CHIAVARI et al., 2021).

Consequentemente, a malha fundiária da Amazônia é marcada por áreas onde não é possível identificar com precisão os detentores dos direitos de propriedade. Temos também inúmeros municípios onde as áreas registradas superam substancialmente a sua superfície territorial. Em um levantamento realizado pelo Tribunal de Justiça do Pará, em 2009, verificou-se que a soma dos registros de imóveis do Pará apresentavam uma área conjunta de quase quatro vezes o tamanho do estado

(FIORAVANTI, 2019). Estima-se, ainda, que o comércio ilegal de terras griladas pela internet, movimenta em torno de um bilhão de reais na Amazônia (Greenpeace, Sem data).

2.2 O CAR como instrumento de grilagem

O Cadastro Ambiental Rural (CAR) é um cadastro de imóveis rurais gerido pelo Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos. Ele integra informações ambientais com o objetivo de controle, monitoramento e planejamento ambiental e econômico em áreas rurais, além de ser uma ferramenta importante no combate ao desmatamento (CHIAVARI et al., 2021).

Instituído em 2012 através do novo Código Florestal, o registro no CAR é obrigatório para todos os imóveis rurais no Brasil. O cadastro tem carácter autodeclaratório e, para a inscrição, é necessário fornecer, entre outras informações, o polígono georreferenciado do imóvel em questão (MOREIRA, 2023).

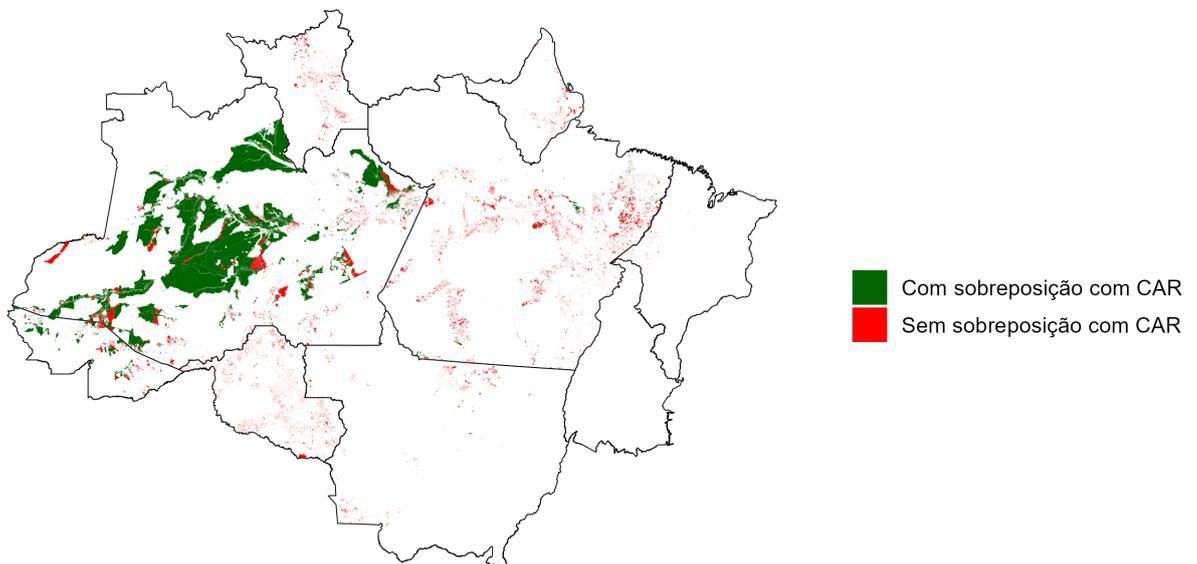
O CAR é um registro de conformidade ambiental e não denota legalmente nenhum tipo de posse da terra ao seu emissor. Entretanto, o cadastro tem sido usado como uma ferramenta de grilagem, onde indivíduos reivindicam de forma fraudulenta a posse de terras públicas, como se fossem propriedades privadas. O carácter autodeclaratório do CAR, sem a devida integração com outros cadastros rurais e a verificação adequada da posse ou propriedade da terra, facilita esse processo (MOREIRA, 2023).

O processo de grilagem é especialmente forte em áreas de Florestas Públicas Não-Destinadas (FPNDs), que são uma das categorias fundiárias da Amazônia e representam 9,4% de seu território (GANDOUR; MOURÃO, 2022). Essa categoria corresponde a áreas de domínio público que ainda não foram atribuídas a um uso específico ou destinadas a projetos de conservação, uso sustentável, ou outras finalidades.

Essa falta de destinação específica resultou na supervisão inadequada destas florestas por parte dos órgãos governamentais, tornando-as muito vulneráveis à ocupação ilegal e desmatamento (RAMOS et al., 2020). Além disso, a falta de direitos fundiários e devida titulação de terras nessas áreas causam insegurança e levam os pequenos proprietários a esgotarem seus recursos o mais rápido possível (MOUTINHO PAULO; AZEVEDO-RAMOS, 2016).

Até o final de 2020, mais de 116 mil km² de FPNDs, federais e estaduais, estavam registradas ilegalmente no CAR, representando quase 29% da área dessas florestas. Esse alto nível de sobreposições entre CARs e FPNDs representam um forte indício de grilagem de terras públicas (AZEVEDO-RAMOS et al., 2020). Na figura 1, podemos observar as FPNDs com e sem sobreposição com o CAR.

Figura 1 – Florestas Públicas Não Destinadas com e sem sobreposição com CARs Amazônia Legal



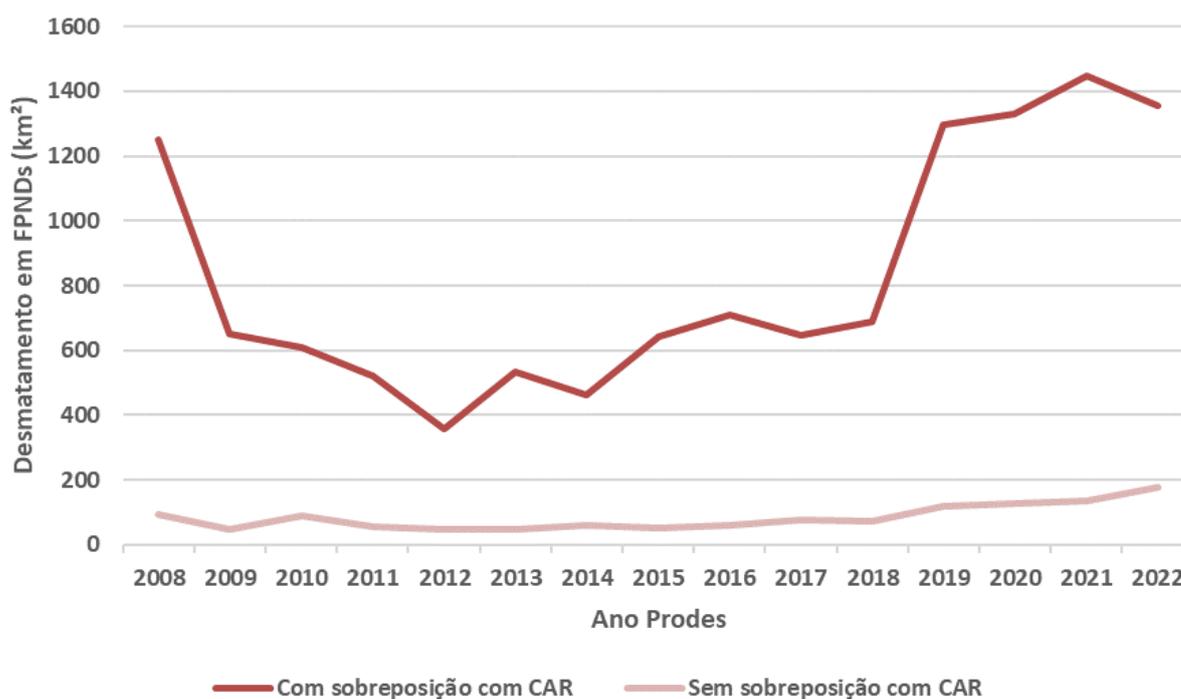
Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Imafflora e do Serviço Florestal Brasileiro

A maioria das FPNDs estaduais está concentrada no Amazonas, um estado ainda amplamente coberto por florestas remotas que são protegidas de forma passiva (RAMOS et al., 2020). Justamente nessas porções de florestas estaduais mais remotas e protegidas, vemos uma menor escala de sobreposição com o CAR. Já nas FPNDs federais, que se encontram mais vulneráveis e espalhadas pelo território, em especial no estado do Pará, vemos quase a totalidade de sua extensão territorial sobreposta com CARs.

Adicionalmente, evidências apontam que uma das principais causas de desmatamento na Amazônia é a grilagem de terras (LIMA et al., 2021). As FPNDs concentraram 12% do desmatamento na região entre 2008 e 2021 e são a segunda categoria fundiária com mais desmatamento, atrás apenas dos Assentamentos Rurais (GANDOUR; MOURÃO, 2022).

Quase 80% das FPNDs federais, que somam 101,7 mil km², estão registradas como imóveis privados no CAR (GANDOUR; MOURÃO, 2022). As FPNDs que estão sobrepostas com o CAR, e que tem, portanto, maiores indícios de ocupação ilegal, são justamente aquelas com maior montante de desmatamento. Essas áreas concentraram 91% do desmatamento ocorrido em FPNDs entre 2008 e 2022, como podemos ver na 2.

Figura 2 – Desmatamento em Florstas Públicas Não Destinadas com e sem sobreposição com CAR



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Imafflora, do Serviço Florestal Brasileiro e do PRODES

3 Dados e Metodologia

Neste estudo, analisamos a relação entre grilagem e desmatamento na Amazônia Brasileira. A partir de um conjunto de dados públicos georreferenciados, criamos uma base de dados cross-section com informações de desmatamento, florestas públicas e imóveis rurais do CAR, para identificar espacialmente áreas da floresta com indícios de grilagem de terras públicas. Com base nesses dados, construímos um índice de exposição à grilagem municipal para 335 municípios da Amazônia. Em seguida, aplicamos uma estratégia empírica de regressões lineares, incluindo controles no nível do município, para medir o efeito de um aumento na exposição à grilagem sobre o desmatamento acumulado nos municípios entre agosto de 2007 e julho de 2022.

Neste capítulo, detalhamos os dados utilizados, incluindo suas respectivas transformações, e descrevemos a metodologia empregada neste estudo.

3.1 Índice de Exposição à Grilagem Municipal

3.1.1 Dados

Para a criação do Índice de Exposição à Grilagem Municipal, utilizamos três conjuntos de dados. O primeiro são os dados de polígonos georreferenciados das Propriedades Rurais do Cadastro Ambiental Rural (CAR) em 2020. Esses dados foram extraído do Atlas da Agropecuária, produzido pelo Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (Imaflora), que fornece informações sobre toda a malha fundiária brasileira livre de sobreposições. O segundo são os dados georreferenciados das Florestas Públicas Não Destinadas (FPNDs) da Amazônia em 2020, extraído dos Serviço Florestal Brasileiro (SFB). O terceiro conjunto de dados refere-se à área total de florestas em cada município em 2007, extraído do MapBiomas, uma iniciativa colaborativa que mapeia a cobertura e uso do solo no Brasil usando dados de satélite.

Os dados do Imaflora têm uma importância impar em nossa análise e foram selecionados por sua robustez. Como mencionado no capítulo 2.1, o país conta com dados públicos de categorias fundiárias e imóveis rurais de baixa qualidade e pouco integrados entre si. Isso resulta na existência de imprecisão nos dados, havendo

sobreposições entre as categorias fundiárias e múltiplos registros simultâneos de imóveis rurais para uma mesma área.

Para lidar com esse problema, o Imaflora realiza um processo de limpeza que remove sobreposições entre categorias fundiárias ao aplicar uma hierarquia à elas, priorizando categorias com maiores direitos fundiários¹.

Os dados limpos pelo Imaflora oferecem uma visão mais precisa dos CARs e das FPNDs. Durante este processo, removemos dessas categorias as áreas que apresentam sobreposições com outras categorias cujos direitos são mais sólidos. Esses direitos mais sólidos indicam que, em futuros processos de regularização fundiária, há uma maior probabilidade de que a área em questão seja destinada à categoria com direitos mais fortes, em detrimento das FPNDs.

Esta precisão é essencial para nossa análise, pois aumenta a probabilidade de que as áreas identificadas como FPNDs realmente pertençam a essa categoria, o que nos permite observar com maior segurança os processos reais de grilagem de terras nas florestas sobrepostas com o CAR.

3.1.2 Criação do índice de exposição à grilagem

A partir desses dados, cruzamos as bases do Imaflora e do SFB e identificamos especialmente as áreas de floresta vulneráveis ao processo de grilagem, ou seja, a sobreposição espacial entre CARs e FPNDs. Em seguida, calculamos, para cada um dos 369 municípios da Amazônia Legal com presença de FPNDs, essa área de sobreposição. Para ponderar essas áreas de vulnerabilidade à grilagem para os diferentes tamanhos de municípios, dividimos a área de sobreposição de cada um pela sua respectiva área de floresta total em 2007, criando o índice de exposição à grilagem municipal (G):

$$G_i = \frac{A_{i,2020}^{Sobreposição}}{F_{i,2007}} \times 100 \quad (3.1)$$

Onde:

¹ A hierarquia utilizada pelo Imaflora é: Urbano, Transporte e água; SIGEF/SNCI; Terra Legal titulado; Quilombola; Terras Indígenas Homologadas; UC Proteção Integral; UC Uso Sustentável; Áreas Militares; Assentamento Rural; Territórios Comunitários; Terras Indígenas não-homologadas; CAR; Terra Legal não-titulado; SIGEF/SNCI público; Floresta Pública Não Destinada

- $A_{i,2020}^{Sobreposição}$ é a área de sobreposição entre CARs e FPNDs no município i em 2020.
- $F_{i,2007}$ é a área de floresta total no município i em 2007.

A partir desta construção, o índice de exposição à grilagem municipal representa a proporção das áreas de FPNDs sobrepostas com CARs em 2020 em relação à área de floresta total dos municípios em 2007.

A suposição principal por trás da criação deste índice é que CARs sobrepostos a FPNDs são indicativos fortes de grilagem de terras públicas. Além disso, assumimos que municípios cujas florestas estão proporcionalmente mais sobrepostas são mais vulneráveis à grilagem de terras. Essas premissas são embasadas por (MOREIRA, 2023; MOUTINHO PAULO; AZEVEDO-RAMOS, 2016; RAMOS et al., 2020), que alertam para os baixos direitos fundiários das FPNDs e para a utilização dos CARs como instrumentos de grilagem nessas terras, como discutido na seção 2.2.

Utilizamos a área de floresta total do ano de 2007 na construção do índice de grilagem para evitar o problema de endogeneidade nos nossos modelos (3.4.1). Escolhemos este ano específico pois ele antecede o período dos dados de desmatamento analisados, que abrange os anos prodes² de 2008 a 2022. Assim, mitigamos a possibilidade de viés nas estimativas dos coeficientes de regressão devido à endogeneidade.

Como os dados de CARs e FPNDs utilizados neste estudo são de 2020, a área de grilagem também é desse ano. Portanto, possíveis novas declarações ou cancelamentos de CARs em anos subsequentes não serão considerados em nosso estudo.

Adicionalmente, após a criação do índice, percebeu-se a existência de 34 municípios com índices discrepantes (outliers) que enviesavam as estatísticas do índice. Com isso, para o restante da análise, retiramos esses outliers, restando com um total de 335 municípios em nossa amostra.

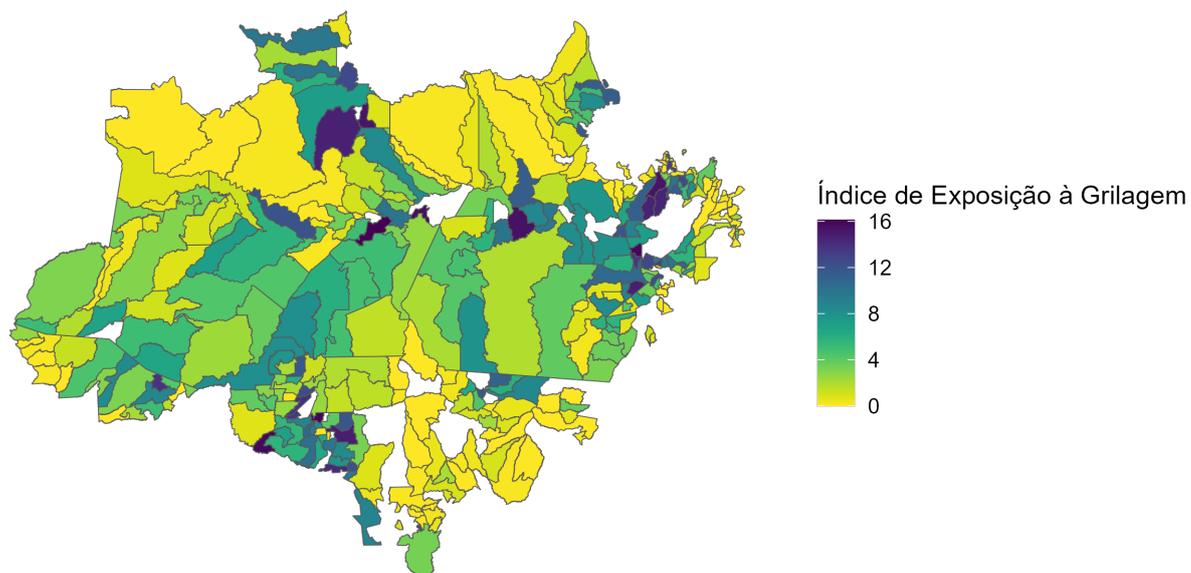
Na Tabela 1, apresentamos as estatísticas descritivas do índice de exposição à grilagem criado. Já na Figura 3, ilustramos em um mapa dos municípios da Amazônia Legal, a intensidade de cada índice para os diferentes municípios.

² O ano prodes refere-se ao período de agosto de um ano até julho do ano seguinte, conforme definido pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (Prodes)

Tabela 1 – Estatísticas descritivas do Índice de Exposição à Grilagem

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	n
Índice de Grilagem	4.1	4.5	0	0.3	2.5	6.8	16.1	335

Figura 3 – Índice de Exposição à Grilagem por Município



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Imaflorea e do Serviço Florestal Brasileiro

3.2 Índices de desmatamento acumulado

3.2.1 Dados

Utilizamos dados de incrementos anuais de desmatamento, referentes aos anos prodes 2008 a 2022, do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (Prodes). Este projeto, conduzido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), mede com precisão o desmatamento de áreas acima de 6,25 hectares na Amazônia Legal (Divisão de Processamento de Imagens - DPI/OBT/INPE, 2022).

Além disso, também utilizamos dados dos limites municipais da Amazônia Legal em 2022 oriundos do pacote geobr. O geobr é uma biblioteca desenvolvida para facilitar o acesso a dados geoespaciais do Brasil, permitindo a obtenção de mapas de diferentes divisões territoriais, como estados, municípios e regiões metropolitanas. Ele fornece dados em diferentes resoluções e anos, garantindo uma análise precisa e atualizada baseada nos dados fornecidos pelo IBGE.

3.2.2 Criação dos índices de desmatamento

A partir desses dados, combinados com informações sobre CARs e FPNDs, criamos três índices de desmatamento que são utilizados nas especificações dos nossos modelos (3.4.1): desmatamento total, desmatamento com sinais de grilagem e desmatamento em propriedades regularizadas.

Para criar o índice de desmatamento total, primeiramente cruzamos os dados de desmatamento anual do Prodes com os limites dos municípios da Amazônia Legal, obtendo a área desmatada total por ano e por município.

Para o índice de desmatamento com sinais de grilagem, cruzamos o desmatamento total por ano e município com as áreas de sobreposição entre FPNDs e CARs (indicando sinais de grilagem). A partir disso, obtemos a área desmatada com sinais de grilagem por ano e por município.

Já para o desmatamento em propriedades regularizadas, cruzamos o desmatamento total por ano e município com as áreas que constam como “SIGEF Privado” e “Terra Legal Titulado” segundo o Imaflorea. O SIGEF Privado refere-se ao Sistema de Gestão Fundiária que registra imóveis rurais privados com documentação regula-

rizada. Já o Terra Legal Titulado é um programa que regulariza terras públicas na Amazônia, emitindo títulos de propriedade à ocupantes de imóveis em situação irregular. Essas duas categorias fundiárias estão no topo da hierarquia de limpeza da Imaflo e representam propriedades privadas com direitos fundiários sólidos, com baixo risco de transição para outra categoria fundiária no futuro. A partir disso, obtemos a área desmatada em propriedades regularizadas por ano e por município.

Em seguida, somamos a área desmatada para todos os anos para cada município e para cada medida de desmatamento, resultando nos desmatamentos acumulados no período de análise.

Finalmente, dividimos esses desmatamentos acumulados pela área de floresta total de cada município em 2007, resultando nos índices de desmatamento total, desmatamento com sinais de grilagem e desmatamento em propriedades regularizadas, conforme indicado nas equações abaixo:

$$D_i^{\text{Total}} = \frac{\sum_{t=2008}^{2022} Defo_{i,t}^{\text{Total}}}{F_{i,2007}} \times 100 \quad (3.2)$$

$$D_i^{\text{Grilagem}} = \frac{\sum_{t=2008}^{2022} Defo_{i,t}^{\text{Grilagem}}}{F_{i,2007}} \times 100 \quad (3.3)$$

$$D_i^{\text{Regularizado}} = \frac{\sum_{t=2008}^{2022} Defo_{i,t}^{\text{Regularizado}}}{F_{i,2007}} \times 100 \quad (3.4)$$

Onde:

- D_i^{Total} é o índice de desmatamento total no município i - isto é, o desmatamento total acumulado nos anos prodes 2008 a 2022, normalizado pela área de floresta do município em 2007.
- D_i^{Grilagem} é o índice de desmatamento com sinais de grilagem no município i - isto é, o desmatamento em áreas de sobreposição de PFNDs e CARs acumulado nos anos prodes 2008 a 2022, normalizado pela área de floresta do município em 2007.
- $D_i^{\text{Regularizado}}$ é o índice de desmatamento em propriedades regularizadas no município i - isto é, o desmatamento em propriedades privadas registradas no SIGEF ou tituladas através do programa Terra Legal, acumulado nos anos prodes 2008 a 2022, normalizado pela área de floresta do município em 2007.

- $Defo_{i,t}^{\text{Total}}$ é o desmatamento total no município i no ano prodes t .
- $Defo_{i,t}^{\text{Grilagem}}$ é o desmatamento em áreas de sobreposição de PFNDs e CARs (sinais de grilagem) no município i no ano prodes t .
- $Defo_{i,t}^{\text{Regularizado}}$ é o desmatamento em propriedades privadas registradas no SIGEF ou tituladas através do programa Terra Legal no município i no ano prodes t .
- $F_{i,2007}$ é a área de floresta total no município i em 2007.

Essas variáveis representam, respectivamente, para cada município, o percentual das florestas de 2007 que foram desmatadas nos anos prodes 2008 a 2022; o percentual das florestas de 2007 desmatadas em áreas de FPNDs sobrepostas com CARs no mesmo período; e o percentual das florestas de 2007 desmatadas em propriedades privadas registradas no SIGEF ou tituladas através do programa Terra Legal no mesmo período.

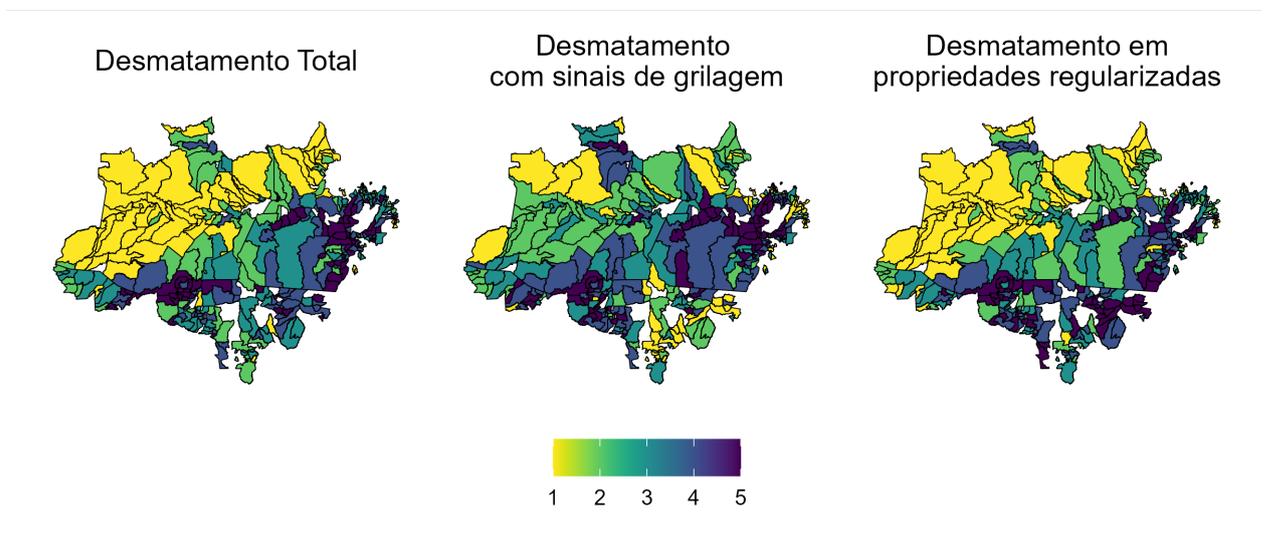
Dividimos o desmatamento acumulado pela área de floresta em 2007 para garantir que ambos os lados das regressões dos nossos modelos (3.4.1) estejam na mesma escala percentual. Isto é, em proporção da área de floresta.

Na tabela 3, apresentamos as estatísticas descritivas dos índices de desmatamento. Já na figura 4, temos graficamente os quintis dos índices de desmatamento criados.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas dos índices de desmatamento

Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	n
Desmatamento Total							
6.44	6.9	0.0	1.4	4.4	8.8	43.5	335.0
Desmatamento com sinais de grilagem							
0.5	95.8	0.0	0.005	0.09	0.7	6.6	335.0
Desmatamento em propriedades regularizadas							
1.9	2.3	0.0	0.2	1.1	2.9	18.4	335.0

Figura 4 – Quintis dos Índices de Desmatamento



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Prodes e Mapbiomas

3.3 Controles

Para mitigar o viés de variável omitida em nossos modelos (3.4.1), utilizamos um conjunto de controles ao nível do município. Esses controles foram categorizados em quatro grupos: geográficos e ambientais, sociais e econômicos, agropecuários e de infraestrutura.

Dentro de cada grupo, podemos ter dois tipos de controles: fixos no tempo e dinâmicos. Os controles fixos são geralmente referentes ao ano anterior à análise (2007), enquanto os dinâmicos são controles agregados ao longo do período de análise (2008 a 2022).

Fazemos a distinção entre controles fixos no tempo e controles dinâmicos para capturar tanto as características estáticas quanto as variáveis dos municípios. Controles fixos no tempo, como o PIB municipal em 2007, permitem considerar as diferenças iniciais em nível entre os municípios. Por exemplo, um município com um PIB mais elevado em 2007 pode enfrentar maior pressão por recursos, resultando em mais desmatamento e grilagem.

Controles dinâmicos, como o crescimento médio do PIB entre 2008 e 2022, são adicionados para capturar as tendências ao longo do tempo nas características dos municípios. Um município cujo PIB tenha crescido mais rapidamente ao longo do tempo pode também enfrentar maior pressão por recursos, refletindo mudanças econômicas e estruturais que também podem afetar o desmatamento e a grilagem.

Assim, ao combinar controles fixos no tempo e dinâmicos, conseguimos uma análise mais robusta que leva em conta tanto as condições iniciais dos municípios quanto suas variações ao longo do período estudado.

3.3.1 Controles Geográficos e Ambientais

Para esse grupo, utilizamos controles de área do município e efeitos fixos de estado da federação (UF), ambos extraídos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Além disso, também utilizamos a proporção de FPNDs em relação às florestas totais do município em 2007.

Controlar para fatores geográficos e ambientais é essencial, pois podem influenciar a dinâmica de desmatamento e de grilagem na região. Isso por que municípios maiores ou com uma maior proporção de FPNDs podem enfrentar mais pressão

por desmatamento e maior dificuldade de fiscalização. Adicionar efeitos fixos de estado ajudam a capturar tendências regionais fixas que podem impactar ambos os fenômenos.

Além disso, realizamos o teste de correlação de Pearson³ entre o índice de exposição à grilagem e a proporção de FPNDs dos municípios, encontrando uma correlação positiva e significativa ao nível de 1%. Ou seja, temos que municípios com índices de exposição à grilagem mais elevados também estão associados a uma maior proporção de FPNDs. Com isso, incluir a proporção de FPNDs como controle é crucial, pois reduzimos a possibilidade de nossos resultados representarem simplesmente um efeito das FPNDs no desmatamento, em vez do efeito das FPNDs com sinais de grilagem sobre o desmatamento.

3.3.2 Controles Sociais e Econômicos

Para esse grupo, coletamos dados sobre o Índice de Desenvolvimento Humano municipal (IDHM), população municipal e o Produto Interno Bruto (PIB) municipal. Todos os controles foram extraídos do IBGE.

Esses controles são considerados em nossa análise pois refletem a capacidade econômica e social das municípios, fatores esses que influenciam a pressão sobre os recursos naturais e, conseqüentemente, as taxas de desmatamento. Variáveis como PIB e população ajudam a capturar o crescimento econômico e demográfico que pode estar associado ao aumento da demanda por terras, desmatamento e grilagem.

Os conjuntos de dados de população e PIB cobrem os anos de 2007 a 2022⁴. Já os dados do IDHM cobrem apenas o ano de 2010, pois esta série foi descontinuada após esse ano. Além disso, dados do PIB foram deflacionados pelo IPCA com base em 2022, garantindo a comparabilidade ao longo do tempo.

Os controles fixos incluem o IDHM em 2010, a população em 2007, o PIB municipal em 2007 e o PIB per capita municipal em 2007. Já os controles dinâmicos consideram o crescimento percentual da população entre 2008 e 2022, o crescimento médio do PIB municipal entre 2008 e 2022 e o crescimento médio do PIB per capita

³ O teste de correlação de Pearson avalia a relação linear entre variáveis contínuas, fornecendo um coeficiente entre -1 e +1 para indicar a força e direção da correlação, com o valor p determinando sua significância estatística.

⁴ Como dados oficiais e precisos de população são apenas realizados pelo Censo Demográfico a cada 10 anos, para anos que não são de censo, utilizamos estimativas de população municipal. Esses dados também são produzidos pelo IBGE.

municipal entre 2008 e 2022.

As transformações nos dados para os controles dinâmicos foram realizadas da seguinte maneira:

$$\Delta Pop_i = \frac{Pop_{i,2022} - Pop_{i,2008}}{Pop_{i,2008}} \quad (3.5)$$

$$\overline{\Delta PIB}_i = \frac{1}{n_t} \times \sum_{t=2008}^{2022} \Delta PIB_{i,(t,t-1)} \quad (3.6)$$

$$\overline{\Delta PIBp.c.}_i = \frac{1}{n_t} \times \sum_{t=2008}^{2022} \Delta PIBp.c._{i,(t,t-1)} \quad (3.7)$$

Onde:

- ΔPop_i representa o crescimento populacional no município i .
- $\overline{\Delta PIB}_i$ representa o crescimento médio do PIB no município i .
- $\overline{\Delta PIBp.c.}_i$ representa o crescimento médio do PIB per capita no município i .
- $Pop_{i,t}$ representa a população no ano t para o município i .
- $\Delta PIB_{i,(t,t-1)}$ representa a taxa de crescimento do PIB entre os anos $t - 1$ e t para o município i .
- $\Delta PIBp.c._{i,(t,t-1)}$ representa a taxa de crescimento do PIB per capita entre os anos $t - 1$ e t para o município i .
- n_t representa o número de anos considerados no período de 2008 a 2022.

3.3.3 Controles Agropecuários

Para esse grupo, utilizamos dados de área de produção agrícola municipal e área destinada à pecuária municipal, obtidos, respectivamente, da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) e da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM), ambas realizadas pelo IBGE. Esses dados abrangem os anos de 2007 a 2022.

Esses controles são considerados em nossa análise pois nos fornecem uma medida da pressão exercida pelo setor agropecuário sobre as florestas, o que pode impactar

no desmatamento e no processo de grilagem. Além disso, monitorar o crescimento dessas áreas ao longo do tempo permite identificar tendências de uso da terra que contribuem para ambos os fenômenos, diferenciando entre períodos de expansão agrícola e períodos de estabilidade ou declínio.

Os controles fixos incluem a proporção da área municipal destinada à produção agrícola em 2007 e a proporção da área municipal destinada à produção pecuária em 2007.

Já os controles dinâmicos consideram o crescimento da proporção da área municipal destinada à produção agrícola e à produção pecuária entre 2008 e 2022. As transformações nos dados para os controles dinâmicos foram realizadas da seguinte maneira:

$$\Delta A_i = \frac{A_{i,2022} - A_{i,2008}}{A_{i,2008}} \quad (3.8)$$

$$\Delta P_i = \frac{P_{i,2022} - P_{i,2008}}{P_{i,2008}} \quad (3.9)$$

Onde:

- ΔA_i representa o crescimento da proporção da área do município i destinada à produção agrícola entre 2008 e 2022.
- ΔP_i representa o crescimento da proporção da área do município i destinada à produção pecuária entre 2008 e 2022.
- $A_{i,t}$ representa a proporção da área do município i destinada à produção agrícola no ano t , onde $t \in \{2008, 2022\}$.
- $P_{i,t}$ representa a proporção da área do município i destinada à produção pecuária no ano t , onde $t \in \{2008, 2022\}$.

3.3.4 Controles de Infraestrutura

Para os controles de infraestrutura, utilizamos informações sobre rodovias estaduais e federais, bem como ferrovias, obtidas do Mapbiomas. Todos os dados são referentes ao ano de 2022. Esses controles são essenciais para capturar a acessibilidade e conectividade dos municípios, fatores que podem influenciar tanto a grilagem

quanto o desmatamento. Dado que a malha de transporte facilita o acesso a áreas remotas, sua maior extensão aumenta a probabilidade de desmatamento ilegal e expansão agrícola.

Dado o caráter lento de alterações nas malhas ferroviárias e rodoviárias na região, não utilizamos controles dinâmicos para as informações de infraestrutura.

Na tabela 3, temos as estatísticas descritivas de todos os controles utilizados na análise.

Tabela 3 – Estatísticas descritivas dos controles municipais

Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo
Área Municipal (km ²)	11728.8	19366.27	103.7	1818.5	4953.6	12202.31	159549.5
Proporção FPNDs/Florestas (%)	8.1	13.5	0.0	0.5	3.9	9.7	91.0
IDH (2010)	0.6	0.1	0.4	0.6	0.6	0.6	0.8
População (2007)	33604	96510.4	1349	9906	17845	31084	1646602
PIB (2007; R\$ 1.000.000)	196.0	4772.3	18.6	111.7	196.0	418.0	85458.5
PIB p.c (2007, R\$ 1.000)	12.7	11.8	3.7	8.3	12.7	18.5	81.7
Área de Ferrovia (km ²)	0.2	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	13.4
Área de Rodovia (km ²)	2.7	5.7	0.0	0.2	1.0	2.8	70.6
Proporção Área Agrícola (2007; %)	3.5	9.3	0.0	0.3	1.2	3.5	112.2
Proporção Área Pecuária (2007; %)	32.3	38.0	0.0	2.0	19.3	52.8	173.7
Δ População (2008 – 2022; %)	14.2	1.9	-53.3	-3.6	11.4	25.4	195.0
Δ PIB (2008 – 2022; %)	106.3	144.4	-41.0	49.1	80.3	112.5	1887.0
Δ PIBp.c. (2008 – 2022; %)	80.7	181.4	-46.0	22.6	44.0	82.8	2257.0
Δ Proporção Área Plantada (2008 – 2022; %)	67.2	178.6	0.0	4.3	17.6	61.0	1766.9
Δ Proporção Área de Pecuária (2008 – 2022; %)	566.3	642.5	0.0	41.1	309.0	914.6	2801.8

3.4 Estrategia Empírica

A estratégia empírica deste estudo baseia-se na realização de uma série de regressões lineares múltiplas, utilizando os índices de desmatamento como variáveis dependentes e o índice de grilagem como variável independente, além de um conjunto de controles ao nível do município.

As regressões lineares são uma técnica estatística que permite explorar a relação entre uma variável dependente (no caso, desmatamento) e uma ou mais variáveis independentes (neste caso, o índice de grilagem e os controles).

Nesse contexto, serão estimados três modelos de regressão: desmatamento total, desmatamento com sinais de grilagem e desmatamento em propriedades regularizadas. Todos os modelos apresentam as mesmas especificações e controles, sendo a única diferença entre eles as variáveis dependentes - conforme especificado na seção 3.2.2.

Além disso, conduzimos um exercício contrafactual para investigar como reduções do índice de exposição à grilagem poderiam potencialmente impactar os índices de desmatamento. Esse exercício nos proporcionou uma estimativa da extensão da área desmatada que é influenciada pelo índice de exposição à grilagem.

3.4.1 Especificação dos Modelos

As equações gerais das regressões lineares múltiplas utilizadas são:

$$D_i^{total} = \beta_0 + \beta_1 G_i + \gamma C_i + \mu_i \quad (3.10)$$

$$D_i^{Grilagem} = \beta_0 + \beta_1 G_i + \gamma C_i + \mu_i \quad (3.11)$$

$$D_i^{Regularizado} = \beta_0 + \beta_1 G_i + \gamma C_i + \mu_i \quad (3.12)$$

Onde:

- D_i^{Total} é o índice de desmatamento total no município i - isto é, o desmatamento total acumulado nos anos prodes 2008 a 2022, normalizado pela área de floresta do município em 2007.
- D_i^{Grilagem} é o índice de desmatamento com sinais de grilagem no município i - isto é, o desmatamento em áreas de sobreposição de PFNDs e CARs acumulado nos anos prodes 2008 a 2022, normalizado pela área de floresta do município em 2007.
- $D_i^{\text{Regularizado}}$ é o índice de desmatamento em propriedades regularizadas no município i - isto é, o desmatamento em propriedades privadas registradas no SIGEF ou tituladas através do programa Terra Legal, acumulado nos anos prodes 2008 a 2022, normalizado pela área de floresta do município em 2007.
- γG_i é o índice de exposição à grilagem do município i .
- γC_i é um vetor de controles ao nível do município, incluindo área do município, efeitos fixos de UF, PIB, PIB per capita, produção agropecuária, malha de transportes, IDH, população, entre outros.
- β_1, β_2, γ são os coeficientes das variáveis independentes.
- μ_i é o termo de erro.

3.4.2 Estrutura das Regressões

Para cada modelo, realizamos oito regressões onde alternamos entre os grupos de controles utilizados. Primeiro, incluímos apenas o índice de grilagem. Em seguida, adicionamos controles geográficos e ambientais, depois controles sociais e econômicos fixos, seguidos pelos controles agropecuários fixos e, posteriormente, pelos controles de infraestrutura fixos. A sexta regressão incorpora todos os controles dinâmicos, a sétima utiliza todos os controles fixos, e a oitava considera todos os controles simultaneamente. Esse procedimento permite avaliar individualmente o impacto de cada grupo de controles sobre a relação entre o índice de grilagem e os índices de desmatamento.

3.4.3 Contrafactual

Nesta seção, desenvolvemos cenários contrafactuais para avaliar o impacto potencial da redução do índice de exposição à grilagem sobre os índices de desmatamento. Utilizamos três diferentes níveis de exposição à grilagem: primeiro quartil, mediana e terceiro quartil.

No cenário do primeiro quartil, ajustamos todos os municípios cujos índices de grilagem estão acima do primeiro quartil para o valor do primeiro quartil. Isso nos permite explorar o impacto potencial de uma redução mais significativa na exposição à grilagem, já que um maior número de municípios são afetados pela redução.

No cenário da mediana, ajustamos todos os municípios cujos índices de grilagem estão acima da mediana para o valor da mediana. Isso representa um nível moderado de redução na exposição à grilagem.

No cenário do terceiro quartil, ajustamos todos os municípios cujos índices de grilagem estão acima do terceiro quartil para o valor do terceiro quartil. Isso nos permite explorar o impacto potencial da redução de uma redução mais conservadora, que afeta menos municípios, na exposição à grilagem.

As equações utilizadas para calcular o índice de desmatamento total contrafactual para cada município (\widehat{D}_{Total_i}) são as seguintes:

$$\widehat{D}_i^{Total} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 G_i^{1^o \text{ Quartil}} + \gamma C_i + \mu_i \quad (3.13)$$

$$\widehat{D}_i^{Total} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 G_i^{Mediana} + \gamma C_i + \mu_i \quad (3.14)$$

$$\widehat{D}_i^{Total} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 G_i^{3^o \text{ Quartil}} + \gamma C_i + \mu_i \quad (3.15)$$

Onde:

- \widehat{D}_i^{Total} é o índice de desmatamento total contrafactual para o município i .
- $G_i^{1^o \text{ Quartil}}$ é o índice de grilagem do município i , onde todos os municípios cujos índices são acima do primeiro quartil, passam a ter o índice do primeiro quartil.

- $G_i^{Mediana}$ é o índice de grilagem do município i , onde todos os municípios cujos índices são acima da mediana, passam a ter o índice mediano.
- $G_i^{3^o\ Quartil}$ é o índice de grilagem do município i , onde todos os municípios cujos índices são acima do terceiro quartil, passam a ter o índice do terceiro quartil.

Esses cenários contrafactuais possibilitam avaliar o impacto da redução da grilagem ao diminuir os níveis de exposição. Por meio deles, podemos estimar a quantidade de desmatamento que poderia ser evitada caso políticas eficazes de combate à grilagem fossem implementadas, reduzindo a exposição dos municípios à essa prática.

4 Resultados

Na tabela 4 temos as regressões correspondentes às equações múltiplas 3.10, 3.12 e 3.11.

Tabela 4 – Efeito da exposição municipal à grilagem no desmatamento

	Desmatamento								
	Médio	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	Desmatamento Total								
Índice de grilagem	6.384	0.367*** (0.082)	0.320*** (0.089)	0.364*** (0.083)	0.264*** (0.081)	0.361*** (0.082)	0.264*** (0.079)	0.261*** (0.093)	0.256*** (0.089)
Observações		335	335	335	334	335	335	334	334
R ²		0.057	0.251	0.061	0.139	0.060	0.195	0.276	0.344
	Desmatamento com sinais de grilagem								
Índice de grilagem	0.531	0.129*** (0.008)	0.128*** (0.010)	0.129*** (0.008)	0.124*** (0.009)	0.128*** (0.008)	0.124*** (0.009)	0.127*** (0.010)	0.127*** (0.010)
Observações		335	335	335	334	335	335	334	334
R ²		0.414	0.486	0.422	0.424	0.421	0.425	0.499	0.504
	Desmatamento em propriedades regularizadas								
Índice de grilagem	1.756	0.097*** (0.027)	0.101*** (0.029)	0.100*** (0.026)	0.067** (0.027)	0.096*** (0.027)	0.081*** (0.025)	0.090*** (0.030)	0.084*** (0.029)
Observações		335	335	335	334	335	335	334	334
R ²		0.038	0.274	0.094	0.112	0.049	0.230	0.297	0.368
	Controles								
Geográficos e Ambientais			X					X	X
Sociais e Econômicos Fixos				X				X	X
Agropecuários Fixos					X			X	X
Infraestrutura						X		X	X
Dinâmicos							X		X

A tabela acima apresenta os resultados de três modelos de regressão linear realizados para analisar a relação entre desmatamento e exposição à grilagem nos municípios da Amazônia Legal. Cada modelo utiliza um índice de desmatamento como variável dependente e o índice de exposição à grilagem municipal como variável independente, seguido por diversos conjuntos de controles. O índice de exposição à grilagem municipal representa a área de sobreposição entre Florestas Públicas Não Destinadas (FPNDs) e imóveis rurais registrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR), normalizado pela área total de florestas do município em 2007. O índice de desmatamento total representa o desmatamento acumulado de agosto de 2007 a julho de 2022, normalizado pela área de floresta em 2007. O desmatamento com sinais de grilagem refere-se ao desmatamento em áreas de sobreposição entre FPNDs e CARs no mesmo período, também normalizado pela área de floresta em 2007. O desmatamento em propriedades regularizadas corresponde ao desmatamento em propriedades privadas registradas no SIGEF ou tituladas pelo programa Terra Legal, igualmente normalizado pela área de floresta em 2007. Os controles geográficos e ambientais incluem a área municipal, efeitos fixos de UF e proporção de FPNDs em relação às florestas totais. Os controles sociais e econômicos compreendem o IDHM em 2010, o PIB e PIB per capita em 2007 e a população em 2007. Os controles agropecuários consideram a proporção do município destinada à agricultura e à pecuária. Os controles de infraestrutura abrangem as áreas de ferrovias e rodovias em 2022. Além disso, os controles dinâmicos incluem o crescimento médio do PIB e do PIB per capita, o crescimento percentual da população, e o crescimento da proporção da área municipal destinada à agricultura e à pecuária, todos entre 2008 e 2022.

Os resultados indicam que o índice de exposição à grilagem possui coeficientes positivos e estatisticamente significantes em todas as especificações dos modelos, com níveis de significância de 1%. Mesmo ao controlar para diversos fatores que influenciam tanto a exposição à grilagem quanto o desmatamento, como infraestrutura de transporte, área de agropecuária e características socioeconômicas, a significância e a magnitude dos coeficientes permanecem consistentes. Isso sugere uma relação robusta entre grilagem e desmatamento.

Na coluna (8), que inclui todos os controles, observa-se que uma variação de 1 ponto percentual no índice de exposição à grilagem está associada a um aumento de cerca de 0.25 ponto percentual no índice de desmatamento total. Para o desmatamento com sinais de grilagem, essa variação é de cerca de 0.13 ponto percentual.

Já para o desmatamento em propriedades regularizadas, a variação é de aproximadamente de 0.08 ponto percentual.

Este último resultado indica que, em municípios mais expostos à grilagem, o desmatamento é mais elevado até mesmo em áreas sem sinais de apropriação ilegal (ou seja, propriedades privadas regularizadas), em comparação com municípios menos expostos à grilagem.

Uma possível razão para esse fenômeno é um efeito de transbordamento relacionado à norma social no desmatamento desses municípios. Como em municípios mais expostos à grilagem o desmatamento total também é mais elevado, essa prática pode ser mais normalizada ou socialmente aceita. Assim, mesmo os proprietários de imóveis regularizados podem se sentir mais inclinados a desmatar.

Outra possibilidade está relacionada às ações de comando e controle. Municípios mais expostos à grilagem e com mais desmatamento podem ter instituições de fiscalização e combate aos crimes ambientais menos eficientes. Isso reduziria a capacidade do município de coibir qualquer tipo de desmatamento, inclusive em propriedades regularizadas.

Além disso, realizamos uma análise de elasticidade ao dividir os coeficientes da coluna (8) pelos respectivos valores médios de desmatamento de cada índice. Para o desmatamento total e em propriedades regularizadas, observamos que um aumento de 1 ponto percentual no índice de exposição à grilagem está associado a um acréscimo de 0.04 ponto percentual na média desses índices. No caso do desmatamento com sinais de grilagem, esse aumento é de 0.24 ponto percentual.

Este resultado é particularmente relevante, pois indica que a exposição à grilagem tem um impacto proporcionalmente mais forte no desmatamento em áreas de sobreposição entre FPNDs e CARs (áreas com sinais de grilagem). Isso reforça a hipótese de que a grilagem é um vetor de desmatamento nos municípios da região.

Por fim, os valores de R^2 variam consideravelmente entre os diferentes modelos, correspondendo a 0.34 no caso do desmatamento total, 0.50 para o desmatamento com sinais de grilagem e 0.37 para o desmatamento em propriedades regularizadas. Esses valores indicam que, embora o índice de grilagem explique uma parte significativa da variação no desmatamento, há outros fatores não capturados pelos modelos que também influenciam os níveis de desmatamento.

4.1 Análise temporal

Para avaliar a robustez dos resultados obtidos, realizamos uma análise temporal para identificar quais horizontes de tempo contribuíram mais significativamente para os efeitos observados no modelo de desmatamento total (equação 3.10). Para isso, consideramos três períodos distintos: 2008 a 2012, 2013 a 2017 e 2018 a 2022, rodando o modelo separadamente para cada um desses intervalos.

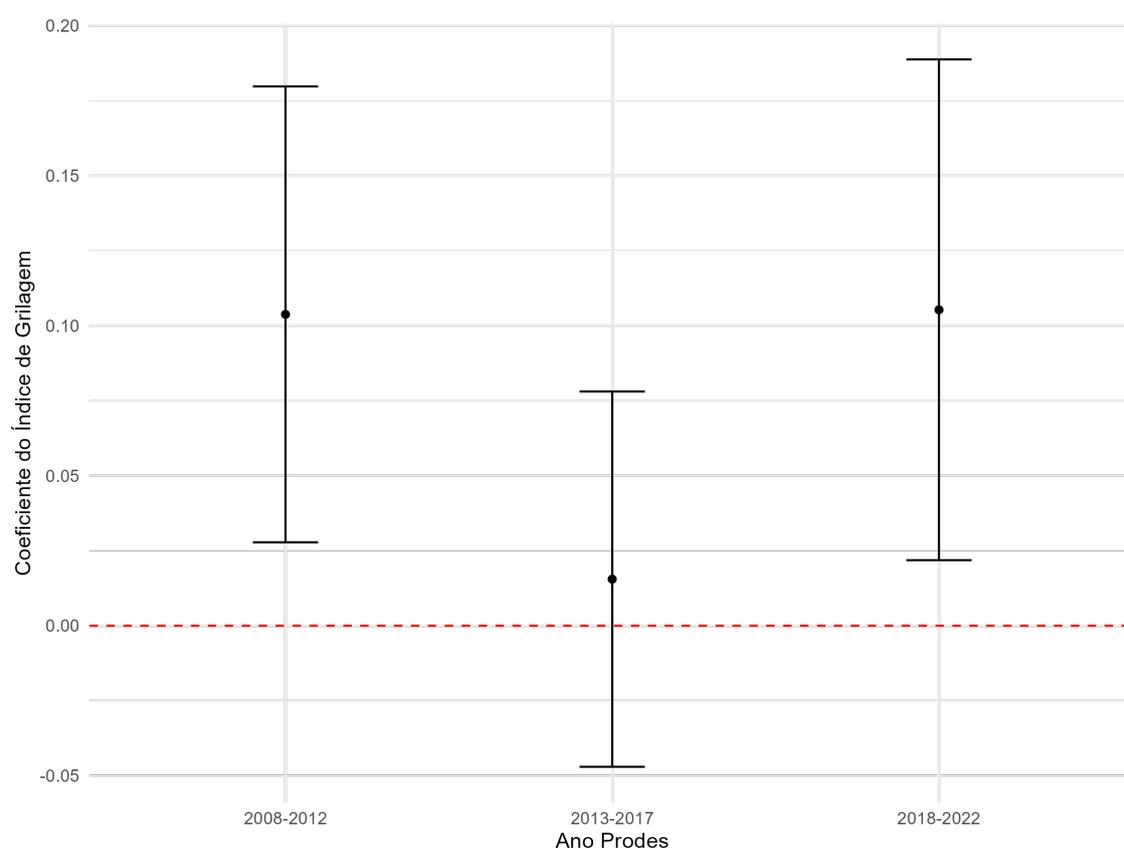
Todos os controles, incluindo os dinâmicos, foram ajustados para se adequarem a cada um desses horizontes temporais. Esse ajuste foi necessário para garantir que as variáveis de controle permanecessem relevantes e precisas para cada período específico analisado.

No gráfico 5, apresentamos os coeficientes do índice de exposição à grilagem do modelo, juntamente com seus respectivos intervalos de confiança, para cada um dos três intervalos de tempo considerados.

Os resultados indicam que os efeitos mais fortes do índice de exposição à grilagem sobre o desmatamento são observados nos períodos de 2008 a 2012 e de 2018 a 2022, com um impacto ligeiramente mais acentuado no último período. Este resultado é coerente, dado que o índice de exposição à grilagem refere-se ao ano de 2020. Assim, é razoável esperar que a relação entre desmatamento e grilagem seja mais pronunciada em um período próximo a esse ano, como de fato ocorre.

Em anexo, na figura 7, temos os coeficientes do índice de exposição à grilagem ano a ano, possibilitando a visualização dos efeitos da exposição à grilagem no desmatamento de forma mais detalhada.

Figura 5 – Coeficiente do índice de exposição à grilagem por intervalos de 5 Anos

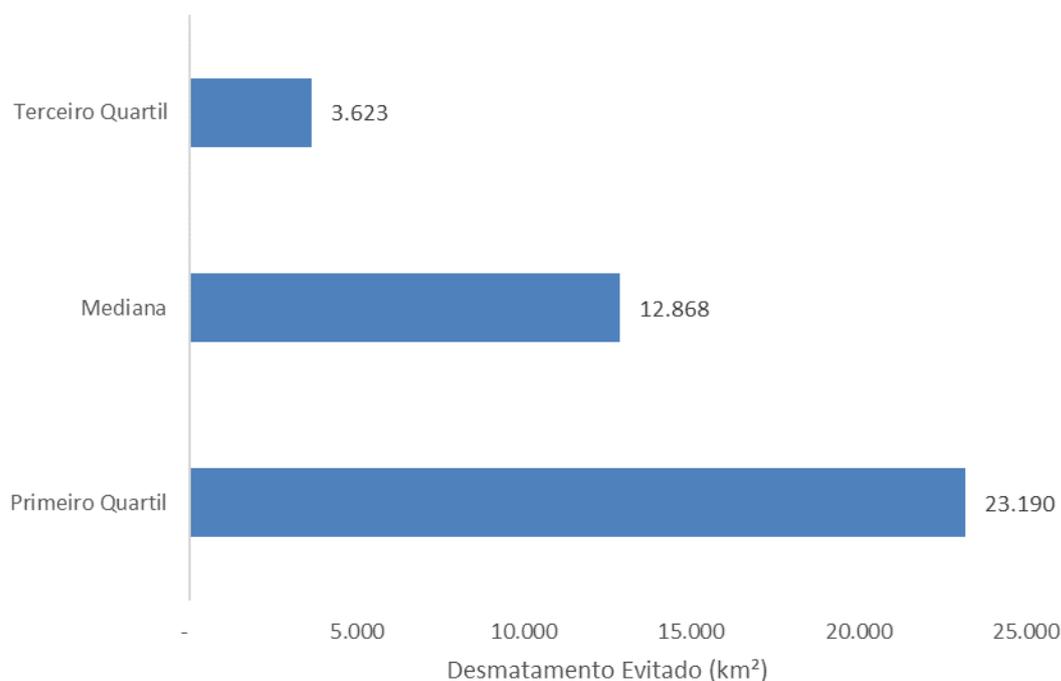


Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Prodes, Imafflora e Serviço Florestal Brasileiro.

4.2 Contrafactual

Na tabela 6, temos os resultados em termos de desmatamento evitado para os três exercícios contrafactuais apresentados na seção 3.4.3.

Figura 6 – Contrafactuais



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Prodes, Imaflores e Serviço Florestal Brasileiro.

Como esperado, o cenário associado à maior redução no desmatamento é o do primeiro quartil. Nesse cenário, ajustamos todos os municípios cujos índices de grilagem estão acima do primeiro quartil para o valor do primeiro quartil. Dessa forma, os resultados indicam uma redução de 23.190 km², ou 22%, no desmatamento total entre 2008 e 2022. Para alcançar esse resultado, 251 municípios teriam de ser impactados, abrangendo uma área total com sinais de grilagem de 98 mil km², o que representa 99% do total das áreas sobrepostas.

No cenário da mediana, ajustamos todos os municípios cujos índices de grilagem estão acima da mediana para o valor da mediana. Os resultados indicam uma redução de 12.868 km², ou 12%, no desmatamento total entre 2008 e 2022. Esse resultado impactaria 167 municípios, abrangendo uma área total com sinais de grilagem de 85 mil km², o que representa 86% do total das áreas sobrepostas.

No cenário do terceiro quartil, mais conservador, ajustamos todos os municípios cujos índices de grilagem estão acima do terceiro quartil para o valor do terceiro quartil. Os resultados indicam uma redução de 3.623 km², ou 3,5%, no desmatamento total entre 2008 e 2022. Esse montante de desmatamento corresponde a 33% do desmatamento em FPNDs sobrepostas com CARs no período. Esse resultado impactaria 84 municípios, abrangendo uma área total com sinais de grilagem de 45 mil km², o que representa 46% do total das áreas sobrepostas.

Entre os três cenários analisados, o contrafactual do terceiro quartil parece ser o mais factível. O ajuste envolve um número menor de municípios em comparação com os demais e representa um percentual ainda importante do desmatamento em áreas com sinais de grilagem (33%).

5 Conclusão

Neste estudo, analisamos a relação entre a grilagem de terras e o desmatamento na Amazônia Brasileira. A partir de uma base de dados robusta, construímos um índice de exposição à grilagem municipal e investigamos seu impacto no desmatamento acumulado entre agosto de 2007 e julho 2022. Este trabalho contribui para a literatura ao fornecer subsídios empíricos sobre a conexão entre grilagem e desmatamento, preenchendo uma lacuna importante nos estudos existentes.

Os resultados indicam que a exposição à grilagem de terras tem uma correlação significativa e positiva com o desmatamento nos municípios da Amazônia Legal. Municípios com maior exposição à grilagem apresentaram um maior percentual de suas florestas desmatadas ao longo do tempo. Os resultados destacam a vulnerabilidade particular das FPNDs à ocupação ilegal e ao desmatamento associado a essa prática. Além disso, a análise contrafactual reforça a robustez dos resultados, mostrando que uma menor exposição à grilagem estaria associada a uma redução considerável do desmatamento na região.

A importância desses achados reside no seu alinhamento com a literatura existente e na contribuição para a formulação de políticas públicas. A grilagem de terras é um problema fundiário grave para o país e tem relações com o desmatamento. Esses fenômenos estão associados à criminalidade, violência no campo, perda de biodiversidade e diminuição dos serviços ecossistêmicos da Amazônia. Portanto, os resultados deste estudo apontam para a necessidade de medidas mais rigorosas de enfrentamento à grilagem, bem como políticas públicas que promovam a conservação ambiental na Amazônia.

Bibliografia

ALBURQUERQUE, A.; COSTA, L. Environmental regulation and bail outs under weak state capacity: Deforestation in the brazilian amazon. *Elsevier*, 2021.

ALENCAR, A. et al. Amazônia em chamas: O fogo e o desmatamento em 2019 e o que vem em 2020. *IPAM*, 2020.

AZEVEDO, A. A. et al. Limits of brazil's forest code as a means to end illegal deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 114, n. 29, p. 7653–7658, 2017. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1604768114>.

AZEVEDO-RAMOS, C. et al. Lawless land in no man's land: The undesignated public forests in the brazilian amazon. *Land Use Policy*, v. 99, p. 104863, 2020. ISSN 0264-8377. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837720302180>.

AZEVEDO, T. et al. Relatório anual do desmatamento no brasil 2020. *Mapbiomas Alerta*, 2021.

BRITO, B. et al. Corrigendum: Stimulus for land grabbing and deforestation in the brazilian amazon. *IOP SCIENCE*, 2019.

BRITO, B.; GOMES, P. Propostas para um ordenamento territorial na amazônia que reduza o desmatamento. *Imazon*, 2022.

CHIAVARI, J.; LOPES, C.; ARAUJO, J. Panorama dos direitos de propriedade no brasil rural. *Climate Policy Initiative*, 2021.

Divisão de Processamento de Imagens - DPI/OBT/INPE. *Incremento no desmatamento da Amazônia Legal à partir de 2008*. 2022. <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/map/deforestation>. Acesso em: 25 maio 2024.

FIORAVANTI, C. As terras imaginárias do pará. *Revista Pesquisa Fapesp*, v. 279, 2019. Acesso em: 30/06/2024.

G1. *Fraude na Amazônia: empresas usam terras públicas como se fossem particulares para vender créditos de carbono a gigantes multinacionais*. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2023/10/02/fraude-na-amazonia-empresas-usam-terras-publicas-como-se-fossem-particulares-para-vender-creditos-de-carbono-a-gigantes-multinacionais.ghtml>.

GANDOUR, C. Políticas públicas para proteção da floresta amazônica: O que funciona e como melhorar. *Climate Policy Initiative*, 2021.

GANDOUR, C.; MOURÃO, J. Coordenação estratégica para o combate ao desmatamento na amazônia: Prioridades para os governos federal e estaduais. *Climate Policy Initiative*, 2022.

Greenpeace. *Grilagem de terras na Amazônia: Negócio bilionário ameaça a floresta e populações tradicionais*. Sem data. Disponível em <https://bit.ly/2Yh4DKL>. Acesso em: 30/06/2024.

IBGE. Ibge atualiza limites de municípios no mapa da amazônia legal. 2021. "Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/30958-ibge-atualiza-limites-de-municipios-no-mapa-da-amazonia-legal>: :text=Atualmente

INCRA. *O Livro Branco da Grilagem de Terras no Brasil*. 1999. Accessed: 2024-06-30. Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/acervo/documentos/o-livro-branco-da-grilagem-de-terras-no-brasil>.

INPE. *Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES – Amazônia)*. 2021. Accessed: 2024-06-30. Disponível em: <https://bit.ly/3wSIJft>.

IPAM. *Florestas Públicas não destinadas Grilagem*. 2020. <https://ipam.org.br/como-atuamos/biomas/amazonia/>. Acesso em: 25 maio 2024.

LIMA, F.; BRAGANÇA, A.; ASSUNÇÃO, J. A economia da pecuária na amazônia: Grilagem ou expansão da fronteira agropecuária? *Climate Policy Initiative*, 2021.

MOREIRA, E. O cadastro ambiental rural: A nova face da grilagem na amazônia? *Abrampa*, 2023. Disponível em: <https://abrampa.org.br/en/o-cadastro-ambiental-rural-a-nova-face-da-grilagem-na-amazonia/>.

MOUTINHO PAULO, R. G.; AZEVEDO-RAMOS, C. Achieving zero deforestation in the brazilian amazon: What is missing? *Elementa*, 2016.

RAMOS, C. et al. Lawless land in no man's land: The undesignated public forests in the brazilian amazon. *ELSEVIER*, 2020.

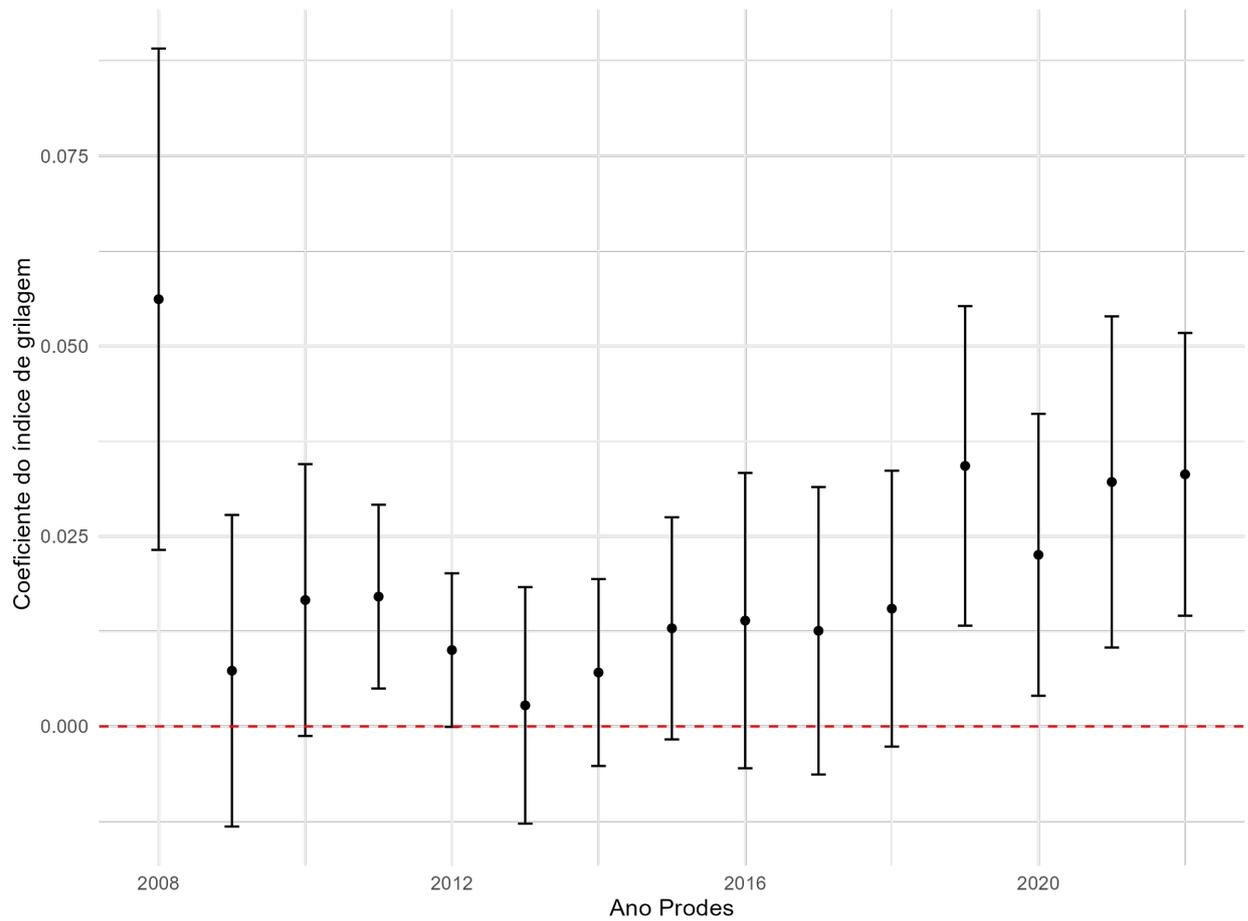
SEEG. Emissões totais. 2021. Disponível em: https://plataforma.seeg.eco.br/total_mission.

SPRACKLEN, D. V.; ARNOLD, S. R.; TAYLOR, C. M. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. *Nature*, Nature Publishing Group, v. 489, n. 7415, p. 282–285, 2012.

VALDIONAS, A. P. et al. Desmatamento ilegal na amazônia e no matopiba: falta transparência e acesso à informação. *Instituto Centro de Vida (ICV), Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (IMAFLORA), Laboratório de Gestão e Serviços Ambientais (LAGESA)*, 2021.

6 Anexos

Figura 7 – Coeficiente do Índice de Grilagem por Ano



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Prodes, Imaflores e Serviço Florestal Brasileiro.