

Desenvolvimento Sustentável na Amazônia Legal: Uma análise do Programa Municípios Verdes sobre os níveis de desmatamento no Estado do Pará – Brasil

Luan Marca - PUCRS
Marco Tulio Aniceto Franca - PUCRS
Augusto Mussi Alvim - PUCRS

Resumo: O presente estudo propõe avaliar o impacto do programa "Municípios Verdes" sobre o desmatamento nos municípios do Estado do Pará. O objetivo é analisar se a adesão ao programa resultou em uma redução significativa na proporção de área desmatada nos municípios participantes quando comparados aos demais. Para isso, propomos a aplicação de modelos em painel de efeitos fixos bidirecionais (TWFE). A amostra de pesquisa é composta por 131 dos 144 municípios do estado, representando 90,9% do total. A análise abrange o período de 2010 a 2020. Com base nos resultados obtidos, observa-se que a adesão ao PMV resultou em uma redução significativa na proporção de área desmatada nos municípios participantes, quando comparados aos demais. No entanto, é importante destacar que o efeito do programa foi relativamente pequeno, representando uma diminuição de apenas 2% na proporção de área desmatada por município, considerando o modelo não pareado. Para o modelo com observações pareadas, o efeito foi ainda menor, com uma diminuição de apenas 1%. Esses resultados indicam que o programa tem um impacto positivo, mas limitado, na redução do desmatamento no Estado.

Palavras-Chave: Desenvolvimento sustentável, Amazônia, Avaliação de Políticas Públicas, Diferenças em Diferenças.

Sustainable Development in the Legal Amazon: An analysis of the Green Municipalities Program on deforestation levels in the State of Pará – Brazil

Abstract: The present study proposes to evaluate the impact of the "Green Municipalities" program on deforestation in the municipalities of the State of Pará. The objective is to analyze whether adherence to the program resulted in a significant reduction in the proportion of deforested area in the participating municipalities when compared to the others. For this, we propose the application of panel models of bidirectional fixed effects (TWFE). The research sample comprises 131 of the 144 municipalities in the state, representing 90.9% of the total. The analysis covers the period from 2010 to 2020. Based on the results obtained, it is observed that adherence to the PMV resulted in a significant reduction in the proportion of deforested area in the participating municipalities, when compared to the others. However, it is important to highlight that the effect of the program was relatively small, representing a decrease of only 2% in the proportion of deforested area per municipality, considering the unpaired model. For the model with paired observations, the effect was even smaller, with a decrease of only 1%. These results indicate that the program has a positive but limited impact on reducing deforestation in the state.

Keywords: Sustainable development, Amazon, Evaluation of Public Policies, Differences in Differences.

Área de submissão: Meio ambiente, recursos naturais e sustentabilidade
Classificação JEL: B23

1. Introdução

A preservação ambiental tem se tornado uma preocupação global devido aos impactos negativos da intervenção humana no meio ambiente (IPCC, 2014). Nesse contexto, a preservação dos biomas brasileiros desperta particular interesse, especialmente na região amazônica, que abriga uma rica biodiversidade e desempenha um papel crucial na regulação dos regimes de chuvas, afetando a agricultura, a disponibilidade de água e a sustentabilidade dos ecossistemas locais (Aragão *et al.*, 2007; Foley *et al.*, 2011; Nobre *et al.*, 2016). No entanto, a remoção indiscriminada de vegetação nativa acarreta graves problemas, como perda irreparável de espécies, destruição de habitats naturais e a liberação de grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera (Laurance *et al.*, 2012; Pimm *et al.*, 2014).

A importância da Amazônia como patrimônio natural torna crucial a implementação de medidas efetivas para combater o desmatamento e promover a conservação sustentável dessas áreas, isso envolve a participação de governos, comunidades locais e organizações internacionais (Nepsted *et al.*, 2009). Nessa linha, destacam-se algumas iniciativas, como o programa "Municípios Verdes", implementado pelo governo do Estado do Pará. O objetivo desse programa consiste em combater o desmatamento e promover o desenvolvimento sustentável nos municípios da região. Com uma área de floresta amazônica estimada em 382.506 km² (Imazon, 2023), o Pará ocupa a segunda posição entre os estados brasileiros com maior cobertura florestal, abrangendo cerca de 26% da Amazônia legal, que compreende 9 estados e mais de 50% do território brasileiro. No entanto, enfrenta desafios significativos relacionados ao desmatamento ilegal e à degradação ambiental.

Nesse contexto, o presente estudo propõe avaliar o impacto do programa "Municípios Verdes" sobre o desmatamento dos municípios do Estado do Pará, que, geralmente encabeça a lista de estados com maior índice de desmatamento. O objetivo é analisar se a adesão ao programa resultou em uma redução significativa na proporção de área desmatada nos municípios participantes quando comparados aos demais. Para alcançar esse objetivo, propomos a aplicação de modelos em painel de efeitos fixos bidirecionais (TWFE), baseado na abordagem de Goodman-Bacon (2021). Essa metodologia permite controlar os efeitos fixos específicos de cada município e de cada período, levando em consideração características não observáveis que podem variar entre os municípios e ao longo do tempo. A utilização desse método proporcionará uma análise mais robusta e precisa do impacto do programa, ao controlar fatores que podem influenciar tanto a adesão dos municípios ao programa quanto o desmatamento em si.

Além da adesão ou não dos municípios ao programa, avaliamos o impacto de outras variáveis de controle, como PIB per capita, densidade populacional, proporção da indústria e agropecuária em relação ao PIB, além de variáveis relacionadas a agropecuária, como área de pastagem e destinadas ao cultivo de lavouras temporárias¹. Os resultados obtidos contribuem para um melhor entendimento dos efeitos do programa, fornecendo insights importantes para a formulação de políticas públicas voltadas à preservação ambiental e ao desenvolvimento sustentável. Além disso, o estudo contribui para a identificação de estratégias eficazes para a mitigação do desmatamento em regiões com características semelhantes às do Estado do Pará.

¹ Áreas plantadas com culturas de curta duração, em geral inferiores a um ano. Essas culturas exigem um novo plantio após a realização da colheita. A categoria abrange as plantas forrageiras destinadas ao corte, culturas hortícolas, cereais, leguminosas, etc.

Além dessa introdução, o artigo está dividido em mais quatro seções. A segunda seção aborda aspectos teóricos relacionados aos impactos ambientais do desmatamento na região amazônica, o perfil do Estado do Pará e do programa Municípios verdes. Na terceira seção, são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados no estudo. A quarta seção traz a análise dos resultados obtidos e, por fim, a quinta e última seção apresenta as considerações finais.

2. Referencial Teórico

2.1. Desmatamento e impactos ambientais na região amazônica

O desmatamento é um processo que envolve a remoção indiscriminada de vegetação nativa. Na região amazônica, as causas do desmatamento são complexas e multifatoriais, envolvendo tanto fatores econômicos, como a expansão da fronteira agrícola e a exploração madeireira, quanto fatores sociais, como a ocupação desordenada do território e falta de governança ambiental efetiva (Foley *et al.*, 2011; Laurance *et al.*, 2012; Maranhão *et al.*, 2018; Quintão *et al.*, 2021). Lapola *et al.* (2023) apontam a atividade pecuária como uma das que mais pressionam o desmatamento, mais de 60% das áreas desmatadas na Amazônia até 2008 foram convertidas em pastagens.

Recentemente, observou-se um aumento significativo nos níveis de desmatamento na região amazônica, de agosto de 2021 a julho de 2022, foram derrubados 10.781 km² de floresta. Essa foi a maior área devastada dos últimos 15 anos, sendo 3% superior à registrada no calendário passado, entre agosto de 2020 e julho de 2021. Os dados são do Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon). A destruição da floresta amazônica, caracterizada como um dos principais centros de biodiversidade do mundo, acarreta a extinção de espécies e a perda de diversidade genética, comprometendo a resiliência dos ecossistemas (Dirzo *et al.*, 2014; Laurance *et al.*, 2012; Pimm *et al.*, 2014).

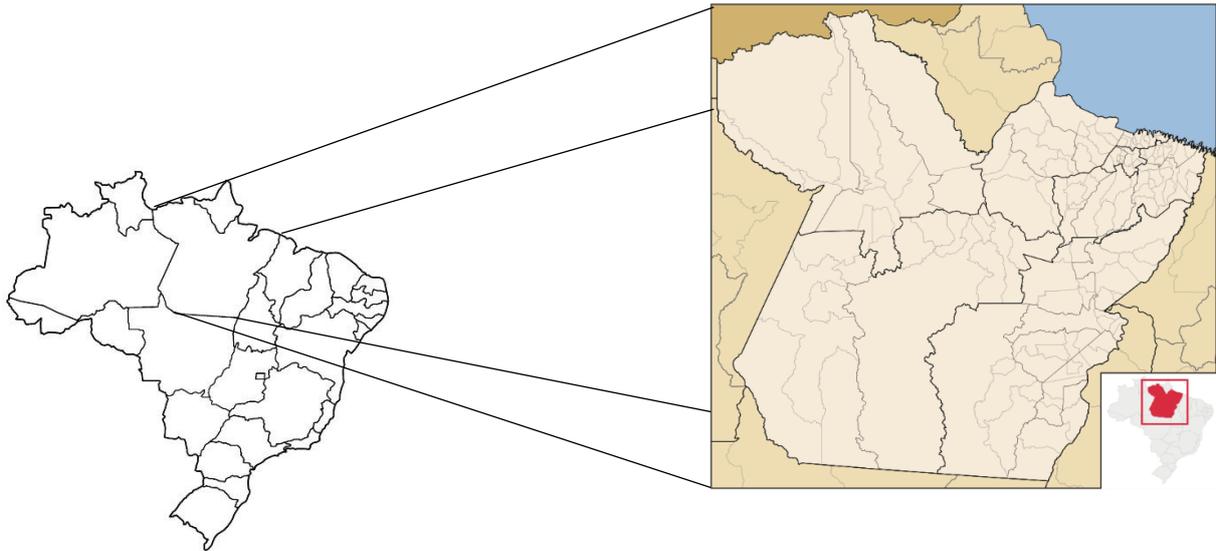
Além disso, o desmatamento na Amazônia contribui de forma significativa para as emissões de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. A floresta armazena grandes quantidades de carbono em sua biomassa, e a liberação desse carbono decorrente da queima ou decomposição da vegetação desmatada intensifica a emissão de gases do efeito estufa, contribuindo para as mudanças climáticas globais (Aragão *et al.*, 2007; Malhi *et al.*, 2008; Nepstad *et al.*, 2014). O desmatamento também reduz a capacidade da floresta em absorver CO₂ da atmosfera por meio da fotossíntese, agravando ainda mais o problema.

Além dos impactos locais, o desmatamento na região amazônica afeta a regulação dos regimes de chuvas. A floresta desempenha um papel crucial na manutenção dos ciclos hidrológicos, influenciando a precipitação e a distribuição das chuvas em diferentes regiões (Fearnside, 2005). A destruição da floresta amazônica pode alterar os padrões de chuvas não apenas na região, mas também em áreas distantes, impactando a agricultura, a disponibilidade de água e a sustentabilidade dos ecossistemas locais (Nobre *et al.*, 2016; Marengo *et al.*, 2018). Portanto, a preservação das florestas nativas torna-se uma questão crítica para a conservação da biodiversidade, mitigação das mudanças climáticas e para a manutenção dos serviços ecossistêmicos.

2.2. Estado do Pará

O estado do Pará, localizado no norte do Brasil, é uma região de grande importância para a Amazônia brasileira. É o segundo maior estado em extensão territorial, com uma área de aproximadamente 1.247.954 km² (IBGE, 2023). A população é estimada em cerca de 8,7 milhões de habitantes (IBGE, 2023). Uma característica marcante do Pará é sua vasta cobertura florestal, que corresponde a parte significativa da floresta amazônica, com uma área estimada em cerca de 382.506 km² (Imazon, 2023). A figura 1 apresenta a localização do Pará em relação aos demais estados brasileiros.

Figura 1 - Estado do Pará



Fonte: Governo do Estado do Pará, Subdivisões. 2022.

Dentre as principais atividades econômicas, destaca-se a agropecuária, que desempenha um papel significativo na economia paraense, abrangendo diferentes culturas agrícolas e criação de gado. A produção de soja tem sido uma das atividades agrícolas de maior destaque, com expansão significativa nos últimos anos. O Pará possui áreas de cerrado que são adequadas para o cultivo de soja, e a região tem atraído investimentos nesse setor (Embrapa, 2017). A pecuária também é uma atividade importante, com destaque para a criação de gado bovino. A produção de carne da região Norte corresponde a 21,6% do total brasileiro, o Pará participa com 43,4% desse montante (Embrapa, 2017). No entanto, vale ressaltar que o Estado ainda possui um sistema de pecuária menos intensivo. As áreas de pastagens são geralmente extensas, com baixa lotação de animais por hectare. Essa característica resulta em menor produtividade por área, quando comparada a outras regiões (como Mato Grosso e Goiás), onde técnicas mais sofisticadas de manejo e genética de bovinos são utilizadas de forma mais intensa (Embrapa, 2017).

A expansão da fronteira agrícola e a abertura de áreas de pastagem fazem do Pará um dos estados que mais desmata entre os nove que compõem a região amazônica, isso intensifica uma preocupante tendência de aumento do desmatamento na região. A Tabela 1 apresenta a distribuição da estimativa da taxa de desmatamento para o ano de 2021 nos estados da Amazônia Legal brasileira.

Tabela 1 - Distribuição do desmatamento por Estado da Amazônia Legal - 2021

Estado	Área desmatada (km ²)	Contribuição (%)
Acre	871	6,58
Amazonas	2,347	17,73
Amapá	39	0,29
Maranhão	363	2,74
Mato Grosso	2,263	17,1
Pará	5,257	39,72
Rondônia	1,681	12,70
Roraima	386	2,92
Tocantins	28	0,21

Fonte: MCTI (2021)

O estado do Pará foi responsável por quase metade da área desmatada na Amazônia em 2021, contribuindo com 39,72% do desmatamento total. A ocupação desordenada do território, a falta de governança ambiental efetiva e a ausência de monitoramento adequado agravam o problema (Laurance *et al.*, 2012).

2.3. Programa Municípios Verdes (PMV)

O Estado do Pará foi afetado por ações de combate ao desmatamento na Amazônia por parte do governo Federal e do Ministério Público Federal (MPF) durante a primeira década dos anos 2000. Essas medidas resultaram na inclusão de 17 municípios na lista² crítica de desmatamento pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e na assinatura de Termos de ajustamento de condutas por parte de frigoríficos e produtores de gado. Além disso, milhares de imóveis rurais foram embargados, acarretando impactos sociais em função da paralisação das atividades econômicas irregulares (PMV, 2013). Nesse contexto, em resposta ao desafio de combater o desmatamento, foi lançado em 2011, pelo governo do Estado do Pará o Programa Municípios Verdes (PMV), cujo princípio é o trabalho em parceria com todos os níveis de governo, sociedade civil, iniciativa privada e Ministério Público (PMV, 2013).

Os objetivos gerais do PMV consistem no combate ao desmatamento e fortalecimento da produção rural sustentável por meio de ações estratégicas de ordenamento, gestão ambiental e fundiária. Isso é feito a partir de pactos locais nos municípios, monitoramento do desmatamento, implantação do Cadastro Ambiental Rural³(CAR) e fortalecimento da gestão ambiental municipal. O primeiro passo para a adesão ao PMV é a assinatura pelo município do termo de compromisso com o MPF, visando dar estabilidade jurídica e política ao programa. Nesse documento, os Municípios se comprometem com um conjunto de sete metas (quadro 1), a serem monitoradas pela coordenação do PMV e validadas pelo Comitê Gestor, que habilita o município a receber benefícios como o desembargo ambiental, incentivos fiscais e prioridade na alocação dos recursos públicos estaduais (PMV, 2013).

² Para o município entrar pela primeira vez na lista, a área desmatada deve ser igual ou maior que 80 quilômetros quadrados no último ano, ou ter desmatado mais de 160 quilômetros quadrados nos últimos 3 anos.

³ É um registro público eletrônico nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento.

Quadro 1 – Sete metas do PMV

Metas	
<i>M₁</i>	Celebrar o pacto local contra o desmatamento com a sociedade e governos locais
<i>M₂</i>	Criar o grupo de trabalho municipal de combate ao desmatamento ilegal
<i>M₃</i>	Realizar as verificações em campo dos focos de desmatamento ilegal e reportar ao programa
<i>M₄</i>	Manter a taxa anual de desmatamento abaixo de 40 Km ² (com base nos critérios do Prodes/Inpe)
<i>M₅</i>	Possuir mais de 80% da área municipal cadastrada no Cadastro Ambiental Rural (CAR)
<i>M₆</i>	Não fazer parte da lista dos municípios que mais desmatam na Amazônia
<i>M₇</i>	Introduzir nas escolas municipais noções de educação ambiental

Fonte: PMV, 2013.

As metas são consideradas estratégicas, uma vez que, aliadas ao fortalecimento da gestão ambiental municipal, resultam em avanços para atingir os objetivos do PMV. As decisões estratégicas e o plano de ação do programa são de responsabilidade de um Comitê Gestor, composto por 21 integrantes oriundos do poder público e sociedade civil. Sua atuação é baseada em quatro eixos estratégicos - controle e combate ao desmatamento; ordenamento territorial, ambiental e fundiário; produção sustentável; e gestão ambiental compartilhada – que são apresentados no quadro 2.

Quadro 2 – Eixos estratégicos do PMV

Eixos	Descrição
Controle e monitoramento do desmatamento	Tirar os municípios paraenses da lista de maiores desmatadores do MMA e, com isso, desembargar as propriedades e criar regras estáveis, seguras e transparentes, que possibilitem o desenvolvimento de atividades sustentáveis.
Ordenamento ambiental, territorial e fundiário	Identificação das atividades causadoras do desmatamento e adoção de medidas de controle corretivas ou preventivas.
Produção sustentável	Levar o Pará rumo a uma economia de baixo carbono, que também colabore para tirar um terço da população da linha de pobreza, promovendo equidade social
Gestão ambiental compartilhada	Fortalecimento do papel dos municípios na área rural e no combate ao desmatamento

Fonte: PMV (2013).

Desde 2011, o Programa Municípios Verdes atuou de forma significativa nos 144 municípios paraenses, dos quais 52 aderiram de forma plena ao programa (formalizando pactos de combate ao desmatamento) e 95 aderiram ao termo de compromisso do MPF. Dentre os municípios que aderiram, 21 municípios obtiveram o certificado de “Municípios Verdes” por alcançarem as 7 metas do Programa (PMV, 2023). No contexto dessa pesquisa, serão considerados como grupo de tratamento apenas os municípios que aderiram de forma plena ao PMV.

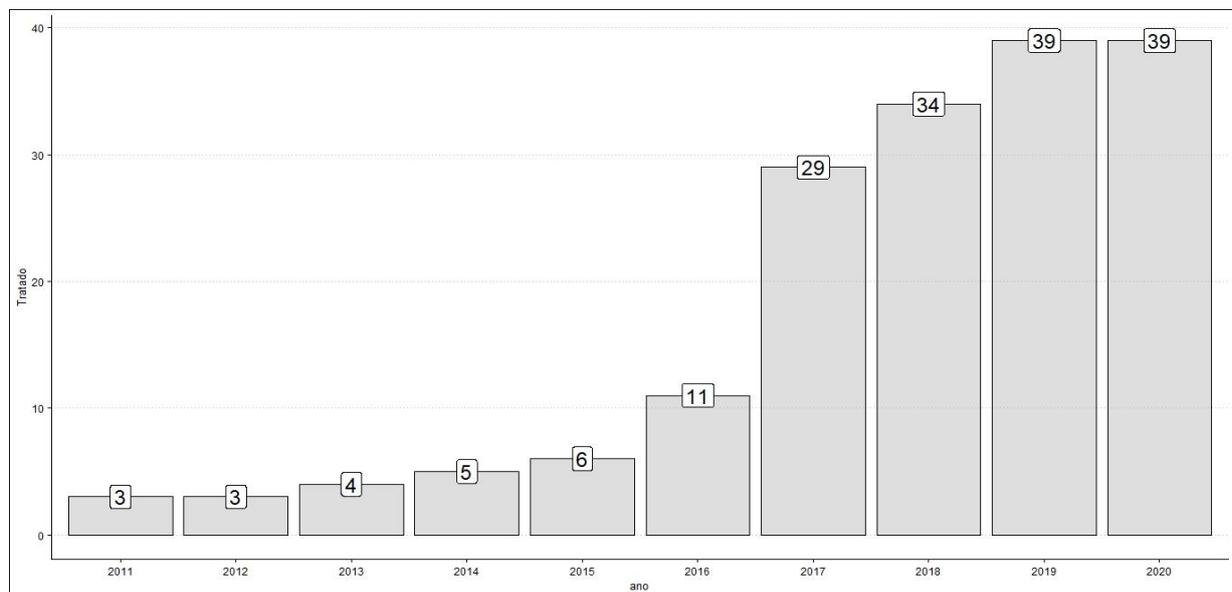
3. Metodologia

3.1. Amostra

A amostra de pesquisa é composta por 131 dos 144 municípios do estado do Pará, representando 90,9% do total. A análise abrange o período de 2010 a 2020. Durante o levantamento, não foi possível encontrar informações precisas sobre a data de adesão de 13 dos 52 municípios que formalmente aderiram ao PMV ao longo desse período, resultando na exclusão dessas observações da amostra. Dessa forma, o grupo de tratamento é composto por 39 municípios, enquanto o grupo de controle contém 92. Os dados foram organizados em séries temporais do tipo *Cross-section* empilhadas (TSCS). Os dados TSCS são caracterizados por observações repetidas (geralmente anuais) nas mesmas unidades políticas fixas (geralmente estados, países ou municípios) (Grier & Tullock, 1989). Nessa linha, os dados utilizados nessa pesquisa incluem

1451 observações, cobrindo 131 municípios do Estado por 11 anos. O gráfico 1 apresenta o número de adesões ao PMV (acumuladas) por período.

Gráfico 1 – Adesões de municípios ao PMV no período 2011-2020



Fonte: Da pesquisa, 2023.

Observa-se, com base no gráfico 1, um aumento mais acentuado no número de municípios que aderiram ao PMV entre os anos de 2016 e 2017 (aumento de 169% na adesão no período).

3.2. Variáveis de Pesquisa

Os dados de desmatamento para o Estado do Pará foram obtidos através do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES). O projeto PRODES realiza o monitoramento por satélite do desmatamento por corte raso na Amazônia Legal e produz, desde 1988, as taxas anuais de desmatamento na região, que são usadas pelo governo brasileiro para o estabelecimento de políticas públicas. As taxas anuais são estimadas a partir dos incrementos de desmatamento identificados em cada imagem de satélite que cobre a Amazônia Legal.

O quadro 3 apresenta as variáveis utilizadas na pesquisa, além do PRODES, foram extraídos dados da base Sidra IBGE e da rede colaborativa MapBiomias.

Quadro 3 – Variáveis utilizadas na Pesquisa

cod	Variável	Descrição	med
y	Proporção de área desmatada	Razão entre área desmatada e área total dos municípios	(%)
x_1	PIB per capita	Valor médio agregado por indivíduo, em moeda corrente e a preços de mercado, dos bens e serviços finais produzidos.	(R\$)
x_2	Densidade Populacional	Exprime a distribuição da população em um determinado território	(n/km ²)
x_3	Proporção de participação da agropecuária em relação ao PIB	Razão entre VAB (valor adicionado bruto) do setor agropecuário e PIB total.	(%)
x_4	Proporção de participação da indústria em relação ao PIB	Razão entre VAB (valor adicionado bruto) do setor industrial e PIB total.	(%)
x_5	Pastagem	Área total de pastagem	(ha)
x_6	Lavouras temporárias	Área total destinada a lavouras temporárias	(ha)
x_7	Mineração	Área total destinada a Mineração	(ha)
x_8	PMV	Dummy tratamento: Municípios que aderiram ao PMV (1), Municípios que não aderiram (0)	(Binária)

Fonte: Da pesquisa, 2023.

Os dados foram tratados e analisados por meio de linguagem de programação estatística R, sendo utilizado o software livre R-Studio.

3.3. Procedimentos estatísticos

3.3.1. Diferenças em Diferenças (DiD)

A abordagem de Diferenças em Diferenças (DiD) é amplamente utilizada para identificar e estimar o efeito causal em ambientes não experimentais. A versão "canônica" de DiD envolve dois períodos de tempo de dois grupos. O primeiro período é representado pelo tempo antes do tratamento, e o segundo período, após o tratamento. Os dois grupos são, portanto, representados por unidades tratadas e de controle. A metodologia DiD utiliza um processo de dupla subtração, onde inicialmente se avalia a diferença das médias das variáveis de resultado entre os períodos para o grupo tratado e o grupo de controle e, em seguida, a diferença da primeira diferença entre esses grupos (Angrist & Pischke, 2009).

Em um modelo com dois períodos de tempo, sendo t e $t - 1$, as unidades i da população tratada ($D_i = 1$) recebem o tratamento entre os períodos t e $t - 1$, enquanto as unidades não tratadas ($D_i = 0$) permanecem sem tratamento em ambos os períodos de tempo. Em uma estrutura de resultados potenciais, onde $Y_{it}(0)$ é o resultado potencial da unidade i no período t se i pertencer ao grupo de não tratados em ambos os períodos e $Y_{it}(1)$ o resultado potencial da unidade i no período t se i não for tratado no primeiro período, mas exposto ao tratamento no segundo período (Callaway & Sant'Anna, 2021). Nessa linha, os resultados observados são dados por:

$$Y_{it-1} = Y_{it-1}(0) \quad Y_{it} = D_i Y_{it}(1) + (1 - D_i) Y_{it}(0)$$

No primeiro período, observam-se resultados potenciais não tratados para todos. No segundo período, além dos resultados potenciais tratados para unidades que realmente participam do tratamento, observam-se também resultados potenciais não tratados para unidades que não participam do tratamento. O principal parâmetro de interesse na maioria das especificações DiD é o efeito médio do tratamento no tratado (ATT), que é dado por:

$$ATT = E[Y_t(1) - Y_t(0)|D = 1]$$

Esta é a diferença entre os resultados potenciais tratados e não tratados, em média, para as unidades do grupo tratado. A principal suposição em uma especificação DiD é chamada de suposição de tendências paralelas, que é dada por:

$$E[Y_t(0) - Y_{t-1}(0)|D = 1] = E[Y_t(0) - Y_{t-1}(0)|D = 0]$$

Essa suposição estabelece que a mudança nos resultados ao longo do tempo que as unidades do grupo tratado teriam experimentado se não tivessem participado do tratamento é a mesma que o caminho dos resultados que as unidades do grupo não tratado realmente experimentou.

Esse pressuposto é potencialmente útil porque o caminho de resultados potenciais não tratados para unidades no grupo tratado não é conhecido, mas se observa o caminho de resultados potenciais não tratados para unidades no grupo não tratado. Sob a hipótese de tendências paralelas, o ATT é identificado e dado por:

$$ATT = E[Y_t - Y_{t-1}|D = 1] - E[Y_t - Y_{t-1}|D = 0]$$

Ou seja, o ATT é a diferença entre a mudança média nos resultados ao longo do tempo experimentada pelas unidades no grupo tratado ajustada pela mudança média nos resultados ao longo do tempo experimentada pelas unidades no grupo não tratado; o último termo, sob a hipótese de tendências paralelas, é qual teria sido o caminho dos resultados para as unidades do grupo tratado se elas não tivessem participado do tratamento (Callaway & Sant'Anna, 2021).

Atualmente, o método vem passando por algumas alterações, e essa evolução está atrelada ao relaxamento de alguns componentes da especificação canônica. Um dos avanços do método se concentra no uso de múltiplos períodos e variação no tempo de tratamento. Para Baker, Larcker & Wang (2022), essas especificações de DiD escalonados tem sido vistas como vantajosas e robustas, já que a inclusão de vários períodos de tratamento alivia as preocupações de que os efeitos observados do tratamento sejam impulsionados por tendências contemporâneas.

O tempo de tratamento na extensão escalonada é representado por T períodos indexados em $t = (1, \dots, T)$, podendo as unidades receber o tratamento em qualquer um deles. Conforme mostrado por Goodman-Bacon (2018), o tempo de tratamento varia, e o estimador de efeito fixos bidirecionais (TWFE) torna-se uma média ponderada de todos os pares possíveis do estimador DiD subjacente. D_{it} é um indicador para saber se à unidade i recebeu tratamento no período t , e $G_i = \min \{t: D_i = 1\}$ o primeiro período em que a unidade i recebeu tratamento. Se i nunca foi tratada durante a amostragem, então $G_i = \infty$. A especificação de efeitos fixos bidirecionais (TWFE) é dada por:

$$Y_{it} = \theta_t + \alpha_i + \alpha D_{it} + v_{it}$$

em que θ_t representa um efeito fixo no tempo, α_i o efeito fixo unitário, D_{it} é a variável dummy de tratamento, v_{it} são variáveis não observadas (médias independentes) e α representa o parâmetro de interesse, interpretado como o efeito médio da participação no tratamento.

Embora estudos recentes apontem algumas desvantagens de se usar o procedimento de estimativa TWFE (Chaisemartin & D'Haultfoeuille, 2020; Goodman-Bacon, 2021), a especificação ainda é padrão para esse tipo de pesquisa.

3.3.2. Pareamento

O método de pareamento é utilizado visando a construção de um grupo de controle que seja semelhante ao grupo de tratamento em termos de características observáveis. Essa abordagem busca criar grupos comparáveis, permitindo uma estimação mais eficiente do efeito causal do tratamento. Existem diferentes técnicas de pareamento que podem ser aplicadas em modelos DiD, sendo que uma das mais utilizadas é o *propensity score matching* (PSM) (Rosenbaum & Rubin, 1983). O PSM combina os indivíduos dos grupos de tratamento e controle com base em seus valores de escore de propensão, que consiste na probabilidade da atribuição do grupo (por exemplo, tratamento) condicionada às covariáveis de linha de base observadas. Uma tendência geral é aplicar PSM com reposição quando a população da qual o grupo de controle selecionado é muito pequeno. Segundo Szekér & Vathy-Fogarassy (2020), o escore de propensão é a probabilidade condicional de atribuição de tratamento com base nas covariáveis de linha de base observadas:

$$p_i = \Pr(z_i = 1 | X_i)$$

em que p_i denota a pontuação de propensão para o i -th participante, e $z_i \in \{0, 1\}$ denota a variável de tratamento de tal forma que $z_i = 0$ refere-se ao grupo de controle (por exemplo, não tratado) e $z_i = 1$ refere-se ao caso (por exemplo, tratado). Sujeitos caracterizados pelas mesmas propriedades têm os mesmos escores de propensão.

Em estudos observacionais retrospectivos, o verdadeiro escore de propensão é desconhecido e deve ser estimado a partir dos dados disponíveis. Normalmente, é estimado usando um modelo de regressão logística (*logit*). Nesse caso, o estado de tratamento é regredido nas covariáveis de linha de base observadas e os escores de propensão são estimados pelo modelo ajustado. A função de regressão linear múltipla estimada pelo modelo de regressão logística pode ser definida da seguinte forma (Szekér & Vathy-Fogarassy, 2020):

$$\text{logit}(p) = b_0 + b_1 f_1 + b_2 f_2 + \dots + b_n f_n$$

Onde:

$$\text{logit}(p) = \ln \left(\frac{p}{1-p} \right)$$

e p é a probabilidade de ser exposto. Além disso, os valores $b_k (k = 1, 2, \dots, n)$ são os coeficientes de regressão que descrevem os efeitos relativos das covariáveis (f_k) no status da atribuição do grupo (por exemplo, tratamento). O escore de propensão estimado por regressão logística é calculado como:

$$p = \frac{e(b_0 + b_1f_1 + b_2f_2 + \dots + b_nf_n)}{1 + e(b_0 + b_1f_1 + b_2f_2 + \dots + b_nf_n)}$$

A forma de pareamento segue essencialmente, a abordagem baseada no vizinho mais próximo (*nearest neighbors*). Ou seja, o indivíduo é selecionado com base no pareamento de candidatos cujo escore de propensão é o mais semelhante ao escore de propensão do município a ser pareado no grupo de tratamento. Se vários sujeitos tiverem escores de propensão igualmente próximos ao escore de propensão do sujeito da amostra, um deles será selecionado aleatoriamente (Szekér & Vathy-Fogarassy, 2020). Como esse método não contém nenhuma restrição quanto à diferença máxima aceitável entre os escores de propensão dos dois sujeitos pareados, as implementações práticas geralmente levam em consideração um parâmetro limite para a seleção (Austin, 2011). Indivíduos dentro de uma certa distância dos escores de propensão são pareados, e indivíduos que ficam fora desse intervalo são negligenciados.

Vale ressaltar que alguns autores, como Angrist & Pischke (2008), afirmam que nem sempre é necessário realizar o pareamento, especialmente quando se utiliza um modelo de efeitos fixos bidirecionais (TWFE) em um desenho de painel. Esses modelos incorporam efeitos fixos para cada unidade e cada período, capturando as características não observadas específicas de cada unidade e as tendências temporais comuns a todas as unidades. Dessa forma, o pareamento não se torna essencial, pois o modelo leva em consideração as variações tanto entre unidades quanto dentro das unidades ao longo do tempo. Entretanto, a utilização de pareamento em modelos de efeitos fixos (TWFE) pode ser explorada em casos específicos, em que existam desequilíbrios significativos entre as unidades tratadas e de controle. Em tais situações, o pareamento pode ser aplicado como uma estratégia adicional para aumentar a comparabilidade entre os grupos e reduzir potenciais vieses de seleção (Abadie & Imbens, 2006). Nesse contexto, o presente estudo utilizará as duas abordagens, implementando um modelo TWFE com dados pareados e outro com os dados não pareados.

4. Resultados

4.1. Análise descritiva

A tabela 2 apresenta as médias anuais referentes as áreas desmatadas (km^2) e a proporção de área desmatada em relação a área total do município (%) para o Estado do Pará no decorrer do período 2010-2020.

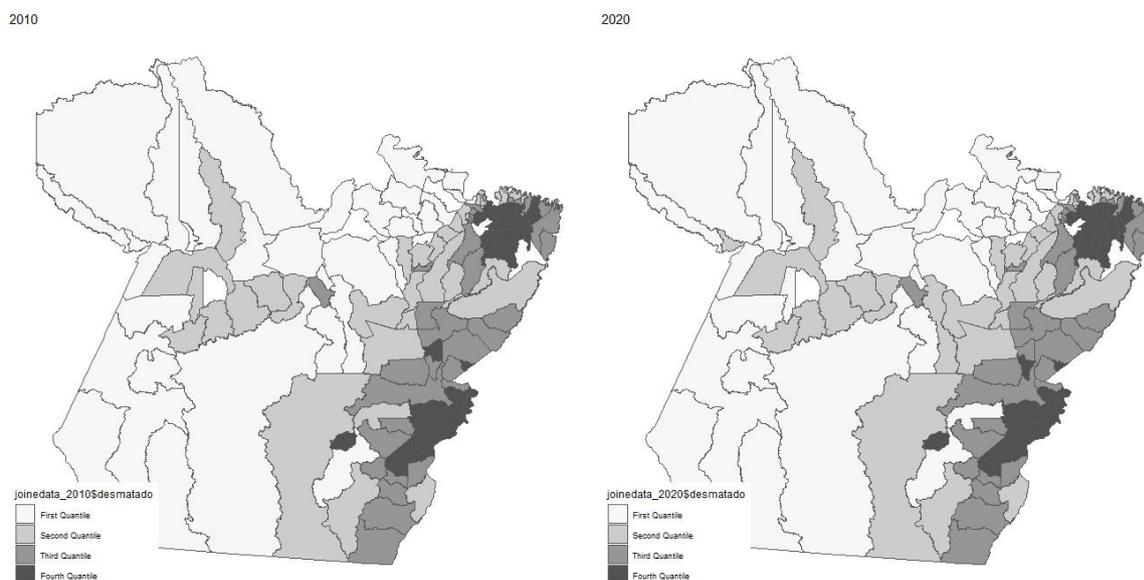
Tabela 2 – Médias anuais – área desmatada e proporção de área desmatada

Ano	Área desmatada (km ²)	Prop área desmatada (%)	Ano	Área desmatada (km ²)	Prop área desmatada (%)
2010	1764	0,463	2016	1960	0,481
2011	1879	0,473	2017	1980	0,483
2012	1892	0,475	2018	2000	0,484
2013	1908	0,476	2019	2034	0,487
2014	1922	0,477	2020	2069	0,49
2015	1939	0,479			

Fonte: Da pesquisa, 2023.

As médias apresentam aumento em todos os períodos analisados. No que se refere a área total em quilômetros quadrados, verifica-se um aumento médio de 17%, de 2010 a 2020. Em relação a proporção de área desmatada em relação à área total, o aumento no período foi de 5,8%. O padrão geográfico do desmatamento no Estado do Pará pode ser observado nos mapas apresentados na figura 2. Eles ilustram a distribuição das áreas desmatadas, desagregadas por quantis nos municípios nos anos de 2010 e 2020.

Figura 2 - Proporção de área desmatada em relação a área total



Fonte: Da pesquisa, 2023.

As cores indicam a magnitude do desmatamento, sendo que, quanto mais escura a tonalidade de cinza maior é o percentual de área desmatada. Observa-se que não houve uma mudança significativa nos padrões de desmatamento no período. Os municípios localizados nas mesorregiões sudeste e nordeste paraense apresentam níveis mais elevados de desmatamento, nos dois períodos. Enquanto os municípios localizados nas mesorregiões sudoeste paraense e baixo amazonas apresentam níveis menores.

Os municípios inseridos nas mesorregiões sudeste e nordeste, localizados ao longo da BR-163, se caracterizam pela expansão da fronteira agrícola, com a conversão de áreas florestais em

pastagens e cultivos agrícolas, como soja e milho. A infraestrutura de transportes, como estradas e hidrovias, facilita o acesso e a exploração dessas áreas. A atividade agropecuária, incluindo a pecuária extensiva e a expansão de áreas para cultivos de grãos, tem sido um dos principais impulsionadores do desmatamento nessas regiões. Além disso, a exploração madeireira ilegal e a mineração irregular também contribuem para o agravamento do problema (Fearnside, 2001).

4.2. Pareamento

O pareamento foi realizado com base em dados referentes ao período imediatamente anterior a implementação do PMV (2010). Para cada unidade tratada, foram selecionadas duas unidades de controle com propensões similares, após o pareamento. 44 observações da amostra de controle e 6 observações da amostra tratada não encontraram uma correspondência adequada no outro grupo, sendo excluídas da base. Dessa forma, o pareamento alocou 48 observações na amostra de controle e 33 observações para o grupo de tratamento, totalizando 81 municípios. A tabela 3 apresenta as médias e a significância das covariadas antes (NP) e depois do Pareamento (P).

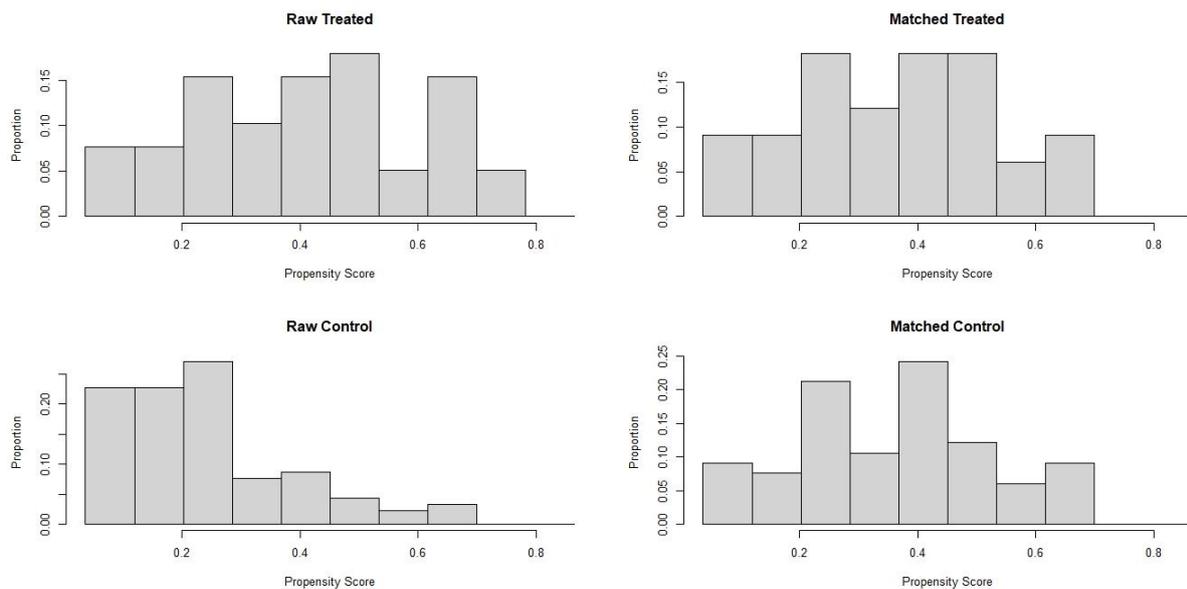
Tabela 3 - Teste de médias de covariadas antes e depois do Pareamento

Variáveis		Médias		Teste de Média	
		Tratamento	Controle	95% CI	<i>p</i>
PIB per capita (x_1)	NP	2,6088	2,2713	[0,2372, 0,4375]	0,000
	P	1,5331	1,5837	[-0,3184, 0,2172]	0,708
Densidade Populacional (x_2)	NP	2,9059	2,3422	[0,3169, 0,8106]	0,000
	P	2,8280	2,4106	[-0,2093, 1,0450]	0,189
Proporção Agro (x_3)	NP	-2,0819	-1,6739	[-0,5854, -0,2305]	0,000
	P	-1,7757	-1,6360	[-0,5866, 0,3073]	0,536
Proporção Indústria (x_4)	NP	-2,6437	-2,6007	[-0,1914, 0,1054]	0,570
	P	-2,5516	-2,5352	[-0,4221, 0,3892]	0,936
Pastagem (x_5)	NP	5,8681	6,3285	[-0,7423, -0,1786]	0,001
	P	5,8270	5,9817	[-0,8801, 0,5707]	0,672
Lavouras Temporárias (x_6)	NP	-0,0750	0,6275	[-1,1168, -0,2884]	0,000
	P	-0,9536	-0,8936	[-1,2249, 1,1050]	0,919
Mineração (x_7)	NP	-8,5249	-9,6589	[-0,1823, 2,4504]	0,091
	P	-7,2664	-7,2304	[-2,7757, 2,7039]	0,980

Fonte: Da pesquisa, 2023.

Observa-se que antes do pareamento, cinco das sete variáveis (x_1 , x_2 , x_3 , x_5 e x_6) apresentavam diferenças estatisticamente significantes entre os grupos ($p < 0,05$). Após o *Propensity Score Matching* (PSM), as unidades tratadas e de controle correspondentes passam a apresentar uma distribuição semelhante de escores de propensão ($p > 0,05$). Os histogramas apresentados na figura 2 ilustram essa diferença, por meio da distribuição dos dados para os grupos de tratamento e controle antes e depois do tratamento.

Figura 2 – Distribuição dos dados antes e depois do pareamento



Fonte: Da pesquisa, 2023.

Para os grupos de tratamento, a pontuação de propensão apresenta similaridade, com mais observações distribuídas no intervalo entre 0,2 e 0,5. No que se refere ao grupo de controle, observa-se que após o pareamento, a pontuação de propensão para o grupo de controle apresentou maior similaridade em relação ao grupo de tratamento, com uma distribuição mais acentuada no intervalo entre 0,2 e 0,7.

4.3. Efeitos fixos bidirecionais (TWFE)

Visando estimar o impacto do PMV sobre os níveis de desmatamento no estado do Pará, foram estimados modelos de efeitos fixos bidirecionais (TWFE). A tabela 4 apresenta os coeficientes e o nível de significância das variáveis para o modelo com observações pareadas e não pareadas (Dados integrais).

Tabela 4 – Resultados dos modelos de efeitos fixos bidirecionais (TWFE)

Variáveis	Dados sem o pareamento	Após o pareamento (PSM)
PIB per capita (x_1)	0,0335*** (0,0062)	0,0292*** (0,0079)
Densidade Populacional (x_2)	-0,0342 (0,0218)	-0,0904** (0,0287)
Proporção Agro (x_3)	0,0167*** (0,0043)	0,0110* (0,0050)
Proporção Indústria (x_4)	-0,0076** (0,0027)	-0,0043 (0,0032)
Pastagem (x_5)	0,1110*** (0,0091)	0,0698*** (0,0114)
Lavouras Temporárias (x_6)	0,0003 (0,0010)	0,0008 (0,0011)
Mineração (x_7)	0,0009 (0,0010)	-0,0007 (0,0013)
PMV (x_8)	-0,0242*** (0,0043)	-0,0109* (0,0047)
R ²	0,1657	0,0953

Note:

*p<0.1 **p<0.05; ***p<0.01

Fonte: Da pesquisa, 2023.

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que a variável de interesse, que representa a adesão dos municípios ao PMV (x_8), apresentou sinal negativo estatisticamente significativo ($p<0,05$) em ambos os conjuntos de dados. Isso sugere que a adesão ao programa resultou em uma redução significativa na proporção de área desmatada nos municípios participantes, quando comparados aos demais. No entanto, é importante ressaltar que o efeito é relativamente pequeno, dado que um aumento de uma unidade na adesão ao PMV, representa uma diminuição de apenas 2% na proporção de área desmatada por município (o que representa aproximadamente 38,78 Km² em média), considerando o modelo não pareado (dados sem pareamento). Para o modelo com observações pareadas, o efeito observado é ainda menor, haja visto que um aumento de uma unidade na adesão ao programa representa uma diminuição de apenas 1% na proporção de área desmatada por município (19,39 km² em média).

No que se refere as demais variáveis explicativas, observa-se que o PIB per capita (x_1) apresenta sinal positivo significativo em ambos os conjuntos de dados, refletindo a relevância da agropecuária e da indústria madeireira (atividades geralmente associadas ao desmatamento) para a geração de renda nos Municípios do Estado (Embrapa, 2017). A variável densidade populacional (x_2) apresentou sinal negativo em ambos os modelos, porém, estatisticamente significativa apenas no modelo com dados pareados. A vasta extensão territorial que compreende uma das maiores áreas de floresta tropical entre os estados brasileiros contribui para uma distribuição populacional mais esparsa. Além disso, infere-se que em municípios menos habitados, a presença de órgãos fiscalizadores é menor, o que contribui para a prática de desmatamento ilegal.

Como era esperado, a proporção de participação do setor agrícola em relação ao PIB apresentou associação positiva significativa em relação aos níveis de desmatamento nos dois modelos estimados. A expansão da fronteira agrícola (áreas de cultivo e pastagens) está intrinsecamente ligada à transformação da paisagem, por meio do desmatamento, da mudança de ecossistemas e da intensificação do uso de recursos naturais, como água e solo (Foley *et al.*, 2011). No que se refere a participação da indústria no PIB (x_4), os resultados sugerem um efeito negativo (significativo para o modelo não pareado). Dentre as principais atividades industriais do estado do Pará, destacam-se a mineração e siderurgia (DIEPSAC, 2022). Nessa linha, é provável que em municípios onde essas atividades predominam, a relevância econômica para a população de práticas que levam ao desmatamento, como agricultura e pecuária diminuam. Embora a mineração possa ter impactos ambientais significativos em áreas específicas de operação, esses impactos podem não se refletir em mudanças discerníveis nos níveis de desmatamento, o que justifica a não significância dessa variável (x_7).

A variável que apresenta maior impacto sobre a proporção de área desmatada no Estado do Pará é pastagem (x_5), dado que um aumento de 1% nessas áreas está associado a um incremento que varia de 6% a 11% na proporção de áreas desmatadas, dependendo do modelo estimado. Esses resultados reforçam o argumento de que a tendência de longo prazo no desmatamento na Amazônia dependerá, em parte, dos desdobramentos da produção de gado na região (Nespted *et al.*, 2014), que aumentou cerca de 2,5 vezes o número de cabeças por hectare no período 1990 - 2012 (Maranhão *et al.*, 2019). Em relação a lavouras temporárias (x_6), não se observa significância estatística em nenhum dos modelos. A principal cultura de lavouras temporárias cultivada no estado do Pará é a soja. Nesse contexto, Domingues e Bermman (2012) afirmam que, apesar dos impactos ambientais envolvidos no plantio da soja, seu avanço na região amazônica não tem gerado altos níveis de desmatamento, ao menos não diretamente, pois a expansão do cultivo se dá em grande parte por meio da ocupação de áreas degradadas que anteriormente eram destinadas à pastagem.

5. Considerações Finais

Com base nos resultados obtidos, observa-se que a adesão ao PMV resultou em uma redução significativa na proporção de área desmatada nos municípios participantes, quando comparados aos demais. No entanto, é importante destacar que o efeito do programa foi relativamente pequeno, representando uma diminuição de apenas 2% na proporção de área desmatada por município, considerando o modelo não pareado. Para o modelo com observações pareadas, o efeito foi ainda menor, com uma diminuição de apenas 1%. Esses resultados indicam que o programa tem um impacto positivo, mas limitado, na redução do desmatamento no Estado. Para aumentar sua eficácia, algumas medidas podem ser consideradas. Em primeiro lugar, é fundamental que haja maior comprometimento em relação as metas estabelecidas pelo programa, principalmente no que tange a manter a taxa anual de desmatamento abaixo de 40 Km² (com base nos critérios do Prodes/Inpe) e, não fazer parte da lista dos municípios que mais desmatam na Amazônia.

Segundo a última avaliação do programa, apresentada em um documento publicado pela assessoria de comunicação do PMV (PMV, 2014), o programa teve efeito positivo, contribuído para a redução do desmatamento no Estado do Pará desde sua criação em 2011. Dados divulgados em novembro de 2014 pelo Ministério do Meio Ambiente, por meio do sistema

Prodes, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), apontam uma redução de 20% nas áreas desmatadas (2.346 km² para 1.887 km²), redução maior que a média da Amazônia (18%). Entretanto, dados mais recentes do Sistema de Alerta do Desmatamento (SAD), do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), revelam que o Pará segue como o estado que mais desmata entre os nove que compõem a região amazônica. De agosto de 2021 a julho de 2022, foram derrubados 3.858 km² de florestas paraenses, o que representa 36% do total devastado na Amazônia (10.781 km²).

Diante disso, fortalecer a fiscalização e a aplicação das leis ambientais, garantindo que as ações ilegais sejam devidamente punidas deve ser prioridade. Além disso, é necessário investir em educação ambiental e conscientização da população local sobre a importância da preservação das florestas, buscando promover uma mudança de comportamento em relação ao desmatamento. Isso implica maior comprometimento em relação a meta de número sete do PMV (Introduzir nas escolas municipais noções de educação ambiental).

Para futuras pesquisas, sugere-se a realização de estudos de caso em municípios específicos do Pará, buscando compreender os fatores locais que influenciam a eficácia do programa. Além disso, a inclusão de uma abordagem qualitativa, por meio de entrevistas com atores envolvidos, pode fornecer insights adicionais sobre os desafios e as oportunidades para a efetividade do programa. Estudos comparativos entre diferentes programas de combate ao desmatamento também podem contribuir para o desenvolvimento de melhores políticas e estratégias de conservação ambiental. Além disso, abordagens de econometria espacial, visando investigar a relação entre as variáveis explicativas e o desmatamento podem oferecer um maior poder explicativo.

Referências

- Abadie, A., & Imbens, G. W. (2006). Large Sample Properties of Matching Estimators for Average Treatment Effects. *Econometrica*, 74(1), 235-267.
- Angrist, J. D., & Pischke, J. (2008). *Mostly Harmless Econometrics: An Empiricist's Companion*. Princeton. [ISBN: 0691120358](#)
- Aragão, L. E. O. C., Malhi, Y., Roman-Cuesta, R. M., Saatchi, S., Anderson, L. O., & Shimabukuro, Y. E. (2007). Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. *Geophysical Research Letters*, VOL. 34, L07701, [doi:10.1029/2006GL028946](#)
- Austin, P. C. (2011). Optimal caliper widths for propensity-score matching when estimating differences in means and differences in proportions in observational studies. *Pharmaceutical statistics*. 150–161. 10.1002/pst.433
- Baker, A. C., Larcker, D. F., & Charles. C. Y. (2022). Wang, How much should we trust staggered difference-in-differences estimates?. *Journal of Financial Economics*. Volume 144, Issue 2, <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2022.01.004>
- Callaway, B., & P. H. C. Sant'Anna. (2021). Difference-in-differences with multiple time periods. *Journal of Econometrics*, Vol. 225, No. 2, pp. 200-230, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.12.001>

Chaisemartin, C., & D'Haultfœuille, X. (2020). Two-Way Fixed Effects Estimators with Heterogeneous Treatment Effects. *American Economic Review*, 110 (9): 2964-96. DOI: [10.1257/aer.20181169](https://doi.org/10.1257/aer.20181169)

Diretoria de Estudos e Pesquisas Socioeconômicas e Análise Conjuntural - DIEPSAC. (2022) Boletim da Indústria Paraense. Fundação Amazônia de amparo a estudos e pesquisas (FAPESPA).

Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J. B., & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345(6195), 401-406. DOI: [10.1126/science.1251817](https://doi.org/10.1126/science.1251817)

Domingues, M. S., & Bermann, C. (2012). O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. *Ambient. soc.* 15 (2). <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000200002>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. (2017). Atividade Agropecuária no Estado do Pará. Embrapa Amazônia Oriental Belém, PA. [ISSN 1983-0513](https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000200002).

Fernside, P. M. (2005). Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences. *Conservation Biology*. Volume 19. Issue 3. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x>

Fearnside, P. (2001). Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation*, 28(1), 23-38. doi:10.1017/S0376892901000030

Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... & Zaks, D. P. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>

Goodman-Bacon, A. (2021). Difference-in-differences with variation in treatment timing. *Journal of Econometrics*. Volume 225, Issue 2, December 2021, Pages 254-277. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2021.03.014>

Grier, K. B., & Tullock, G. (1989). An Empirical Analysis of Cross-National Economic Growth, 1951-1980. *Journal of Monetary Economics*, 24, 259-276. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-3932\(89\)90006-8](http://dx.doi.org/10.1016/0304-3932(89)90006-8).

Houghton, R. A., House, J. I., Pongratz, J., van der Werf, G. R., DeFries, R. S., Hansen, M. C., Le Quéré, C., & Ramankutty, N. (2012). Carbon emissions from land use and land-cover change, *Biogeosciences*, 9, 5125–5142, <https://doi.org/10.5194/bg-9-5125-2012>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2023). Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa.html>

Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon, (2023). Desmatamento na Amazonia. Imazon. Disponível em: <https://imazon.org.br/imprensa/desmatamento-na-amazonia-chega-a-10-781-km%C2%B2-nos-ultimos-12-meses-maior-area-em-15-anos/>

Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon, desmatamento no Pará: Disponível em: <https://imazon.org.br/imprensa/para-lidera-ranking-de-desmatamento-da-amazonia-em-julho/>

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. Disponível em:

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf

Lapola, D. M., Pinho, P., Barlow, J., Aragão, L. E. O. C., Berenguer, E., Carmenta, R., Liddy, H. M., Seixas, H., Silva, C. V. J., & Walker, W. (2023). *Science***379**, eabp8622. DOI:[10.1126/science.abp8622](https://doi.org/10.1126/science.abp8622)

Laurance, W., Carolina Useche, D., Rendeiro, J. *et al.* (2012). Averting biodiversity collapse in tropical forest protected areas. *Nature* 489, 290–294 (2012).

<https://doi.org/10.1038/nature11318>

Malhi, Y., Roberts, J. T., Betts, R. A., Killeen, T. J., Wenhong, L., & Nobre, C. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319(5860), 169-172. DOI:

[10.1126/science.1146961](https://doi.org/10.1126/science.1146961)

Maranhão, R. L. A., Carvalho Júnior, O. A., Hermuche, P. M., Gomes, R. A. T., McManus, C. M., & Guimarães, R. F. (2019). The Spatiotemporal Dynamics of Soybean and Cattle Production in Brazil. *Sustainability*, 11, 2150. <https://doi.org/10.3390/su11072150>

Marengo, J. A., Jones, R., Alves, L. M., & Valverde, M. C. (2018). Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*, 38(S1), e555-e572.

DOI: [10.1002/joc.1863](https://doi.org/10.1002/joc.1863)

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. (2021). Estimativa de desmatamento por corte raso na Amazônia Legal para 2021 é de 13.235 km². Disponível em:

<https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/divulgacao-de-dados-prodes.pdf>

Nepstad, D., McGrath, D., Stickler, C., Alencar, A., Azevedo, A., Swette, B., Bezerra, T., DiGiano, M., Shimada, J., Seroa da Motta, R., Armijo, E., Castello, L., Brando, P., Hansen, M. C., McGrath-Horn, M., Carvalho, O., & Hess, L. (2014). Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. *Science*. 2014 Jun 6;344(6188):1118-23. DOI: [10.1126/science.1248525](https://doi.org/10.1126/science.1248525)

Nepstad, D., Soares-Filho, B. S., Merry, F., Lima, A., Moutinho, P., Carter, J., ... & Stickler, C. (2009). The end of deforestation in the Brazilian Amazon. *Science*, 326(5958), 1350-1351.

DOI: [10.1126/science.1182108](https://doi.org/10.1126/science.1182108)

Nobre, C. A., et al. (2010). Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(46), 19649-19650.

Nobre, C. A., Sampaio, G., Borma, L. S., Castilla-Rubio, J. C., Silva, J. S., & Cardoso, M. (2016). Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 27;113(39):10759-68. doi:

[10.1073/pnas.1605516113](https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113)

Pimm, S. L., Jenkins, C. N., Abell, R., Brooks, T. M., Gittleman, J. L., Joppa, L. N., Raven, P. H., Roberts, C. M., & Sexton, J. O. (2014). The biodiversity of species and their rates of

extinction, distribution, and protection. *Science*, 344(6187), 1246752. [DOI: 10.1126/science.1246752](https://doi.org/10.1126/science.1246752)

PMV – Programa Municípios Verdes. (2013). *Lições Aprendidas e Desafios para 2013/2014. Governo no Estado do Pará*. ISBN 978-85-86212-51-2

PMV - Programa Municípios Verdes. (2023), *Municípios Participantes do PMV*. Disponível em: https://www.municipiosverdes.pa.gov.br/index.php/municipios_participantes/

Quintão, J. M. B., Cantinho, R. Z., Albuquerque, E. R. G. M. M., & Bustamante, M.C. (2021). Mudanças do uso e cobertura da terra no Brasil, emissões de GEE e políticas em curso. *Ciência e Cultura*, 73(1), 18-24. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602021000100004>

Rosenbaum, P. R., & Rubin, D. B. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*. 70(1): 41–55. 10.1093/biomet/70.1.41

Szekér S, Vathy-Fogarassy Á. Weighted nearest neighbours-based control group selection method for observational studies. *PLoS One*. 2020 Jul 23;15(7):e0236531. doi: 10.1371/journal.pone.0236531.