

# Efeitos dos alertas de desmatamento sobre a aplicação da lei: evidências para a Amazônia Legal

Iago Gomes Gonçalves\*  
Lorena Vieira Costa†

## Resumo

Este estudo investiga o impacto dos alertas de desmatamento sobre a aplicação de embargos na Amazônia Legal entre 2015 e 2022. A análise empírica revela que um aumento nos alertas de desmatamento está associado a um aumento nos embargos. Além disso, o estudo destaca que a efetividade dos embargos varia conforme a capacidade de monitoramento e as políticas governamentais, reforçando a importância do contexto ambiental e institucional do país, sobretudo durante o governo Bolsonaro. Os resultados mostram que a interação entre os alertas de desmatamento e o governo Bolsonaro foi negativa e significativa. Isso sugere que, apesar do aumento nos alertas, outros fatores associados ao governo ou suas políticas podem estar contrabalançando esse efeito, levando a uma redução no número de embargos por desmatamento. A análise também considera outras variáveis como área de cultivo de soja, PIB estadual e despesa ambiental, concluindo que o PIB estadual está positivamente associado à aplicação de embargos, enquanto maiores áreas destinadas ao cultivo de soja estão negativamente associadas. Esta pesquisa fornece evidências sobre a importância de um monitoramento ambiental e políticas eficazes na preservação da Amazônia, contribuindo para a literatura ao focar diretamente na relação causal entre alertas de desmatamento e embargos, até então pouco explorada.

**Palavras-chave:** Alertas de desmatamento, Amazônia Legal, Embargos.

## Abstract

This study investigates the impact of deforestation alerts on the application of embargoes in the Legal Amazon between 2015 and 2022. The empirical analysis reveals that an increase in deforestation alerts is associated with an increase in embargoes. Additionally, the study shows that the effectiveness of embargoes varies with monitoring capacity and government policies, emphasizing the significance of the country's environmental and institutional context, particularly during the Bolsonaro administration. The results indicate that the interaction between deforestation alerts and the Bolsonaro government was negative and significant. This suggests that despite the increase in alerts, other factors associated with the government or its policies may counterbalance this effect, leading to a reduction in the number of deforestation embargoes. The analysis also considers other variables such as soybean cultivation area, state GDP, and environmental expenditures, concluding that state GDP is positively associated with the application of embargoes, while larger areas allocated to soybean cultivation are negatively associated. This research provides evidence on the importance of environmental monitoring and effective policies in preserving the Amazon, contributing to the literature by directly focusing on the causal relationship

---

\*Doutorando em Economia Aplicada pelo PPGEA/UFV. E-mail: iago.g.goncalves@ufv.br.

†Professora adjunta no Departamento de Economia Rural (DER/UFV). E-mail: lorena.costa@ufv.br.

between deforestation alerts and embargoes, which has previously been little explored.

**Keywords:** Deforestation alerts, Legal Amazon, Embargoes.

**Área 9:** Meio ambiente, recursos naturais e sustentabilidade.

**Classificação JEL:** Q28, Q57, Q51.

## 1 Introdução

A região da Amazônia Legal abrange aproximadamente 58.9% do território brasileiro, de acordo com os dados mais recentes referentes à malha municipal<sup>1</sup>. Atualmente, o desmatamento é um dos principais desafios ambientais na Amazônia e a preservação da vegetação nativa na Floresta Amazônica é condição imperativa para conservação e manutenção do ecossistema florestal. O combate à perda florestal na Amazônia contribui para o enfrentamento da ilegalidade na região, tendo em vista que grande parte do desmatamento é ilegal, resultando em elevados custos produtivos e perda de bem-estar social. Contudo, os esforços de monitoramento e fiscalização para frear o avanço do desmatamento foram eficazes nas últimas décadas (Gandour, 2021; Merkus, 2024).

A Figura 1 exibe a trajetória da área de desmatamento na Amazônia Legal (em km<sup>2</sup>) entre 1988 e 2023. Os dados revelam períodos marcados por oscilações na extensão desmatada ao longo dos anos. No intervalo de 2004 a 2012, as medidas para conter o desmatamento tiveram impacto expressivo na redução da taxa de desmatamento na Amazônia brasileira, refletidas por quedas consecutivas na área desmatada. Esse esforço resultou na redução em mais de 80% na taxa de desmatamento na região (INPE, 2024b). A Amazônia Legal apresentou uma redução de 27.772 km<sup>2</sup> de área desmatada em 2004, para 4.571 km<sup>2</sup> em 2012, atingindo, assim, mínima histórica registrada. No entanto, coincidindo com uma crise econômica e institucional, houve uma reversão das taxas de desmatamento a partir de 2012, que começaram a aumentar novamente, enfraquecendo os esforços ambientais sob pressão política (Burgess et al., 2019).

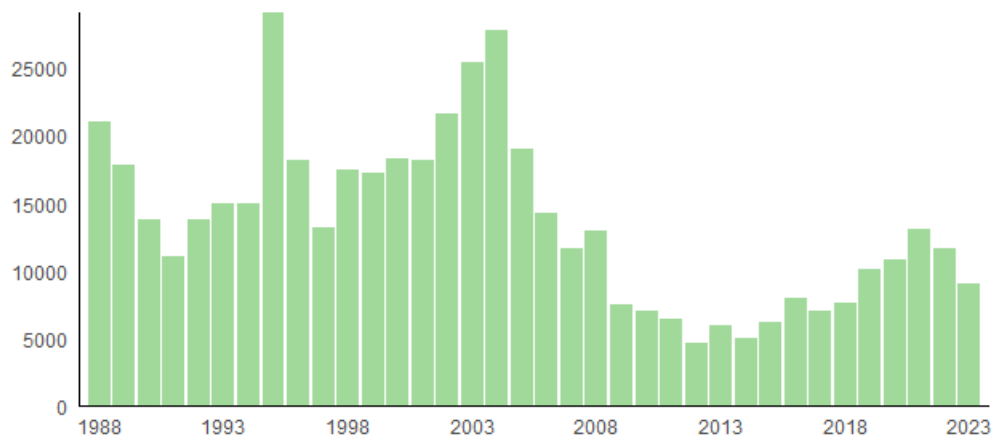


Figura 1: Área total (em km<sup>2</sup>) desmatada na Amazônia Legal entre 1988 e 2023.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do PRODES/INPE.

Contudo, a área total representada na Figura 1 é composta pela soma das áreas desmatadas individualmente pelos estados que compõem a Amazônia Legal. Nesse sentido, alguns estados contribuem de forma mais expressiva para essa área total desmatada em comparação a outros.

<sup>1</sup>Essa proporção equivale a uma área de aproximadamente 5.015.146,008 km<sup>2</sup>. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>

A Figura 2 ilustra a área total (em  $km^2$ ) de desmatamento por estado na Amazônia Legal<sup>2</sup>. Nota-se que estados como Mato Grosso, Pará e Rondônia, por exemplo, são notáveis por sua contribuição significativa para o desmatamento em diversos anos. Essa constatação reforça a importância de dedicar atenção a esses estados nas estratégias de conservação e políticas ambientais.

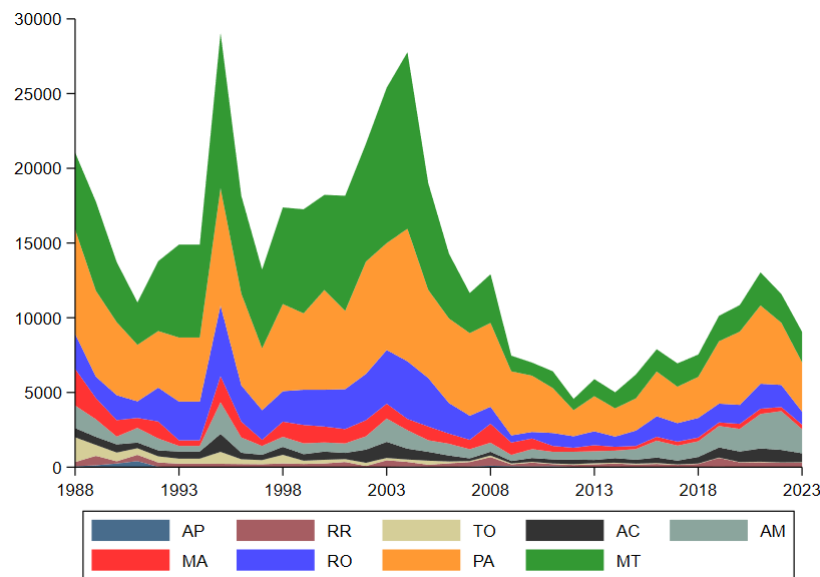


Figura 2: Área total (em  $km^2$ ) desmatada por estado na Amazônia Legal entre 1988 e 2023. Fonte: Elaboração própria a partir de dados do PRODES/INPE.

Além disso, a Figura 2 reforça que o período entre 2004 e 2012 se configura como uma fase bem-sucedida nas ações voltadas para a contenção do desmatamento. Nesse intervalo, há uma redução marcante em todos os estados que integram a Amazônia Legal.

Nas últimas duas décadas, o uso de monitoramento remoto para focalizar a aplicação da lei ambiental se tornou uma das principais ferramentas de políticas públicas ambientais estabelecidas no Brasil. Com a criação do Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real (DETER), em 2004, o suporte à fiscalização e controle do desmatamento e da degradação ambiental na Amazônia foram aprimorados. Entretanto, em resposta às alterações dos padrões das áreas desmatadas, foi criado o DETER-B, com o intuito de identificar e mapear modificações na cobertura florestal e desmatamentos com área mínima próxima a 3 hectares (Diniz et al., 2015; INPE, 2024a). Os alertas georreferenciados de desmatamento emitidos pelo DETER-B sinalizam as áreas que precisam de atenção imediata, auxiliando no direcionamento para aplicação de sanções e multas ambientais.

Em um cenário no qual predominava o desmatamento ilegal em larga escala, o uso de tecnologias de monitoramento remoto oferece um levantamento em tempo quase real de evidências de alterações na cobertura florestal. Assunção et al. (2023) afirmam que o uso de tecnologias de sensoriamento remoto foi fundamental para o Brasil superar as limitações impostas pelo ambiente institucional fraco do país. Ademais, tais ferramentas junto a fiscalização são capazes de inibir e conter o avanço do desmatamento em maiores proporções (Tyukavina et al., 2017; Gandour, 2021).

Diante disso, neste artigo investiga-se se os alertas de desmatamento, ao identificarem potenciais anomalias ou alterações na cobertura vegetal, têm desempenhado um papel relevante nas ações de fiscalização. Essas ações envolvem intervenções destinadas a interromper ou reduzir

<sup>2</sup>Os estados que compreendem a Amazônia Legal são: Acre, Amazonas, Amapá, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins.

o dano ambiental, por meio da implementação de medidas cautelares e orientativas, como o embargo de áreas desmatadas. Assim, questiona-se: os alertas de desmatamento têm efeito sobre o número de áreas embargadas nos estados da Amazônia Legal entre 2015 e 2022? Tendo em vista que o monitoramento via satélite é apenas uma parte do processo, este estudo busca avaliar como a disponibilidade de alertas de desmatamento influencia o cumprimento das políticas ambientais e a capacidade das autoridades de detectar e, principalmente, sancionar os infratores através do embargo das áreas desmatadas.

Parte-se da premissa de que o monitoramento possa ser utilizado como ferramenta de apoio eficaz para a fiscalização e, conseqüentemente, na aplicação autos de infração que são convertidos em áreas embargadas para os infratores. Ao analisar essa relação, o estudo pretende não apenas contribuir para uma melhor compreensão do papel dos alertas de desmatamento, mas também identificar os fatores complexos que envolvem a designação de áreas embargadas em um contexto ambiental desafiador como o da Amazônia.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 aborda a aplicação da lei ambiental e as medidas implementadas para conter o desmatamento, proporcionando uma visão geral do contexto normativo e das estratégias adotadas. A Seção 3 descreve a metodologia utilizada, detalhando a estratégia de identificação e a abordagem empírica empregada na análise, além de apresentar a fonte de dados e a descrição das variáveis. Em seguida, a Seção 4 descreve os resultados da pesquisa, com estatísticas descritivas e estimativas do modelo. Por fim, a Seção 5 apresenta as considerações finais, discutindo as implicações dos resultados, as limitações do estudo e sugestões para pesquisas futuras.

## **2 Aplicação da lei ambiental e medidas para conter o desmatamento**

A partir da década de 1970, as políticas ambientais visando o reordenamento do território brasileiro e justificadas sob o argumento de integração nacional, promoveram o avanço da fronteira agrícola para as regiões centro oeste e norte do Brasil (Lopes et al., 2020). Conforme de Araújo et al. (2019), uma fronteira agrícola corresponde a uma área composta por vegetação natural que passou a enfrentar ocupações intensas de terras relacionadas à agricultura, incluindo a implementação de tecnologias adaptadas às condições locais.

Reydon et al. (2020) argumentam que o desmatamento é resultado da continuação dos padrões de expansão da fronteira agrícola no Brasil, incluindo ocupações de terras sem direitos de propriedade estabelecidos, extração de madeira, atividades pecuárias e desenvolvimento de formas modernas de agricultura. Ademais, Gandour (2021) denota que a fragilidade dos direitos de propriedade na região contribui para conflitos territoriais e estabelece um cenário favorável à prática de grilagem de terras.

Tyukavina et al. (2017) afirmam que o desmatamento agroindustrial para pastagens, seguido pelo desmatamento florestal em pequena escala e o desmatamento agroindustrial para terras agrícolas detêm as maiores parcelas do tipo de perda florestal na região da Amazônia Legal. Nesse sentido, nota-se que o crescimento e a ampliação do agronegócio no Brasil resultaram em uma transformação significativa no uso e ocupação do solo na região da fronteira agrícola amazônica a partir dos anos 1980 (de Freitas Preto et al., 2022).

Em 1989, o IBAMA é instituído como um dos principais órgãos encarregados de coordenar as políticas nacionais de meio ambiente no Brasil. Entre os instrumentos utilizados para estabelecer tais políticas destaca-se a aplicação de autos de infração ambiental, os quais podem variar desde multas simples até o embargo de áreas que foram desmatadas. Um embargo é uma medida administrativa destinada a suspender temporariamente o início ou a continuidade de uma atividade ou obra que apresente, de fato ou potencialmente, riscos para a saúde humana e o meio ambiente (Schmitt, 2015). Sua natureza é cautelar, visando prevenir danos ou sua persistência, além de promover a regeneração ambiental e viabilizar recuperação de áreas degradadas (Brasil,

2008).

O sistema DETER-B funciona por meio de alertas georreferenciados de desmatamento, indicando áreas que necessitem atenção imediata por parte das autoridades (Diniz et al., 2015). Desse modo, é necessário que a capacidade de resposta das autoridades seja eficaz para inibir, de fato, o desmatamento ilegal. Portanto, o monitoramento da cobertura florestal baseado no georreferenciamento é especialmente relevante no Brasil, uma vez que há uma janela de oportunidade capaz de atingir níveis satisfatórios de atuação do estado na aplicação de autos de infração ambiental e, conseqüentemente, na redução dos níveis de desmatamento, em um contexto de desafios ambientais e institucionais historicamente conflituosos.

Ferreira (2024) denota que a qualidade dos alertas de desmatamento melhorou substancialmente de 2011 a 2020, atingindo níveis relativamente baixos de alertas falsos positivos. Contudo, apesar dos avanços decorrentes da tecnologia de georreferenciamento via satélite, observa-se que há fatores que sugerem a existência de uma lacuna na fiscalização das áreas que perderam cobertura florestal e foram detectadas pelo satélite. Essa falha é especialmente notória quando se observa a ocorrência de polígonos de desmatamento que excedem 100 hectares, uma escala que os satélites são capazes de captar facilmente (INPE, 2024b).

Trancoso (2021) denota que há um comportamento dos agentes desmatadores associado à expectativa de impunidade no Brasil, à medida que se observa políticas ambientais passivas nos últimos anos. Silva et al. (2022) afirmam que os proprietários de terras continuam desrespeitando a legislação ambiental na maioria das áreas penalizadas. Eles atribuem esse comportamento à fiscalização insuficiente, já que os agentes ambientais raramente retornam para verificar a situação das terras após a imposição das sanções.

Schmitt (2015) afirma que um fator que potencializa a sensação de descaso e impunidade quanto aos atos lesivos ao meio ambiente se refere ao uso contínuo das áreas que foram embargadas por desmatamento ilegal e que continuam a executar atividades. Destaca-se também que houve um aumento no número de alertas de desmatamento emitidos pelo DETER-B, que se associam a fatores como o enfraquecimento dos órgãos ambientais e redução de áreas protegidas (Valdes et al., 2020; Vale et al., 2021).

Esse contexto demonstra a necessidade de cumprir as políticas ambientais de modo efetivo e utilizar os instrumentos disponíveis de maneira mais eficaz, uma vez que os infratores sabem que estão sendo observados e, mesmo assim, não exaurem as práticas ilegais de desmatamento. Isso pode ser atribuído a vários fatores, incluindo recursos financeiros limitados, falta de pessoal para fiscalização, falta de punição direta para os infratores e institucionalidade fraca (Rajão et al., 2021; Coelho-Junior et al., 2022). Portanto, tendo em vista que as regiões desmatadas ilegalmente na Amazônia Legal não são rapidamente abandonadas, os agentes fiscalizadores têm uma oportunidade não negligenciável de identificar os infratores responsáveis pelo desmatamento ilegal (Assunção et al., 2023).

A literatura tradicional que investiga o desmatamento e seus determinantes têm incluído, em análises mais recentes, os alertas de desmatamento, pois entende-se que são um mecanismo que permite o melhor direcionamento da fiscalização pelas autoridades e, conseqüentemente, aplicação de sanções aos infratores. Entretanto, as análises se concentram, em grande medida, na inclusão dos alertas como variável de controle e não como uma variável de interesse ou para compreender seus determinantes.

Assunção et al. (2023) são pioneiros na análise empírica do monitoramento ambiental e da aplicação da lei, ao abordar a endogeneidade entre desmatamento ilegal e aplicação da lei na região amazônica. Para avaliar as implicações da fiscalização sobre as taxas de desmatamento, os autores utilizam a abordagem de variáveis instrumentais para avaliar essa relação causal e estabelecem a cobertura de nuvens como instrumento para a aplicação da lei ambiental. Por sua vez, Leite (2022) avalia os efeitos das multas e embargos ambientais no aumento anual do desmatamento nos municípios da região da Amazônia Legal. Os resultados das estimativas

mostram que o embargo foi mais efetivo no controle do desmatamento nos municípios da Amazônia Legal do que a aplicação de multas ambientais entre 2008 e 2019.

O presente estudo contribui para a literatura ao examinar a relação causal entre os alertas de desmatamento e a ocorrência de embargos, algo ainda pouco explorado na pesquisa empírica sobre a Amazônia Legal. Diferente de análises anteriores, que tratam os alertas de desmatamento apenas como variável de controle, este trabalho foca diretamente em compreender seu impacto sobre a aplicação de embargos, oferecendo uma perspectiva relevante sobre a eficácia das políticas de monitoramento e fiscalização ambiental.

### 3 Metodologia

#### 3.1 Estratégia de identificação

Neste estudo objetiva-se identificar os efeitos dos alertas de desmatamento sobre o número de áreas embargadas nos estados da Amazônia Legal entre 2015 e 2022. Para isso, o experimento ideal consistiria na alocação aleatória do monitoramento via satélite responsável pela geração dos alertas de desmatamento entre as unidades federativas pertencentes à Amazônia Legal.

Após a designação aleatória do sistema de monitoramento entre os estados, os números de embargos entre os grupos de controle e tratamento (onde não houve monitoramento e onde houve) poderiam ser comparados. Na ausência da designação aleatória dos alertas de desmatamento emitidos, deve-se ponderar se esses podem ser considerados exógenos ou condicionalmente exógenos. A pergunta mais importante neste caso é se a variabilidade no número de alertas de desmatamento, em um determinado estado que pertence à Amazônia Legal, independe ou não da ação de órgãos de fiscalização ou de outros fatores.

A geração de alertas de desmatamento é, em grande medida, um processo reativo a mudanças na cobertura florestal e outras condições ambientais, indicando a ocorrência de potencial desmatamento, mas não causam os embargos diretamente. Essas mudanças são influenciadas principalmente por ações humanas, mas também por fatores climáticos e eventos naturais. Entretanto, é preciso considerar que os estados com menor ou maior número de alertas emitidos são diferentes em termos observáveis e não observáveis, ou seja, tende a haver uma heterogeneidade que não é observada explicitamente e essas diferenças podem afetar o número de embargos nos respectivos estados.

É possível que haja uma correlação arbitrária entre essa heterogeneidade não observada e as variáveis explicativas no modelo, particularmente a variável de alertas, uma vez que essas características não observadas podem afetar a decisão de investir mais ou menos em políticas ambientais, assim como a decisão de expandir ou não a área de pastagem. Para identificar o impacto isolado dos alertas, é, assim, necessário que se controle a heterogeneidade não observada estadual, que pode ao mesmo tempo definir o número de alertas e o nível de embargos ao desmatamento. Neste estudo, assume-se que a heterogeneidade não observada em nível de estado seja constante no tempo.

Assim, por meio de dados em painel entre 2015 e 2022, essa suposição assegura que as características não observadas estaduais são controladas, assumindo que variam entre os estados, mas que são constantes entre 2015 e 2022 para cada estado, como por exemplo, instituições, força da lei e percepção dos indivíduos sobre a força da lei. Portanto, emprega-se a abordagem dos efeitos fixos, que permite estimar de maneira consistente os efeitos parciais na presença de variáveis omitidas fixas ao longo do tempo, as quais podem estar correlacionadas com as variáveis explicativas observáveis.

Em resumo, a estratégia para identificação do impacto dos alertas de desmatamento sobre o número de embargos por desmatamento, baseia-se na suposição de que os estados são diferentes em termos observáveis e não observáveis, mas a heterogeneidade não observada se manteve fixa entre 2015 e 2022, o que não parece uma suposição limitadora.

### 3.2 Estratégia empírica

Desse modo, este estudo parte da seguinte equação de interesse:

$$\begin{aligned} \text{embargos}_{it} = & \beta_1 \text{alertas}_{it} + \beta_2 \ln \text{area\_pastagem}_{it} + \beta_3 \ln \text{pib\_estado}_{it} + \beta_4 \ln \text{despesa\_ambiental}_{it} \\ & + \beta_5 \ln \text{area\_soja}_{it} + \beta_6 \text{bolsonaro}_{it} + \beta_7 \text{alertas\_bolsonaro}_{it} + \sum_{k=2015}^{2022} \delta_k \text{ano}_k + c_i + u_{it} \quad (1) \end{aligned}$$

em que o subscrito  $i$  representa as unidades cross-section, nesse caso, os estados da Amazônia Legal considerados na análise, e o subscrito  $t$  indica o período mensal de análise, entre agosto de 2015 e dezembro de 2022. A variável de resultado,  $\text{embargos}_{it}$ , indica o número de áreas que foram embargadas mensalmente decorrentes do desmatamento ilegal em cada estado. A variável explicativa de interesse consiste nos alertas de desmatamento emitidos por satélite, mensurada como área total em  $km^2$  de alertas de desmatamento emitidos em cada um dos estados da Amazônia Legal.

Foram incluídas variáveis de controle como *despesa ambiental*, que se refere às despesas pagas com controle ambiental, especificamente na subfunção de preservação e conservação ambiental<sup>3</sup>. Espera-se que o coeficiente seja negativo. A lógica é de que maiores despesas ambientais geralmente indicam um ambiente regulatório mais forte, com recursos adicionais dedicados à fiscalização e à aplicação da legislação ambiental. Nesse contexto, uma gestão ambiental mais eficaz pode resultar em menos casos de desmatamento ilegal e, conseqüentemente, em menos embargos. Se, no entanto, maior gasto for interpretado como uma resposta a problemas ambientais significativos, pode-se esperar um sinal positivo.

Usualmente, área de pastagem e cultivo são fatores importantes para incluir em modelos explicativos do desmatamento. Nesse sentido, para as variáveis referentes à *área de pastagem* e *área de soja*, espera-se um sinal positivo dos coeficientes estimados, à medida que a expansão da área de pastagem, bem como a expansão da área de cultivo de soja podem estar associadas a práticas de desmatamento e, portanto, poderia levar a mais embargos. Desse modo, é racional pensar que a decisão do agente desmatar está relacionada ao lucro esperado de executar alguma atividade, nesse caso, a expansão das áreas de cultivo de soja e de pastagem. O mesmo sinal é esperado para o *pib por estado*, pois um estado com pib mais elevado pode sinalizar que mais recursos estão disponíveis para aplicar a legislação ambiental.

A variável *bolsonaro* é uma *dummy* que indica se o mandato presidencial do presidente Bolsonaro está em vigor (recebe valor igual a 1) e quando não está (recebe valor igual a 0). Espera-se que o coeficiente seja negativo, à medida que o mandato presidencial de Jair Bolsonaro está associado a práticas e políticas regulatórias que incentivam o desmatamento. Do mesmo modo, espera-se que a variável *alertas* em interação com a variável *bolsonaro* apresente um coeficiente negativo, pois observa-se que a partir de 2019 o número de alertas de desmatamento cresceu consideravelmente, se comparado a períodos anteriores.

A fim de controlar não observáveis e a tendência de alteração nos embargos ao longo do tempo, são inseridas uma *dummy* para cada ano da análise. Assim,  $\text{ano}_k$  assume o valor 1 para o ano  $k$  e 0 para os demais anos. Já  $c_i$  representa a heterogeneidade não observada fixa no tempo em nível de estado, enquanto  $u_{it}$  indica o termo de erro, que passa a englobar apenas um elemento aleatório que não é correlacionado com as variáveis explicativas.

A definição das variáveis está na Tabela 1.

---

<sup>3</sup>Compreende as ações de planejamento, implantação, coordenação e manutenção que visam à defesa da fauna e da flora, a preservação e conservação de áreas e ecossistemas, à proteção de áreas urbanas e rurais contra possíveis danos causados por secas e inundações, bem como à proteção dos solos contra os desgastes ocasionados pelo homem ou pela natureza. Para mais detalhes ver: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8201/1/TD\\_2354.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8201/1/TD_2354.pdf).

Tabela 1: Variáveis utilizadas no modelo

Variável	Descrição	Unidade
embargos	Embargos por desmatamento no estado	Unitário
alertas	Área total sob alertas de desmatamento no estado	$km^2$
área de pastagem	Logaritmo natural da área destinada à pastagem no estado	Hectares
pib por estado	Logaritmo natural do pib do estado	R\$
despesa ambiental	Logaritmo natural das despesas do estado destinada a políticas ambientais	R\$
área de soja	Logaritmo natural da área destinada à plantação de soja no estado	Hectares
bolsonaro	Dummy indicando governo Bolsonaro	1 ou 0
ano	Dummy de tempo indicando cada ano	1 ou 0
alertas Bolsonaro	Interação entre alertas de desmatamento e governo Bolsonaro	$km^2$

Fonte: Elaboração própria.

### 3.3 Fonte de dados e descrição das variáveis

A análise empírica deste estudo utiliza um conjunto de dados em painel mensal entre agosto de 2015 e dezembro de 2022, totalizando 712 observações. A amostra inclui os estados pertencentes à região da Amazônia Legal que apresentaram variação na cobertura florestal durante o período de análise. Tocantins foi o único estado excluído da base, pois apresentou longos períodos de dados faltantes, que poderiam comprometer as estimativas.

Os dados utilizados são provenientes de fontes distintas. O número de embargos por desmatamento em cada estado foi extraído do IBAMA, os alertas de desmatamento do portal TerraBrasilis, enquanto a área destinada à pastagem foi extraída do MapBiomas e a área destinada ao plantio de soja da CONAB. Já as despesas dos estados destinadas a políticas ambientais foram retiradas do banco de dados FINBRA e o PIB estadual foi extraído do ipeadata.

Logaritmizar variáveis com grande amplitude de valores, como área de pastagem, pib por estado, despesa ambiental e área destinada ao plantio de soja, ajuda a lidar com a assimetria e a variabilidade desses dados, auxiliando na estabilização da variância ao longo dos seus níveis. Como essas variáveis de controle possuem periodicidade anual, foi realizada uma interpolação para converter esses dados para uma escala mensal. Isso pois, a variável dependente (embargos) e a de interesse (alertas) estão dispostas mensalmente e é relevante trabalhar com essas variáveis mensalmente.

Quanto à variável de resultado, *embargos*, os dados são disponibilizados mensalmente pelo Ibama e incluem data de emissão, município e detalhes do tipo de infração.

## 4 Resultados

### 4.1 Estatísticas descritivas

A Tabela 2 resume as estatísticas descritivas das variáveis *alertas* e *embargos* para os anos de 2015 a 2022. Os estados do Pará, Mato Grosso e Amazonas são os que apresentam médias mais altas de alertas de desmatamento, indicando áreas de maior preocupação quanto à realização de fiscalização. Amapá, Maranhão e Roraima têm médias muito baixas de alertas, sugerindo menor pressão de desmatamento nessas regiões. Há uma variabilidade significativa nos dados em todos os estados, refletida nos desvios padrão relativamente altos, exceto nos estados com médias baixas de alertas.



Tabela 2: Variáveis utilizadas no modelo

Estado	Alertas				Embargos			
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Acre	27.97	38.48	0	152	13.90	17.25	0	75
Amazonas	111.85	116.52	0	5	26.40	22.15	0	107
Amapá	0.53	1.06	0	5	2.20	3.62	0	16
Maranhão	8.62	8.68	0	43	3.09	6.12	0	48
Mato Grosso	122.26	78.74	10	426	24.01	22.17	0	135
Pará	218.81	199.32	2	890	49.55	30.56	3	174
Rondônia	90.13	77.09	1	385	26.36	22.98	0	88
Roraima	14.21	16.94	0	81	5.03	6.45	0	30

Fonte: Resultados da pesquisa.

O Pará é o estado com maior número de embargos por desmatamento, seguido do Amazonas, Rondônia e Mato Grosso, que apresentaram valores similares. Por outro lado, Amapá, Maranhão e Roraima têm as médias mais baixas de embargos, sugerindo uma aplicação menos frequente dessas medidas. Há uma variabilidade significativa nos dados dos estados, refletida nos desvios padrão relativamente altos, exceto nos estados com médias baixas de embargos. Nota-se que os estados com médias mais altas de alertas tendem a ter também médias mais altas de embargos, o que indica uma resposta proporcional às ocorrências de desmatamento.

A variabilidade nos alertas é geralmente maior do que nos números de embargos, indicando que nem todos os alertas resultam em ações de embargo. Estados com atividade econômica agrícola intensiva, como Mato Grosso e Pará<sup>4</sup>, tendem a apresentar tanto altas médias nos alertas quanto nos embargos, refletindo os desafios e esforços associados ao manejo sustentável da cobertura florestal.

Os valores mínimos iguais a 0 de ambas as variáveis indicam que houve períodos em que não foram registrados alertas de desmatamento e não houve embargos aplicados. Existem diversas razões para a existência desses valores. Períodos sem alertas emitidos podem refletir a efetividade das políticas de conservação e fiscalização em determinadas épocas, no entanto, a realidade institucional recente do país em termos de políticas ambientais, sugere que pode ter ocorrido uma inoperabilidade institucional dos órgãos que realizam tais medidas durante esse período, resultando em meses sem detecção de desmatamento, mesmo que ele possa ter ocorrido.

Ainda, vale destacar que os alertas de desmatamento apresentam sazonalidade, de modo que em cada ano é possível observar picos nos valores em determinados meses. Em um período de chuvas, por exemplo, o desmatamento pode diminuir significativamente, resultando em registros nulo de alertas. Para fins ilustrativos, a Figura 3 mostra os alertas de desmatamento do estado do Pará entre 2015 e 2022, estado com maior número de alertas emitidos desde 2015, correspondendo a aproximadamente 20.676  $km^2$ .

<sup>4</sup>Para mais detalhes ver: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>.

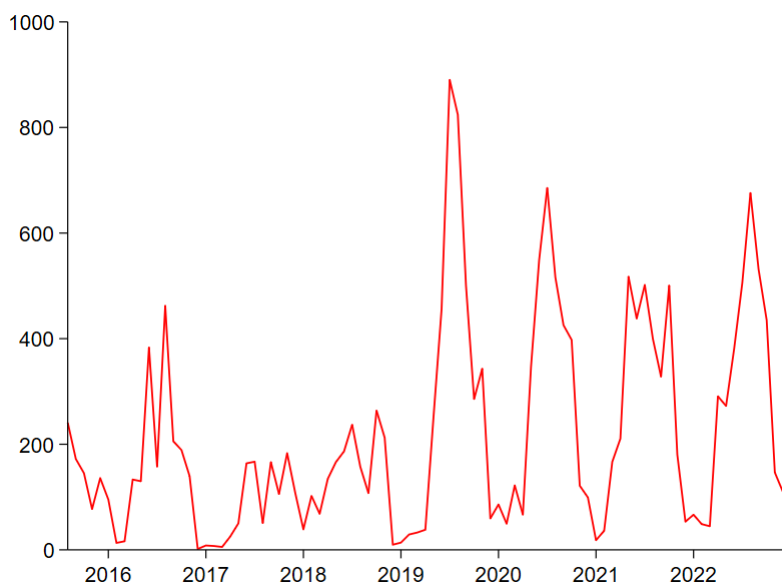


Figura 3: Área total (em  $km^2$ ) sob alerta de desmatamento no estado do Pará entre 2015 e 2022.  
 Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do TerraBrasilis.

Nota-se que, a partir de 2019 ocorreu uma mudança no padrão dos alertas de desmatamento, fazendo com que o número de alertas mensais crescesse em comparação aos mesmos meses dos anos anteriores, sobretudo nos meses com maiores índices de alertas. A partir da mudança de padrão sazonal observada no gráfico da série, foi realizado o teste de raiz unitária Zivot-Andrews, com o intuito de identificar uma quebra estrutural na série. A data de ocorrência da quebra estrutural fornecida pelo teste foi maio de 2019, portanto, uma mudança estrutural ocorreu em 2019 e um novo padrão sazonal persistiu nos períodos subsequentes, causada por algum fator exógeno<sup>5</sup>.

Esse resultado fortalece, a princípio, a hipótese de que o governo Bolsonaro está associado a um aumento notável nos alertas de desmatamento na região da Amazônia Legal. No entanto, a relação causal entre as políticas do governo e os aumentos dos alertas de desmatamento deve ser abordada com cautela, mesmo que os dados observacionais apresentem alterações explícitas nos padrões de alertas a partir de 2019.

Nesse sentido, a variável *alertas bolsonaro* revela um aumento considerável nos alertas de desmatamento a partir de 2019, coincidindo com o início do mandato do presidente Jair Bolsonaro. Entre 2016 e 2018, os números permaneceram relativamente estáveis, mas a partir de 2019 houve uma aceleração nos alertas de desmatamento, alcançando picos mais elevados em 2019 e 2020. Esse aumento significativo pode ser associado à retórica de flexibilização ambiental, que contribui para a ação de agentes desmatadores. Apesar do recuo observado em 2021, os números ainda permanecem elevados em comparação aos anos anteriores a 2019. Por outro lado, nota-se que há uma queda no número de embargos realizados nos estados em diversos meses após 2019.

## 4.2 Estimativas do modelo

A Tabela 3 apresenta os resultados da estimação da regressão de interesse e também os testes de auxílio quanto à definição do método de estimação. Na coluna (POLS) tem-se o modelo *pooled*, o qual assume que a heterogeneidade não observada é fixa no tempo e não correlacionada com as variáveis incluídas. A mesma suposição resulta no estimador de efeitos aleatórios (EA), que pode ser mais eficiente na presença de efeitos não observados aleatórios. Já na segunda

<sup>5</sup>Para mais detalhes sobre o teste Zivot-Andrews, ver Enders (2015).

coluna (EF) estão os resultados do modelo de efeitos fixos que permite a correlação entre a heterogeneidade não observada em nível de estado e as variáveis incluídas.

Tabela 3: Coeficientes estimados por POLS, EF e EA

	<i>Variável dependente:</i>		
	embargos		
	(POLS)	(EF)	(EA)
alertas	0.187*** (0.017)	0.197*** (0.019)	0.188*** (0.017)
ln_area_pastagem	3.177*** (0.653)	3.127*** (0.644)	3.176*** (0.650)
ln_pib_estado	5.091*** (1.219)	4.457*** (1.224)	5.062*** (1.215)
ln_despesa_ambiental	-1.803*** (0.537)	-1.771*** (0.533)	-1.803*** (0.535)
ln_area_soja	-1.971*** (0.345)	-1.921*** (0.341)	-1.969*** (0.344)
bolsonaro	3.537 (2.912)		3.528 (2.977)
ano_2015	4.211 (3.530)		4.205 (3.620)
ano_2016	8.295*** (2.704)		8.287*** (2.773)
ano_2017	8.374*** (2.690)		8.379*** (2.760)
ano_2019	3.089 (2.713)		3.083 (2.782)
ano_2020	-4.507* (2.704)		-4.507 (2.773)
ano_2021	-0.358 (2.690)		-0.354 (2.760)
alertas:bolsonaro	-0.136*** (0.017)	-0.136*** (0.019)	-0.136*** (0.017)
constante	-80.025*** (15.604)		-79.551*** (15.565)
Observações	712	712	712
R <sup>2</sup>	0.415	0.417	0.415
R <sup>2</sup> ajustado	0.404	0.329	0.404
Estatística F	38.034*** (df = 13; 698)	73.676*** (df = 6; 617)	494.602***
Teste de Breusch-Pagan	0.1974		
Teste de Hausman	0.8683		

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

Nota: \*\*\* é significativo a 1%, \*\* a 5% e \* a 10%.

As magnitudes e significância dos coeficientes foram muito próximas, de modo que a escolha entre eles pode não ser crítica<sup>6</sup>. Este resultado pode indicar que os alertas são exógenos, ou seja, não se correlacionam com os fatores não observáveis, reforçando a robustez das estimativas obtidas.

Ao comparar as estimativas por efeitos fixos e efeitos aleatórios, todos os coeficientes foram estatisticamente significativos a 1% de significância e mantiveram os mesmos sinais em ambos os modelos. A variável *bolsonaro* não aparece no modelo de efeitos fixos por se tratar de uma dummy fixa no tempo para todos os estados, mas considerando efeitos aleatórios não foi estatisticamente significativa. As dummies para cada ano também não estão no modelo de efeitos fixos, mas para os anos 2016 e 2017 foram estatisticamente significativas considerando efeitos aleatórios. A respeito dos erros padrões, ambos os modelos apresentaram magnitudes similares.

Em geral, todos os coeficientes foram estatisticamente significativos e todos os sinais obtidos foram esperados, exceto para a variável referente à área de plantio da soja. O coeficiente para os alertas de desmatamento sugere que um aumento de 1  $km^2$  na área sob alertas de desmatamento, está associado a um aumento médio significativo de 0.197 embargos. Portanto, é possível afirmar que os resultados apoiam a hipótese de que os alertas de desmatamento têm efeito positivo sobre o número de embargos por desmatamento nos estados da Amazônia Legal.

Nesse aspecto, é possível dialogar com a literatura em relação ao papel dos embargos no combate a práticas ilegais de desmatamento, bem como o papel do monitoramento remoto. Leite (2022) estima que os embargos ambientais são mais eficientes do que as multas no combate ao desmatamento, contribuindo para uma redução de até 6.6% no próximo período. Por sua vez, Assunção, Gandour e Rocha (2023) indicam que a abordagem de monitoramento e aplicação da lei foi um método econômico para reduzir o desmatamento na Amazônia.

Merkus (2024) analisa o efeito dos alertas de satélite e ações de aplicação da lei na probabilidade de que uma área de floresta seja convertida em terra agrícola na Amazônia. Os resultados sugerem que o monitoramento via satélite e a fiscalização local foi eficaz na prevenção de que florestas fossem convertidas em terras agrícolas. Tanto os alertas via satélite quanto as ações fiscais locais reduziram a probabilidade de que lotes de terra se tornassem terras agrícolas no ano seguinte.

Para a *área de pastagem*, em média, cada variação relativa de 1% na área de pastagem está associada a um aumento médio de 0.031 embargos. O mesmo ocorre para o pib, em que cada variação de 1% no pib dos estados está associada a um aumento de 0.044 embargos por desmatamento. Já para a *despesa ambiental* e *área de plantio da soja*, um aumento de 1% nas despesas ambientais para preservação ambiental nos estados e na área de cultivo de soja estão associados a uma redução de 0.017 e 0.019 no número de embargos.

As dummies de ano capturam os efeitos específicos de cada ano sobre a variável embargos. Para os anos 2016 e 2017, os coeficientes foram positivos e significativos, indicando que esses anos tiveram um aumento significativo nos embargos. Já para 2020 e 2021, os coeficientes foram negativos, porém não significativos, sugerindo uma reversão de efeitos dos anos sobre os embargos. Isso pode estar relacionado a mudanças políticas ou a mera sinalização destas na administração Bolsonaro, conforme discutido na seção 2.

A variável *alertas bolsonaro* produz um resultado bastante interessante, à medida que ela captura o efeito conjunto do número de alertas de desmatamento e o período do governo Bolsonaro. O coeficiente negativo igual a -0.136 indica que essa combinação está associada a uma diminuição nos embargos por desmatamento, o que era esperado. Isso sugere que, há uma redução adicional nos embargos em comparação com o que seria esperado apenas considerando

---

<sup>6</sup>O valor p de 0.8683 para o Teste de Hausman indica que não há evidências suficientes para concluir que os coeficientes dos modelos de efeitos fixos e aleatórios diferem significativamente, portanto, o modelo de efeitos aleatórios também é consistente.

os efeitos isolados de *alertas e bolsonaro*.

Em termos práticos, essa interação pode indicar que, durante o governo Bolsonaro, apesar do aumento nos alertas, o que normalmente poderia resultar em mais embargos conforme estimativas deste estudo, outros fatores associados ao governo ou suas políticas podem estar contrabalançando esse efeito, levando a uma redução no número de embargos por desmatamento.

## 5 Considerações finais

Este estudo buscou avaliar se os alertas de desmatamento têm efeitos sobre o número de áreas embargadas nos estados da Amazônia Legal. Os resultados indicam que os alertas de desmatamento foram significativos e exercem um efeito positivo sobre o número de embargos de terras ilegalmente desmatadas a nível estadual. Nesse sentido, o monitoramento realizado pelo DETER-B se mostra efetivo para a aplicação de autos de infração que são convertidos em embargos por desmatamento.

Apenas a variável referente a área de cultivo de soja não alcançou o resultado esperado, enquanto as demais variáveis apresentaram padrões consistentes com as expectativas. A interação entre os alertas de desmatamento e o período do governo Bolsonaro se mostrou associada a uma redução nos embargos, atingindo também o efeito esperado. Assim, as análises realizadas geram novas evidências de avaliação dos instrumentos de política pública ambiental, vinculada, sobretudo ao desmatamento. Ademais, há possibilidade de inclusão de mais controles, como o número de agentes de fiscalização em cada estado, que possa tornar o modelo mais robusto e preciso.

A pesquisa contribui para a literatura existente sobre a avaliação dos impactos das políticas ambientais no desmatamento. Especificamente, preenche uma lacuna de avaliação das ferramentas de monitoramento e como elas são, de fato, efetivas para a aplicação de autos de infração, sobretudo embargos ambientais. Portanto, o artigo enfatiza a necessidade de manter um monitoramento contínuo e esforços de fiscalização para sustentar os avanços alcançados na redução do desmatamento na Amazônia brasileira.

A principal conclusão deste estudo é que os alertas de desmatamento são efetivos para a aplicação de embargos ambientais de terras desmatadas ilegalmente e como forma de prevenção de crimes ambientais futuros. Assim, os resultados apontam para a necessidade de a legislação ambiental estabelecer novos mecanismos e aprimorar os existentes, visando ampliar a extensão das áreas sujeitas a embargos em regiões onde as pressões para o desmatamento são mais intensas, para que, os embargos sejam eficientes no combate ao desmatamento, ao inibir o comportamento ilegal dos agentes.

## Referências

- Assunção, J., Gandour, C., e Rocha, R. (2023). Deter-ing deforestation in the amazon: environmental monitoring and law enforcement. *American Economic Journal: Applied Economics*, 15(2):125–156.
- Brasil (2008). Decreto no 6.514, de 22 de julho de 2008. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, Seção 1. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm).
- Burgess, R., Costa, F., e Olken, B. A. (2019). The brazilian amazon’s double reversal of fortune. *Working Paper*.
- Coelho-Junior, M. G., Valdiones, A. P., Shimbo, J. Z., Silgueiro, V., Rosa, M., Marques, C. D. L., Oliveira, M., Araújo, S., e Azevedo, T. (2022). Unmasking the impunity of illegal deforestation

- in the brazilian amazon: a call for enforcement and accountability. *Environmental Research Letters*, 17(4):041001.
- de Araújo, M. L. S., Sano, E. E., Bolfe, É. L., Santos, J. R. N., dos Santos, J. S., e Silva, F. B. (2019). Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the matopiba region, brazil (1990–2015). *Land use policy*, 80:57–67.
- de Freitas Preto, M., Garcia, A. S., Nakai, É. S., Casarin, L. P., Vilela, V. M. d. F. N., e Ballester, M. V. R. (2022). The role of environmental legislation and land use patterns on riparian deforestation dynamics in an amazonian agricultural frontier (mt, brazil). *Land Use Policy*, 118:106132.
- Diniz, C. G., de Almeida Souza, A. A., Santos, D. C., Dias, M. C., Da Luz, N. C., De Moraes, D. R. V., Maia, J. S., Gomes, A. R., da Silva Narvaes, I., Valeriano, D. M., et al. (2015). Deter-b: The new amazon near real-time deforestation detection system. *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, 8(7):3619–3628.
- Ferreira, A. (2024). Satellites and fines: Using monitoring to target inspections of deforestation. *Working Paper*.
- Gandour, C. (2021). Políticas públicas para proteção da floresta amazônica: O que funciona e como melhorar. *Amazônia 2030*.
- INPE (2024a). *Programa DETER*. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais.
- INPE (2024b). *TerraBrasilis: PRODES (Desmatamento)*. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais.
- Leite, M. A. G. (2022). Os impactos dos autos de infração sobre o desmatamento: uma análise da contribuição das multas e embargos de infração ambiental sobre o desmatamento na amazônia legal. Trabalho de conclusão de curso (graduação em ciências econômicas), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo - RJ.
- Lopes, V. C., Parente, L. L., Baumann, L. R. F., Miziara, F., e Ferreira, L. G. (2020). Land-use dynamics in a brazilian agricultural frontier region, 1985-2017. *Land Use Policy*, 97:104740.
- Merkus, E. (2024). The economic consequences of environmental enforcement: Evidence from an anti-deforestation policy in brazil. *World Development*, 181:106646.
- Rajão, R., Schmitt, J., Nunes, F., e Soares-Filho, B. (2021). Dicotomia da impunidade do desmatamento ilegal. *Policy Brief CSR/LAGESA/UFMG*.
- Reydon, B. P., Fernandes, V. B., e Telles, T. S. (2020). Land governance as a precondition for decreasing deforestation in the brazilian amazon. *Land use policy*, 94:104313.
- Schmitt, J. (2015). *Crime sem castigo: a efetividade da fiscalização ambiental para o controle do desmatamento ilegal na Amazônia*. Tese (doutorado em desenvolvimento sustentável), Universidade de Brasília (UnB), Brasília.
- Silva, V. C. S. d., Vieira, I. C. G., Galbraith, D., Potapov, P., de Medeiros Rivero, S. L., de Lima, A. M. M., da Silva Pimentel, M. A., e Adami, M. (2022). Marked non-compliance with deforestation embargoes in the brazilian amazon. *Environmental Research Letters*, 17(5):054033.
- Trancoso, R. (2021). Changing amazon deforestation patterns: Urgent need to restore command and control policies and market interventions. *Environmental Research Letters*, 16(4):041004.

- Tyukavina, A., Hansen, M., Potapov, P., Stehman, S., Smith-Rodriguez, K., Okpa, C., e Aguilar, R. (2017). Types and rates of forest disturbance in brazilian legal amazon, 2000-2013. *Sciense Advances*, 3(4):e1601047.
- Valdes, C., Hjort, K., e Seeley, R. (2020). Brazil's agricultural competitiveness: Recent growth and future impacts under currency depreciation and changing macroeconomic conditions. *Economic Research Service*.
- Vale, M. M., Berenguer, E., de Menezes, M. A., de Castro, E. B. V., de Siqueira, L. P., e Rita de Cássia, Q. P. (2021). The covid-19 pandemic as an opportunity to weaken environmental protection in brazil. *Biological conservation*, 255:108994.