

Pagamentos por Serviços Ambientais Impactam a Cobertura Florestal? Uma Avaliação do Programa Reflorestar¹

Isabela Passoni Bucher²
Renato Nunes de Lima Seixas³

Resumo

Estudos sobre programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) têm expandido, porém persiste uma lacuna na literatura sobre seus efeitos, especialmente no contexto brasileiro, onde a análise de avaliação de impacto muitas vezes emprega métodos inadequados. Este trabalho visa preencher essa lacuna ao avaliar o programa Reflorestar, implementado pelo governo do Espírito Santo, analisando seu impacto na cobertura florestal e no uso da terra. Utilizamos dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e imagens de satélite do GEOBASES (2008, 2012, 2020). Além da combinação entre os métodos de pareamento por distância de Mahalanobis (MDM) e diferenças em diferenças (DID), também utilizamos estimadores duplamente robustos para calcular o efeito médio do tratamento sobre os tratados (ATT), desenvolvidos por Sant'Anna e Zhao (2020). Os resultados indicam que as propriedades envolvidas no Reflorestar tiveram aumento percentual significativo de área em categorias específicas de uso do solo, como: Mata (13,1%), Mata Nativa em Estágio Inicial (10,1%), Cultivos em geral (12,5%), plantação de Banana (5,2%) e plantação de Mamão (2,2%). Além disso, os resultados apontaram para uma redução de aproximadamente 13% de área destinada a Pastagem. Este estudo enriquece o entendimento sobre os programas de PSA no Brasil, oferecendo uma análise criteriosa da avaliação de impacto sobre o programa Reflorestar, evidenciando efeitos positivos em determinadas categorias de uso do solo, principalmente às destinadas ao reflorestamento.

Palavras-chave: pagamentos por serviços ambientais, cobertura vegetal, políticas públicas, diferenças em diferenças.

Área de submissão: Meio ambiente, recursos naturais e sustentabilidade

Código JEL: Q15, Q23, Q58

Abstract

Studies on Payment for Environmental Services (PES) programs have expanded, yet there remains a gap in the literature regarding their effects, especially in the Brazilian context, where impact evaluation analysis often employs inadequate methods. This work aims to fill this gap by evaluating the Reflorestar program, implemented by the government of Espírito Santo, analyzing its impact on forest cover and land use. We used data from the Cadastro Ambiental Rural (CAR) and satellite images from GEOBASES (2008 and 2020). In addition to combining the Mahalanobis distance matching (MDM) and difference-in-differences (DID) methods, we also used doubly robust estimators to calculate the average treatment effect on the treated (ATT), developed by Sant'Anna and Zhao (2020). The results indicate that properties involved in the Reflorestar program had a significant percentage increase in area for specific land use categories, such as Forest (13.1%), Initial Stage Native Forest (10.1%), General Crops (12.5%), Banana plantations (5.2%), and Papaya plantations (2.2%). Additionally, the results showed a reduction of approximately 13% in the area allocated to Pasture. This study enriches the understanding of PES programs in Brazil, providing a thorough analysis of the impact evaluation of the Reflorestar program, evidencing positive effects in certain land use categories, particularly those aimed at reforestation.

Key words: payments for environmental services, vegetation cover, public policies, differences in differences.

Submission area: Environment, natural resources, and sustainability

JEL Code: Q15, Q23, Q58

¹ Agradecemos o auxílio financeiro da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). As opiniões expressas são de responsabilidade dos autores.

² Mestranda em Economia na Universidade Federal do Espírito Santo - PPEco/UFES. E-mail: isabela.bucher@edu.ufes.br

³ Prof. Doutor do Programa de Pós-Graduação em Economia da UFES. E-mail: renato.seixas@ufes.br

1. Introdução

Denomina-se Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) um sistema de compensação, onde os usuários recebem um valor monetário em troca da prestação de um serviço de preservação ambiental pré-estabelecido. O princípio do PSA se resume em uma transação voluntária entre um comprador (contratante) e um fornecedor (contratado) de serviços ambientais (Wunder, Engel e Pagiola, 2008).

Este serviço, por sua vez, é previamente determinado e o acordo só é de fato concretizado se o contratado certificar a veracidade da sua prestação para o contratante. Em outras palavras, é uma ferramenta que recompensa financeiramente indivíduos que adotam práticas de conservação e proteção ambiental, servindo como incentivo para preservar ecossistemas, promover a biodiversidade, proteger recursos hídricos, reduzir o desmatamento e mitigar os efeitos de mudanças climáticas (Gallemore et al., 2023).

Dessa forma, têm-se como expectativa a colaboração acerca da preservação do meio ambiente e do desenvolvimento sustentável, desempenhando um papel significativo na geração de renda para aqueles que se beneficiam do programa. Wunder, Engel e Pagiola (2008) acrescentam, ainda, que o mecanismo de PSA pode desempenhar um papel eficiente como ferramenta de suporte na gestão ambiental, quando incorporado como instrumento de política pública.

No contexto brasileiro, dois programas se destacam como pioneiros em relação a utilização de PSA como forma de compensação pela prestação de serviços ambientais: o Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar Rural (Proambiente) e o Programa Bolsa Floresta (PBF). O primeiro deles surgiu em 2006 a partir de uma demanda de crédito rural que absorvesse o cuidado com o meio ambiente, mas que também fortalecesse a agricultura familiar da Amazônia (Oliveira; Altafin, 2008).

Esse programa tem como objetivo a sustentabilidade da produção rural através de PSA, além de atingir metas como o sequestro de carbono, a diminuição do desmatamento, a restauração das funções hídricas e a preservação da biodiversidade. Oliveira e Altafin (2008) apontaram dificuldades na implementação do mesmo visto que o programa, ao tentar abranger muitas ações, tornou-se oneroso e com alta complexidade de coordenação.

O segundo programa (PBF) foi desenvolvido pelo governo do estado do Amazonas em 2007, possui mais de 35 mil pessoas atendidas em 15 Unidades de Conservação local, abrangendo uma área de 10 milhões de hectares. Tem como objetivo compensar a população tradicional da região, através de PSA, em troca da conservação da floresta amazônica (Viana et al., 2012).

Viana et al (2012) realizaram uma pesquisa de opinião com as famílias participantes do programa com a finalidade de captar o impacto do PBF. Foram entrevistadas 463 famílias, representando 36,4% do total de participantes. Ademais, analisaram as taxas de desmatamento, com os dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. O resultado obtido é contraditório, uma vez que a percepção geral das famílias confirma que o programa ajuda a evitar o desmatamento, em contrapartida a análise de dados realizada pelos autores mostra que não há correlação estatística entre a eficácia do programa e a redução dessas taxas.

Expandindo o escopo da análise para além das fronteiras nacionais, encontram-se estudos que de fato avaliaram o impacto de programas tendo PSA como instrumento. Um bom exemplo é a pesquisa realizado pelos autores Patrick, Butsic e Potts (2023), onde avaliaram os impactos de mais de 16.000 projetos individuais de PSA na Guatemala.

Esses projetos foram financiados por dois programas de incentivo: Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) que foi estabelecido pela lei florestal de 1996 e

incentivou os proprietários de terras a melhorarem a cobertura florestal e impulsionar a indústria madeireira no país; e Programa de Incentivos Forestales para Poseedores de Pequenas (PINPEP) que foi lançado pelo banco de desenvolvimento holandês em 2006 e financiado pelo governo guatemalteco em 2010, impulsionado pela organização de base de grupos indígenas e pequenos agricultores (Patrick; Butsic; Potts, 2023).

Usando métodos de controle sintético, os autores estimaram o impacto da inscrição nos programas PINPEP e PINFOR em relação a variação percentual na cobertura florestal e na altura da floresta de 2000 a 2020, e na perda florestal nos anos após a inscrição. Os resultados obtidos indicam que a cobertura florestal aumentou em ambos os programas em relação ao grupo de controle, com aumentos de 8,7% para o PINFOR e 3,2% para o PINPEP. Sobre a altura da floresta, registou-se um aumento de 5,7% para o PINFOR em comparação com o controle, enquanto o PINPEP não teve um efeito significativo. Para a análise de perda florestal obtiveram resultados divergentes, com os locais do PINFOR experimentando um aumento de 1,6% na perda percentual de cobertura florestal e os locais do PINPEP registrando uma queda de 3,4%. Dessa forma, os autores concluíram que os programas proporcionaram benefícios reais para a cobertura florestal do país (Patrick; Butsic; Potts, 2023).

Já os autores Segura-Millán e Perez-Verdin (2023), analisando o programa PES, encontraram resultados diferentes. Este programa concede subsídios econômicos aos proprietários de terras para ajudar na proteção dos recursos florestais. Por meio de uma análise espacial, foi estimado o índice de vegetação, bem como o impacto que esse programa teve nas comunidades e em seus recursos. Utilizando o método de Diferenças em Diferenças para testar as disparidades na cobertura vegetal e no uso da terra, medidos por sensoriamento remoto, entre as comunidades beneficiárias (ejidos) e não beneficiários do PSA. Concluíram que as mudanças na cobertura vegetal e no uso da terra não foram significativas (Segura-Millán; Perez-Verdin, 2023).

Uma análise realizada sobre o Programa de PES de Budongo-Bugoma, no oeste de Uganda, os autores Kemigisha et al (2023) também empregaram a abordagem de diferença em diferenças para estimar o impacto sobre a taxa de desmatamento de propriedades. Verificaram, então, que o PSA tem impacto negativo sobre a taxa de desmatamento, porém essa relação desaparece após quatro anos do término do programa. Dessa maneira, os autores descobriram que embora o programa tenha impacto desejado, os beneficiários abandonam as práticas de sustentabilidade ambiental quando o programa se encerra. Portanto, eles concluem que utilizar apenas os pagamentos monetários como instrumentos de política pública podem ser insuficientes para o resultado esperado, como uma proteção florestal de longo prazo (Kemigisha et al., 2023).

Em síntese, a análise da literatura revela uma divergência significativa nos resultados quando se trata de programas que empregam o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) como instrumento de um programa socioambiental. A falta de consenso dificulta a formulação de uma conclusão definitiva sobre a eficácia dessa ferramenta em termos de benefícios ambientais. No contexto brasileiro, os estudos sobre os efeitos dos programas de PSA têm sido escassos e se caracterizam pelo uso de abordagens pouco apropriadas na avaliação de seus benefícios.

O presente estudo tem como objetivo colaborar com o preenchimento dessa lacuna em relação aos programas de PSA brasileiros, ao avaliar os efeitos do programa Reflorestar de PSA implementado pelo governo do estado do Espírito Santo. Após essa introdução, a seção dois apresenta uma descrição do programa Reflorestar. A seção três descreve a metodologia adotada e os dados utilizados. Os resultados obtidos são discutidos na seção quatro, seguidos pela conclusão do estudo na seção cinco, onde são abordadas suas limitações e possíveis direções para pesquisas futuras.

2. Programa Reflorestar

O Brasil é signatário do Acordo de Paris, resultado da 21ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática (COP21), em 2016. Nesse acordo, o país se comprometeu a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025 e em 43% até 2030, em comparação com os níveis de 2005. Além disso, em dezembro do mesmo ano, o país reafirmou seu compromisso ao aderir o desafio de Bonn, onde se comprometeu a restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas até o ano de 2030, como parte desse acordo (Calmon, 2021).

No contexto dos estados brasileiros, o território do Espírito Santo se estende a uma área de 46.086,63 km² e, em relação à área florestal, 100% dela é representada pela Mata Atlântica, um dos biomas mais importantes devido à grande diversidade de suas espécies e à sua suscetibilidade a ameaças constantes (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2007). Dessa forma, diante do desafio estabelecido pelo país, o estado vem desenvolvendo políticas, desde 2003, com o objetivo de recuperar a cobertura florestal capixaba.

Uma das políticas em vigor é o Programa Estadual de Aumento da Cobertura Florestal, conhecido como Programa Reflorestar, lançado em 05 de junho de 2011, que é coordenado pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA). Seu propósito é estimular a restauração do ciclo hidrológico, através da conservação e regeneração da área florestal, enquanto proporciona oportunidades econômicas para os produtores rurais. Com essa finalidade, o programa conta com duas abordagens de reflorestamento: a Restauração Ativa, onde são adotadas práticas de recuperação florestal através do plantio de mata nativa; e a Restauração Passiva, onde a regeneração da área florestal ocorre de forma natural, adotando práticas de fiscalização e monitoramento.

Em relação às estratégias de ação para a Restauração Ativa, o Programa utiliza a adoção de práticas de manejo sustentável do solo por meio de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), instituído pela lei Estadual nº 9.864/2012 e regulamentado pelo Decreto nº 3.182-R/2012. Essa lei permitiu que os produtores rurais recebessem recursos para aquisição de insumos necessários à recuperação da floresta, como mudas de espécies florestais, materiais para cercamento e adubo, superando assim um dos principais obstáculos para a restauração. Os contratos de PSA têm uma duração de cinco anos e são pagos anualmente, com possibilidade de renovação. Os valores pagos variam de acordo com a modalidade de restauração e são estabelecidos com base no Valor de Referência do Tesouro Estadual (VRTE).

Dentre as modalidades, destaca-se a “Floresta em Pé”, que incentiva a conservação de áreas com cobertura florestal nativa já existente; a “Restauração por meio da Condução da Regeneração Natural”, que consiste na eliminação de fatores de degradação para permitir a regeneração natural da vegetação; a “Restauração por meio do Plantio de Essências Nativas”, que visa recuperar áreas degradadas com o plantio de mudas de espécies nativas da Mata Atlântica; o “Sistema Agroflorestal”, que integra espécies lenhosas perenes com culturas agrícolas, promovendo a diversificação da produção e a conservação dos recursos naturais; o “Sistema Silvipastoril”, que combina árvores com pastagens, contribuindo para a conservação do solo e microbacias, além de oferecer múltiplas formas de produção; e a “Floresta Manejada”, que permite o manejo sustentável de árvores para exploração de recursos madeiráveis e não madeiráveis.

Além disso, também é ofertado o suporte técnico aos produtores rurais por meio de profissionais credenciados que elaboram projetos técnicos, fornecem orientações relacionadas ao plantio e monitoram as áreas periodicamente. Esses profissionais são remunerados pelo programa, garantindo a qualidade e eficácia das ações de restauração.

A participação no programa Reflorestar se dá de forma voluntária, sendo aberto para proprietários de áreas rurais do estado do Espírito Santo e outros facilitadores que contribuam para a promoção de serviços ambientais, sujeita à disponibilidade de recursos orçamentários.

Até o ano de 2019, o programa Reflorestar contava com um total de 3.795 contratos vigentes, envolvendo produtores rurais em 74 dos 78 municípios existentes no estado, com exceção de Guarapari, Marataízes, Piúma e Vitória, e com um valor total contratado por meio dos contratos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) de R\$ 73,3 milhões. Segundo informações do Portal do Governo do Espírito Santo, atualmente o programa registra mais de 4.329 contratos iniciados com pequenos proprietários e com liberação total de R\$ 98,9 milhões para projetos.

3. Metodologia

A abordagem mais eficaz para avaliar o impacto de uma política pública seria encontrar um “clone perfeito”, para poder comparar o mesmo objeto de estudo em ambas as situações: uma em que tivesse participado do programa (objeto tratado) e outra em que não tivesse participado do programa (objeto não tratado) (Gertler et al., 2012). Em uma situação ideal, seria suficiente calcular a diferença na variável de interesse entre essas duas condições para determinar o impacto da intervenção. Entretanto, sabe-se que na realidade é impossível identificar clones perfeitos.

Uma forma de superar essa dificuldade é abordar o problema sob a perspectiva do arcabouço de resultados potenciais. Este representa um conceito essencial na inferência causal e na análise contrafactual, oferecendo uma abordagem sistemática para expressar e examinar relações causais (Angrist & Pischke, 2009, Foguel, 2017). O arcabouço de resultados potenciais propõe a seguinte consideração: seja Y a variável de resultado, cada indivíduo (i) assume um par de resultados potenciais ($Y_i(1)$ e $Y_i(0)$), representando, respectivamente, o resultado caso o indivíduo receba o tratamento, e o resultado caso não receba o tratamento. Dessa forma, se fosse possível observar o indivíduo i em ambas as situações, a diferença $\beta_i = Y_i(1) - Y_i(0)$ representaria o impacto causal da intervenção para o indivíduo.

É possível especificar cada resultado potencial através das seguintes equações:

$$Y_i(0) = \alpha + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$Y_i(1) = \alpha + \beta_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

onde α representa o intercepto e ε_i representa o componente não observável que influencia os resultados potenciais do indivíduo i . Definindo a variável T_i como um indicador de participação ($T_i = 1$) ou não participação ($T_i = 0$) no programa, pode-se expressar o resultado efetivamente observado para o indivíduo i pela equação:

$$Y_i = T_i Y_i(1) + (1 - T_i) Y_i(0) = Y_i(0) + T_i (Y_i(1) - Y_i(0)) \quad (3)$$

Substituindo as equações (1) e (2) para cada resultado potencial na equação (3), obtém-se:

$$Y_i = \alpha + \beta_i T_i + \varepsilon_i \quad (4)$$

Para estimar esse modelo, assume-se a hipótese de homogeneidade no efeito de tratamento, ou seja, que o programa possui a mesma magnitude de impacto para todos os indivíduos, i.e., $\beta_i = \beta$. A principal dificuldade em estimar o impacto do programa por

meio desse modelo econométrico reside na provável correlação existente entre a variável de participação no programa (T_i) e a parte não observável (ε_i). Esse problema é conhecido como viés de seleção e está atrelado à não aleatoriedade na escolha de participação no programa pelos indivíduos (Foguel, 2017).

Uma característica essencial dos programas de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) é a seleção dos participantes por meio de adesão voluntária, o que se mantém verdadeiro no caso do Programa Reflorestar. Nessa lógica, de acordo com os estudos existentes, os esquemas de PSA despertam maior interesse entre os proprietários rurais que já adotam práticas voltadas à preservação ou mesmo ao reflorestamento em suas atividades diárias, em detrimento de proprietários que não compartilham dessa preocupação (Jack; Jayachandran, 2019).

Assim, a mera comparação entre aqueles que participam e aqueles que não participam resulta em uma avaliação viesada do impacto do programa. Os dois grupos apresentam diferenças em seus níveis de cobertura florestal não apenas devido aos efeitos do programa, mas também em relação ao que teriam feito com suas florestas na ausência dele, resultando em um problema de viés de seleção (Jack; Jayachandran, 2019).

Para corrigir esse problema, foram adotadas duas estratégias empíricas de identificação: o método de pareamento por distância de Mahalanobis (MDM) e o método de diferenças em diferenças (DID). O primeiro propõe selecionar propriedades que não participam do programa X_i semelhantes às propriedades que participam do programa X_j com base em suas características observáveis. Esse método, proposto por Mahalanobis em 1963, utiliza um vetor multivariado de covariáveis e uma matriz de covariâncias, representada pela letra S na equação 5, para calcular a distância entre X_i e X_j (King, Gary et al, 2011).

$$M(X_i, X_j) = \sqrt{(X_i - X_j)^T S^{-1} (X_i - X_j)} \quad (5)$$

Assim, o MDM permite parear as propriedades participantes do programa com as propriedades não participantes a partir das características observáveis similares no período anterior ao tratamento, minimizando possíveis vieses decorrentes das diferenças nas características observáveis. De forma complementar, o método DID compara as mudanças ao longo do tempo entre as propriedades beneficiárias e as propriedades não beneficiárias, atribuindo as diferenças observadas ao programa. Ao combinar os métodos MDM e DID, é possível relaxar algumas hipóteses e mitigar a influência de fatores observáveis e não observáveis que poderiam afetar tanto a decisão de participar do programa quanto os resultados potenciais.

Estas abordagens tornam possível controlar tanto os efeitos observáveis quanto os não observáveis, possibilitando uma avaliação mais precisa do impacto do Programa Reflorestar sobre a cobertura florestal e o uso da terra nas propriedades rurais participantes, em comparação com as não participantes. A formulação econométrica associada a essa abordagem pode ser articulada da seguinte maneira:

$$Y_{it} = \alpha + \gamma D_i + \lambda t + \beta (D_i \times t) + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

Nessa formulação, D_i é a variável indicadora de participação no programa, e t é uma variável indicadora do período de tempo antes ($t = 0$) e depois ($t = 1$) da implementação do programa. Sob a hipótese de evolução paralela da variável dependente y_{it} entre os grupos de propriedades participantes e não participantes no programa, o coeficiente β , associado a interação $D_i \times t$ identifica o efeito causal do programa sobre

a variável dependente (Angrist & Pischke, 2009). Nos modelos estimados foram utilizadas a forma funcional log-linear, de maneira que $100 \times \beta$ representa o efeito percentual da participação no programa sobre a variável dependente (Wooldridge, 2023).

Embora a combinação dos métodos MDM e DID permita relaxar algumas hipóteses, ela não elimina completamente todas as limitações. A principal dificuldade se mostra na validação da hipótese de tendências paralelas. Para que ela seja válida, é essencial que a única diferença sistemática entre os grupos de tratamento e controle seja a aplicação do tratamento em si, e não a outras diferenças pré-existentes entre os grupos. Apesar dessa hipótese ser fundamentalmente não testável, pois não é possível observar como o grupo tratado teria evoluído sem o tratamento, uma maneira comum de avaliar sua plausibilidade é verificar se as tendências dos resultados pré-tratamento são paralelas entre os grupos de tratamento e controle. Idealmente, é preciso dispor de informações referentes a mais de um período pré-tratamento, o que representa um desafio neste estudo, visto que se têm disponível apenas informações para um único período pré-tratamento.

Dessa forma, optou-se por adicionar uma análise utilizando estimadores duplamente robustos para o efeito médio do tratamento sobre os tratados (ATT). Esse método foi desenvolvido por Santanna e Zhao (2020), com o objetivo de proporcionar estimativas mais robustas e confiáveis em contextos em que a hipótese de tendências paralelas é questionável, condicional em outras covariadas. Os estimadores duplamente robustos combinam o uso de modelos de escore de propensão e regressão de resultados. A grande vantagem desses estimadores é que eles são consistentes mesmo que apenas um dos modelos esteja corretamente especificado. Isso oferece uma camada adicional de proteção contra a especificação incorreta dos modelos, aumentando a confiabilidade das estimativas obtidas.

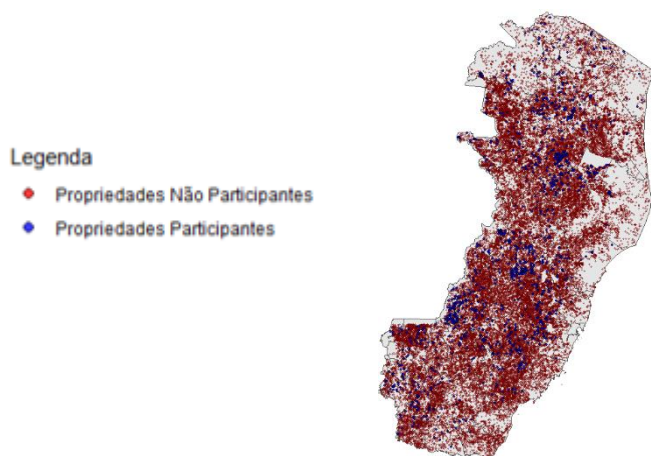
3.1. Dados

Os dados utilizados foram fornecidos pelo Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN) e combinam: informações administrativas do programa Reflorestar, fornecidas pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA), mapeamento de propriedades rurais do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e imagens de satélite provenientes do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES) contendo mapeamento de diferentes categorias de uso do solo no estado do Espírito Santo adquiridas pelo IJSN referentes aos anos de 2008, 2012 e 2020.

O banco de dados inicial consiste em um total de 57.072 propriedades rurais com registro e mapeadas no CAR no ano de 2018, sendo 2.045 propriedades participantes do programa e 55.027 propriedades não participantes. As propriedades participantes do programa Reflorestar foram identificadas nesse banco de dados por meio da localização georreferenciada fornecida pela SEAMA ao IJSN. As informações referentes a características e uso do solo das propriedades rurais foram produzidas pela sobreposição do mapeamento de propriedades do CAR e do banco de imagens do estado do Espírito Santo do GEOBASES para os anos de 2008, 2012 e 2020.

Assim, foi possível construir um banco de dados a nível de propriedade rural com informações referentes a 7 características das propriedades e a 25 categorias de uso do solo. Após ajustes e exclusão de observações faltantes, o banco de dados final é composto por 48.493 propriedades das quais 1.238 participam do programa e 47.255 não participam, com informações para os anos de 2008 (antes do programa) e 2020 (após o programa). A Figura 1 ilustra a distribuição geográfica das propriedades no estado.

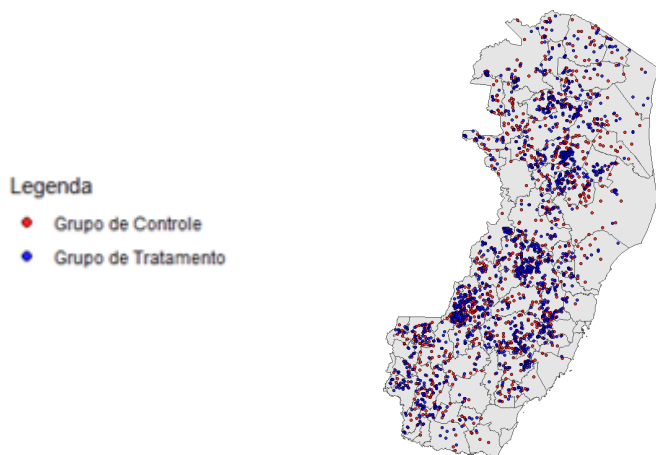
Figura 1: Distribuição Geográfica das Propriedades Rurais no Espírito Santo



Fonte: Elaboração Própria.

Para cada participante selecionado, atribuiu-se um controle proveniente do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Os controles foram selecionados utilizando o método de pareamento por distância de Mahalanobis (*Mahalanobis distance matching*) com reposição, com base em suas características observáveis, sendo elas: tamanho da propriedade (ha); uso total do solo da propriedade (ha); distância até a rodovia mais próxima (km); distância da sede do município (km); presença de trecho de drenagem (córrego, ribeirão ou rio) na propriedade (m); altitude média (m); percentual da propriedade em área de conservação (%); descrição do clima; tipo de solo predominante; percentual do uso do solo em 25 diferentes classes, entre outras.

Figura 2: Distribuição Geográfica do Grupo de Tratamento e do Grupo de Controle



Fonte: Elaboração Própria.

Após o processo de pareamento, a amostra resultante incluiu 1.238 propriedades pertencentes ao grupo de tratamento e 1.186 ao grupo de controle, distribuídas geograficamente conforme ilustrado na Figura 2. A Tabela 1 apresenta estatísticas descritivas de diversas variáveis relacionadas às características das propriedades rurais, com um total de 96.986 observações. A Tabela 2, por sua vez, detalha o balanceamento de características e da cobertura vegetal das propriedades. Nota-se que, ao contrário da amostra inicial², as variáveis estão balanceadas entre os dois grupos de propriedades. Esse

resultado indica que o problema de viés de seleção dos participantes do programa pode estar atenuado e que a comparação entre tratados e não tratados na amostra pareada é mais próxima de uma relação causal.

Tabela 1: Estatísticas Descritivas

| Estatística | N | Média | Desv. Pad. |
|---|--------|--------|------------|
| Tratamento | 96.986 | 0,03 | 0,16 |
| Área da Propriedade (ha) | 96.986 | 47,40 | 334,02 |
| Usos do solo total (ha) | 96.986 | 45,18 | 377,71 |
| Distância (km) estrada | 96.986 | 2,13 | 1,94 |
| Distância (km) sede municipal | 96.986 | 10,63 | 5,53 |
| Trecho de drenagem na propriedade (m) | 96.986 | 702,39 | 3.732,38 |
| Altitude média (m) | 96.986 | 405,65 | 318,28 |
| % propriedade em Área de Conservação | 96.986 | 0,67 | 7,01 |
| Mata Nativa (%) | 96.986 | 15,02 | 24,87 |
| Macega (%) | 96.986 | 7,38 | 16,53 |
| Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração (%) | 96.986 | 9,50 | 18,35 |
| Brejo (%) | 96.986 | 1,98 | 9,83 |
| Afloramento Rochoso (%) | 96.986 | 3,30 | 11,38 |
| Solo Exposto (%) | 96.986 | 3,33 | 11,83 |
| Massa D'Água (%) | 96.986 | 1,56 | 8,03 |
| Extração Mineração (%) | 96.986 | 0,16 | 2,66 |
| Campo Rupestre/Altitude (%) | 96.986 | 0,06 | 1,32 |
| Pastagem (%) | 96.986 | 24,13 | 32,16 |
| Restinga (%) | 96.986 | 0,05 | 1,71 |
| Área Edificada (%) | 96.986 | 0,45 | 5,06 |
| Mangue (%) | 96.986 | 0,02 | 1,00 |
| Outros (%) | 96.986 | 6,39 | 16,72 |
| Abacaxi (%) | 96.986 | 0,04 | 1,71 |
| Banana (%) | 96.986 | 0,81 | 6,26 |
| Café (%) | 96.986 | 14,21 | 24,29 |
| Cana-de-açúcar (%) | 96.986 | 0,61 | 5,94 |
| Coco-da-baía (%) | 96.986 | 0,48 | 4,63 |
| Mamão (%) | 96.986 | 0,16 | 2,73 |
| Eucalipto (%) | 96.986 | 5,28 | 15,42 |
| Pinus (%) | 96.986 | 0,03 | 1,37 |
| Seringueira (%) | 96.986 | 0,23 | 3,59 |
| Outros Cultivos Permanentes (%) | 96.986 | 2,09 | 9,71 |
| Outros Cultivos Temporários (%) | 96.986 | 2,72 | 10,45 |

Fonte: elaboração própria. Percentuais em relação à área do polígono da propriedade no CAR.

² Os testes de balanceamento para amostra total não foram exibidos por economia de espaço, mas estão disponíveis caso solicitado.

Tabela 2: Balanceamento após Pareamento por Distância de Mahalanobis

| | Não Participantes | Participantes | p-valor |
|---|-------------------|-------------------------|---------|
| n | 1.186 | 1.238 | |
| Área da Propriedade (ha) | 76,36 (871,80) | 107,19 (1.549,99) | 0,549 |
| Usos do solo total (ha) | 69,04 (798,31) | 97,06 (1.423,35) | 0,552 |
| Distância (km) estrada | 2,00 (1,69) | 2,00 (1,75) | 0,964 |
| Distância (km) sede municipal | 10,29 (5,06) | 10,08 (5,04) | 0,322 |
| Trecho de drenagem na propriedade (m) | 994,08 (9.181,90) | 1.392,10 (17.009,54) | 0,476 |
| Altitude média (m) | 446,61 (314,66) | 456,86 (316,47) | 0,424 |
| % propriedade em Área de Conservação | 0,36 (4,42) | 0,50 (5,05) | 0,457 |
| Mata Nativa (%) | 17,75 (24,20) | 17,34 (23,40) | 0,675 |
| Macega (%) | 4,76 (8,89) | 5,53 (9,22) | 0,037 |
| Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração (%) | 6,77 (10,79) | 6,98 (10,72) | 0,638 |
| Brejo (%) | 0,65 (3,60) | 0,85 (3,81) | 0,180 |
| Afloramento Rochoso (%) | 3,92 (12,13) | 4,47 (12,41) | 0,273 |
| Solo Exposto (%) | 1,17 (4,57) | 1,54 (5,21) | 0,064 |
| Massa D'Água (%) | 0,39 (2,40) | 0,46 (2,10) | 0,475 |
| Extração Mineração (%) | 0,02 (0,29) | 0,02 (0,25) | 0,762 |
| Campo Rupestre/Altitude (%) | 0,06 (1,18) | 0,08 (1,14) | 0,680 |
| Pastagem (%) | 41,98 (32,56) | 38,48 (31,48) | 0,007 |
| Restinga (%) | 0,00 (0,00) | 0,00 (0,09) | 0,325 |
| Área Edificada (%) | 0,18 (2,20) | 0,25 (2,61) | 0,483 |
| Mangue (%) | 0,00 (0,00) | 0,00 (0,00) | NaN |
| Outros (%) | 1,78 (3,72) | 2,14 (4,43) | 0,028 |
| Abacaxi (%) | 0,00 (0,09) | 0,00 (0,06) | 0,751 |
| Banana (%) | 0,13 (1,66) | 0,16 (1,73) | 0,724 |
| Café (%) | 13,07 (18,82) | 13,21 (18,88) | 0,851 |
| Cana-De-Açúcar (%) | 0,44 (4,18) | 0,51 (4,49) | 0,723 |
| Coco-Da-Baía (%) | 0,25 (2,38) | 0,30 (2,43) | 0,647 |
| Mamão (%) | 0,13 (2,08) | 0,13 (2,04) | 0,931 |
| Eucalipto (%) | 4,34 (12,09) | 4,76 (12,24) | 0,399 |
| Pinus (%) | 0,03 (0,72) | 0,04 (0,86) | 0,670 |
| Seringueira (%) | 0,09 (2,44) | 0,16 (3,26) | 0,523 |
| Outros Cultivos Permanentes (%) | 0,66 (3,07) | 0,91 (3,44) | 0,057 |
| Outros Cultivos Temporários (%) | 1,43 (4,61) | 1,68 (5,09) | 0,217 |

Fonte: Elaboração Própria. Erros padrões em parênteses. Última coluna representa o p-valor do teste de igualdade de médias entre os grupos.

4. Resultados

Nesta seção, apresentamos os resultados da análise de impacto do programa Reflorestar utilizando diferentes modelos econométricos. A subseção 4.1 discute os resultados do modelo de Diferenças em Diferenças (DID) aplicado à amostra sem pareamento, detalhando os efeitos do programa sobre diversas categorias de uso do solo. A subseção 4.2 examina os resultados após aplicar o modelo DID à amostra pareada,

permitindo uma comparação mais precisa entre grupos de tratamento e controle. Por fim, a subseção 4.3 compara os resultados obtidos pelos diferentes modelos, incluindo estimadores robustos, e avalia a consistência das estimativas, destacando a validade da hipótese de tendências paralelas.

4.1 Modelo sem Pareamento

Ao aplicar o modelo de diferenças em diferenças descrito na equação 6 sobre a amostra sem pareamento, observamos efeitos benéficos no reflorestamento. A variável Mata compreende três categorias de uso do solo distintas: Macega, Mata Nativa em Estágio Inicial e Mata Nativa. Dada essa diversidade, realizamos uma análise específica para cada uma dessas categorias, buscando determinar a existência de efeitos positivos atribuíveis ao programa em questão. Essa investigação revelou que todas as categorias, tanto de forma agrupada sob o termo Mata quanto individualmente como Mata Nativa em Estágio Inicial e Mata Nativa, exibem significância estatística, com exceção de Macega, conforme Tabela 3. Em termos quantitativos, observou-se um incremento de 15,1% na área destinada à categoria geral Mata, de 11,13% para Mata Nativa em Estágio Inicial e de 9,4% para Mata Nativa, indicando um impacto positivo do programa Reflorestar nas propriedades participantes.

Tabela 3 – Impacto do Programa Reflorestar – Reflorestamento

| | Mata (1) | Mata Nativa (2) | Macega (3) | Mata Nativa em Estágio Inicial (4) |
|----------------|----------------------|----------------------|---------------------|--|
| Trat x Pos | 0,151*** (0,053) | 0,094* (0,053) | 0,049 (0,038) | 0,113*** (0,040) |
| Tratamento | 0,288*** (0,035) | 0,197*** (0,036) | 0,182*** (0,026) | 0,153*** (0,027) |
| Pós-Tratamento | -0,273*** (0,008) | -0,389*** (0,008) | 0,008 (0,005) | -0,077*** (0,006) |
| Observações | 96.986 | 96.986 | 96.986 | 96.986 |
| R ² | 0,014 | 0,028 | 0,002 | 0,003 |
| F Statistic | 446,841*** | 920,730*** | 54,681*** | 106,590*** |

Notas: ***Significativo a 1% **Significativo a 5% *Significativo a 10%

Fonte: elaboração própria.

Na realização da segunda análise, focamos na classe de cultivos para explorar possíveis variações no impacto do programa Reflorestar entre diferentes tipos de produção agrícola. A categoria "Cultivos" abarca uma gama diversificada de culturas, incluindo Café, Mamão, Banana, Cana-de-Açúcar, Coco-da-Baía, Abacaxi, Outros Cultivos Temporários e Permanentes. Inicialmente, procedemos com uma análise global da variável Cultivos, identificando o impacto do programa sobre essa classe de uso do solo. Paralelamente, analisamos individualmente as principais atividades agrícolas do estado do Espírito Santo escolhendo focar nas culturas mais representativas para entender os efeitos específicos do programa em cada uma delas.

Na Tabela 4, observa-se um acréscimo de 10,2% na área destinada a Cultivos nas

propriedades participantes do programa em relação às não participantes. A plantação de Banana também se destacou, registrando um aumento de 5,8% e ambos os resultados apresentam significância estatística. Já a atividade agrícola de Mamão, embora tenha registrado um aumento percentual, não se mostrou significativo estatisticamente. Quanto às culturas de Café e de Cana-de-Açúcar, observamos uma redução na área plantada, refletindo um impacto adverso, ainda que tais mudanças não tenham sido estatisticamente significativas.

Tabela 4 – Impacto do Programa Reflorestar – Cultivos

| | Cultivos (1) | Café (2) | Mamão (3) | Banana (4) | Cana-de-Açúcar (5) |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Trat x Pos | 0,102** (0,052) | -0,012 (0,050) | 0,012 (0,011) | 0,058*** (0,012) | -0,002 (0,016) |
| Tratamento | 0,257*** (0,035) | 0,277*** (0,034) | 0,005 (0,008) | -0,015*** (0,005) | -0,000 (0,011) |
| Pós-Tratamento | -0,066*** (0,007) | -0,102*** (0,007) | -0,012*** (0,001) | 0,023*** (0,002) | -0,035*** (0,003) |
| Observações | 96.986 | 96.986 | 96.986 | 96.986 | 96.986 |
| R ² | 0,003 | 0,004 | 0,001 | 0,002 | 0,002 |
| F Statistic | 83,186*** | 127,683*** | 28,746*** | 76,682*** | 66,080*** |

Notas: ***Significativo a 1% **Significativo a 5% *Significativo a 10%

Fonte: elaboração própria.

Ao realizar a terceira análise dos dados, voltamos nossa atenção para outras classes de uso do solo, como pastagem, reflorestamento de eucalipto, seringueira e pinus, ampliando ainda mais o escopo de investigação do impacto do programa Reflorestar. Os resultados descritos na Tabela 5 indicam que houve uma diminuição de área, significativa estatisticamente, de Pastagem, reduzindo 13,2%, após a implementação do programa. A área de Eucalipto também demonstrou uma redução de 1,1%, apesar de não ter apresentado significância estatística. Em contrapartida, Seringueira apresentou um incremento de 1,2% em sua área, enquanto Pinus não sofreu alterações, mantendo-se estável. Ambos os resultados não revelaram significância estatística.

Tabela 5 – Impacto do Programa Reflorestar – Outras Classes de Solo

| | Pastagem (1) | Eucalipto (2) | Seringueira (3) | Pinus (4) |
|----------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Trat x Pos | -0,132** (0,056) | -0,011 (0,037) | 0,012 (0,011) | 0,000 (0,003) |
| Tratamento | 0,233*** (0,042) | 0,101*** (0,026) | 0,003 (0,007) | 0,002 (0,003) |
| Pós-Tratamento | -1,281*** (0,008) | -0,054*** (0,005) | 0,009*** (0,001) | -0,001** (0,001) |
| Observações | 96.986 | 96.986 | 96.986 | 96.986 |

| | | | | |
|----------------|--------------|-----------|-----------|--------|
| R ² | 0,197 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| F Statistic | 7.928,298*** | 45,887*** | 15,177*** | 2,121* |

Notas: ***Significativo a 1% **Significativo a 5% *Significativo a 10%

Fonte: elaboração própria.

4.2 Modelo Pareado

Ao aplicar o modelo de diferenças em diferenças à amostra pareada, observamos variações nos resultados. A Tabela 6 detalha os impactos do programa Reflorestar, distribuindo-os por quatro categorias específicas, já apresentadas na seção 4.1. Embora todas as variáveis apresentem um efeito positivo do programa, refletido pelo aumento percentual da área plantada, somente as categorias Mata e Mata Nativa em Estágio Inicial atingiram significância estatística. Comparando com os resultados da Tabela 3, na atual análise Mata Nativa não possui significância estatística e as variáveis Mata e Mata Nativa em Estágio Inicial são significativas ao nível de 10%.

Tabela 6 – Impacto do Programa Reflorestar – Reflorestamento (2)

| | Mata (1) | Mata Nativa (2) | Macega (3) | Mata Nativa em Estágio Inicial (4) |
|----------------|----------------------|----------------------|---------------------|--|
| Trat x Pos | 0,138* (0,074) | 0,086 (0,072) | 0,075 (0,051) | 0,107* (0,055) |
| Tratamento | 0,201*** (0,050) | 0,122** (0,049) | 0,122*** (0,035) | 0,101*** (0,038) |
| Pós-Tratamento | -0,260*** (0,052) | -0,381*** (0,049) | -0,018 (0,035) | -0,071* (0,038) |
| Observações | 4.848 | 4.848 | 4.848 | 4.848 |
| R ² | 0,017 | 0,022 | 0,008 | 0,007 |
| F Statistic | 27,674*** | 36,752*** | 13,556*** | 11,963*** |

Notas: ***Significativo a 1% **Significativo a 5% *Significativo a 10%

Fonte: elaboração própria.

A Tabela 7 apresenta os resultados da análise de impacto do programa Reflorestar sobre a classe de cultivos. As análises, tanto da variável Cultivos de forma agregada quanto das investigações específicas por cultura, evidenciaram impactos positivos no aumento percentual da área cultivada para quase todas as culturas, com exceção da Cana-de-Açúcar. Entre essas culturas, somente o cultivo de Banana demonstrou um aumento estatisticamente significativo, com um acréscimo de 3,5% nas áreas das propriedades participantes do programa. Ao contrastar esses achados com os obtidos no modelo sem pareamento (Tabela 4), observa-se que a cultura de Banana não só manteve seu incremento na área cultivada, mas também preservou sua relevância estatística ao nível de 1%. Por outro lado, apesar de a análise agregada dos Cultivos ainda revelar tendências positivas, a significância estatística desses efeitos não persistiu na análise atual.

Tabela 7 – Impacto do Programa Reflorestar – Cultivos (2)

| | Cultivos (1) | Café (2) | Mamão (3) | Banana (4) | Cana-de-Açúcar (5) |
|----------------|---------------------|----------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
| Trat x Pos | 0,093 (0,070) | 0,030 (0,067) | 0,007 (0,014) | 0,035** (0,016) | -0,013 (0,023) |
| Tratamento | 0,171*** (0,049) | 0,132*** (0,046) | 0,004 (0,011) | -0,000 (0,007) | 0,013 (0,016) |
| Pós-Tratamento | -0,058 (0,048) | -0,143*** (0,046) | -0,007 (0,009) | 0,046*** (0,010) | -0,025 (0,016) |
| Observações | 4.848 | 4.848 | 4.848 | 4.848 | 4.848 |
| R ² | 0,008 | 0,007 | 0,000 | 0,016 | 0,002 |
| F Statistic | 13,323*** | 11,184*** | 0,523 | 25,740*** | 2,722** |

Notas: ***Significativo a 1% **Significativo a 5% *Significativo a 10%

Fonte: elaboração própria.

No levantamento de dados apresentado na Tabela 8, exploramos o impacto do programa Reflorestar nas diversas classes de uso do solo, demonstrando variações notáveis para cada categoria. Especificamente, a análise indica que Pastagem e Eucalipto sofreram reduções em suas extensões, respectivamente de 1,8% e 3,2%, alterações essas que não atingiram a marca da significância estatística. Em contrapartida, Seringueira registrou um acréscimo de 2,2% em sua área, alcançando significância estatística ao nível de 10%, o que indica um impacto positivo do programa nesta classe de uso do solo. Ao comparar esses resultados com os achados da Tabela 5, notamos que a variável Pastagem, que anteriormente mostrava uma redução percentual significativa, perde sua significância estatística na análise com os dados pareados, e que Pinus se manteve inalterado, sem evidenciar nenhum efeito ou significância estatística.

Tabela 8 – Impacto do Programa Reflorestar – Outras Classes de Solo (2)

| | Pastagem (1) | Eucalipto (2) | Seringueira (3) | Pinus (4) |
|----------------|----------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| Trat x Pos | -0,018 (0,077) | -0,032 (0,051) | 0,022* (0,013) | 0,000 (0,004) |
| Tratamento | 0,082 (0,057) | 0,090*** (0,035) | 0,005 (0,009) | 0,002 (0,003) |
| Pós-Tratamento | -1,394*** (0,053) | -0,033 (0,035) | -0,002 (0,007) | -0,001 (0,002) |
| Observações | 4.848 | 4.848 | 4.848 | 4.848 |
| R ² | 0,216 | 0,003 | 0,002 | 0,000 |
| F Statistic | 444,522*** | 4,206*** | 3,624** | 0,384 |

Notas: ***Significativo a 1% **Significativo a 5% *Significativo a 10%

Fonte: elaboração própria.

A aplicação do pareamento por distância Mahalanobis resultou em uma análise

mais acurada e precisa dos efeitos do programa, ajustando para potenciais variáveis de confusão não observadas no modelo base. Isso é evidenciado pela alteração na magnitude e significância dos coeficientes entre os dois modelos. De fato, as propriedades envolvidas no programa Reflorestar experimentaram um aumento na área em hectares para diferentes classes de uso do solo. Contudo, a afirmação de que o programa teve um efeito positivo se aplica especificamente às variáveis que alcançaram significância estatística. Estas incluem a categoria Mata, apresentando um incremento de 13,8% em sua área, alcançando significância estatística ao nível de 10%; Mata Nativa em Estágio Inicial, com um aumento de 10,7%, igualmente significativo ao nível de 10%; Banana, registrando um crescimento de 3,5% de área plantada, significativo ao nível de 5%; e Seringueira, com um acréscimo de 2,2%, significativo ao nível de 10%.

4.3 Comparação dos Modelos

Nesta subseção, comparamos os resultados dos diferentes modelos aplicados para analisar o impacto do programa Reflorestar sobre as categorias de uso do solo já mencionadas. Utilizamos três abordagens distintas: o modelo de Diferenças em Diferenças (DID) estimado por Mínimos Quadrados Ordinários (OLS), o método Doubly Robust tradicional (DR Trad.), e o método Doubly Robust com melhorias (DR Imp.).

Os resultados apresentados na Tabela 9 indicam que, para a categoria Mata, o impacto do programa foi significativo nos três modelos, com variações na magnitude dos coeficientes. O modelo DID OLS estimou um incremento de 15,07%, significativo ao nível de 5%, enquanto os modelos DR Trad. e DR Imp. apresentaram incrementos ligeiramente menores, porém ainda significativos ao nível de 1%. Por outro lado, a categoria Mata Nativa não atingiu significância estatística em nenhum dos modelos, embora os coeficientes tenham se mantido positivos. A categoria Macega também não apresentou significância estatística, apesar de exibir coeficientes positivos em todos os modelos. Já a Mata Nativa em Estágio Inicial revelou-se significativa em todos os modelos, com o DID OLS indicando um incremento de 11,27%, e os métodos DR Trad. e DR Imp. mostrando incrementos próximos de 10%, todos significativos ao nível de 1%.

Tabela 9 – Impacto do Programa Reflorestar – Reflorestamento (3)

| Mata (1) | | | |
|--------------------|-----------|-------------|---------|
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DID OLS | 0.1507** | 0.053 | 2.8411 |
| DR Trad. | 0.1296*** | 0.0364 | 3.5565 |
| DR Imp. | 0.131*** | 0.0362 | 3.6238 |
| Mata Nativa (2) | | | |
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DID OLS | 0.0935 | 0.053 | 1.7653 |
| DR Trad. | 0.0727 | 0.0415 | 1.75 |
| DR Imp. | 0.0731 | 0.0415 | 1.7635 |
| Macega (3) | | | |
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DID OLS | 0.0491 | 0.0381 | 1.2867 |
| DR Trad. | 0.0552 | 0.0302 | 1.8294 |

| Mata (1) | | | |
|-------------|--------|-------------|---------|
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DR Imp. | 0.0548 | 0.0301 | 1.8196 |

| Mata Nativa em Estágio Inicial (4) | | | |
|---------------------------------------|-----------|-------------|---------|
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DID OLS | 0.1127** | 0.0401 | 2.8082 |
| DR Trad. | 0.1007*** | 0.0284 | 3.544 |
| DR Imp. | 0.1011*** | 0.0284 | 3.5603 |

Notas: ***Significativo a 1% **Significativo a 5% *Significativo a 10%

Fonte: elaboração própria.

Para a categoria Cultivos, conforme indicado na Tabela 10, o impacto do programa foi significativo nos modelos DR Trad. e DR Imp., mas não no DID OLS. Especificamente, o modelo DR Imp. demonstrou um incremento de 12,55%, significativo ao nível de 5%. A análise individual das culturas revelou que o cultivo de Banana foi consistentemente significativo em todos os modelos, com incrementos ao redor de 5%. No entanto, outras culturas, como Café e Cana-de-Açúcar, não apresentaram significância estatística, apesar das variações nos coeficientes. O cultivo de Mamão mostrou significância apenas nos modelos DR Trad. e DR Imp., mas não no DID OLS, com incrementos ao redor de 2%.

Tabela 10 – Impacto do Programa Reflorestar – Cultivos (3)

| Cultivos (1) | | | |
|-----------------|----------|-------------|---------|
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DID OLS | 0.1016* | 0.0515 | 1.9712 |
| DR Trad. | 0.1329** | 0.0447 | 2.975 |
| DR Imp. | 0.1255** | 0.0384 | 3.2701 |

| Café (2) | | | |
|-------------|---------|-------------|---------|
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DID OLS | -0.0115 | 0.0496 | -0.2326 |
| DR Trad. | 0.0241 | 0.0428 | 0.5638 |
| DR Imp. | 0.0186 | 0.038 | 0.489 |

| Mamão (3) | | | |
|--------------|---------|-------------|---------|
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DID OLS | 0.0123 | 0.0112 | 1.0971 |
| DR Trad. | 0.0231* | 0.0117 | 1.9806 |
| DR Imp. | 0.0222* | 0.0108 | 2.0462 |

| Banana (4) | | | |
|---------------|-----------|-------------|---------|
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DID OLS | 0.0578*** | 0.0118 | 4.8943 |

| Cultivos | | | |
|----------------|-----------|-------------|---------|
| (1) | | | |
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DR Trad. | 0.0526*** | 0.0111 | 4.7498 |
| DR Imp. | 0.0524*** | 0.0111 | 4.7373 |
| Cana-de-Açúcar | | | |
| (5) | | | |
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DID OLS | -0.0021 | 0.0159 | -0.1337 |
| DR Trad. | 0.0011 | 0.0107 | 0.1035 |
| DR Imp. | 0.001 | 0.0106 | 0.0957 |

Notas: ***Significativo a 1% **Significativo a 5% *Significativo a 10%

Fonte: elaboração própria.

Ao analisar as outras classes de solo na Tabela 11, observamos que a categoria Pastagem apresentou uma redução significativa em todos os modelos, sendo mais robusta no modelo DR Imp., com uma redução de 12,99%, significativa ao nível de 5%. A categoria Eucalipto, por outro lado, não apresentou significância estatística em nenhum dos modelos, embora os coeficientes indicassem uma tendência de redução. A Seringueira apresentou incrementos positivos em todos os modelos, mas a significância estatística foi atingida apenas nos modelos DR Trad. e DR Imp., com aumentos ao redor de 1,8%.

Tabela 11 – Impacto do Programa Reflorestar – Outras Classes de Solo (3)

| Pastagem | | | |
|-------------|-----------|-------------|---------|
| (1) | | | |
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DID OLS | -0.1318* | 0.056 | -2.3551 |
| DR Trad. | -0.1234* | 0.0483 | -2.5544 |
| DR Imp. | -0.1299** | 0.0439 | -2.9623 |
| Eucalipto | | | |
| (2) | | | |
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DID OLS | -0.0111 | 0.0372 | -0.2979 |
| DR Trad. | -0.0312 | 0.0296 | -1.0519 |
| DR Imp. | -0.0321 | 0.0293 | -1.0951 |
| Seringueira | | | |
| (3) | | | |
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DID OLS | 0.0115 | 0.011 | 1.0432 |
| DR Trad. | 0.0188 | 0.01 | 1.8772 |
| DR Imp. | 0.0181 | 0.0098 | 1.8417 |
| Pinus | | | |
| (4) | | | |
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DID OLS | 3e-04 | 0.0033 | 0.0784 |

| Pastagem (1) | | | |
|-----------------|-------|-------------|---------|
| Modelo | ATT | Erro Padrão | t value |
| DR Trad. | 9e-04 | 0.0033 | 0.2734 |
| DR Imp. | 0.001 | 0.0033 | 0.2985 |

Notas: ***Significativo a 1% **Significativo a 5% *Significativo a 10%

Fonte: elaboração própria.

A partir das tabelas expostas, verificamos que os resultados utilizando estimadores robustos (DR Trad. e DR Imp.) não diferiram substancialmente dos resultados obtidos nos demais modelos, sugerindo que a validação da hipótese de tendências paralelas não representa ser um problema. Por exemplo, para a categoria Mata, o modelo DID OLS estimou um incremento de 15,07%, enquanto os métodos DR Trad. e DR Imp. apresentaram incrementos ligeiramente menores, mas ainda significativos. Da mesma forma, na categoria Mata Nativa em Estágio Inicial, tanto o modelo DID OLS quanto os métodos robustos indicaram incrementos próximos de 10% a 11%, demonstrando consistência entre as abordagens. Na análise da classe de cultivos, o impacto positivo na área plantada de Banana foi consistente em todos os modelos, e como na categoria Pastagem todos os resultados apresentaram reduções significativas de área. Ademais, a aplicação de estimadores robustos revelou efeitos significativos que não eram evidentes nas análises anteriores.

5. Conclusões

Nesse estudo, avaliamos o impacto do programa Reflorestar, de pagamentos por serviços ambientais (PSA), na cobertura vegetal e no uso da terra em propriedades rurais no estado do Espírito Santo. Ao adotar o mecanismo de PSA, o programa busca incentivar os produtores rurais a adotarem práticas que contribuam para a preservação dos ecossistemas, enquanto oferece suporte técnico e financeiro para viabilizar essas ações.

O processo de seleção de participantes em programas de PSA, que se realiza por meio da adesão voluntária, introduz o problema de viés de seleção na análise dos dados. Para contornar essa questão, empregamos duas estratégias empíricas de identificação: o método de pareamento por distância de Mahalanobis (MDM) e o método de diferenças em diferenças (DID). Essas abordagens permitem controlar tanto os efeitos observáveis quanto os não observáveis, possibilitando uma avaliação mais precisa do impacto do programa sobre a cobertura florestal e o uso da terra nas propriedades rurais participantes, em comparação com as não participantes.

Uma das hipóteses fundamentais do método DID é a hipótese de tendências paralelas. No entanto, devido à disponibilidade limitada de dados, com apenas um período pré-tratamento, a validação dessa hipótese poderia ser um problema. Para lidar com essa limitação, optou-se por analisar também a amostra utilizando estimadores duplamente robustos para o efeito médio do tratamento sobre os tratados (ATT), desenvolvidos por Pedro H. C. Sant'Anna e Jun Zhao (2020).

Utilizando o mapeamento das propriedades rurais do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e imagens de satélite do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES), disponibilizadas pelo IJSN para os anos de 2008 e 2020, analisamos as diferentes categorias de uso do solo no estado. Os resultados indicam que os diferentes modelos utilizados não apresentaram variações substanciais, sugerindo que a validação da hipótese de tendências paralelas não se mostra como um problema significativo, mesmo com a limitação de dados de apenas um período pré-tratamento.

As propriedades participantes do programa Reflorestar observaram um incremento de área para várias categorias de uso do solo. No entanto, apenas as categorias de Mata, Mata Nativa em Estágio Inicial, Mamão, Banana e Pastagem demonstraram efeitos estatisticamente significativos. Utilizando estimadores robustos, os resultados indicam um acréscimo de 13,1% na categoria de Mata e um aumento de 10,1% em Mata Nativa em Estágio Inicial, ambos significativos ao nível de 1%.

Na categoria de cultivos, os dados revelaram um acréscimo de 2,2% na área plantada de Mamão, com significância estatística ao nível de 10%, e um aumento de 5,2% na área de cultivo de Banana, significativo ao nível de 1%. Esses incrementos contribuíram para um acréscimo total de 12,5% na área destinada a cultivos, estatisticamente significativo ao nível de 5%. Adicionalmente, na análise das demais classes de uso do solo, observou-se uma redução de 12,9% na área destinada a Pastagem, com significância estatística ao nível de 5%. Esses resultados destacam o impacto positivo do Programa Reflorestar sobre as classes de uso do solo destinadas ao reflorestamento.

Contudo, deve-se destacar que este estudo apresenta algumas limitações que podem influenciar a interpretação de seus resultados. Uma delas é a falta de informações sobre o ano de entrada no programa das propriedades beneficiárias. Além disso, a ausência de dados sobre o tempo de permanência de cada propriedade no programa dificulta uma análise mais precisa dos impactos ao longo do tempo. Essas limitações ressaltam a importância da continuidade do presente trabalho para abordar essas lacunas e aprimorar a compreensão do impacto do programa Reflorestar.

6. Bibliografia

- Angrist, J. D., & Pischke, J.-S. (2009). *Mostly Harmless Econometrics: An Empiricist's Companion*. Princeton University Press.
- Calmon, M. (2021). Restauração de florestas e paisagens em larga escala: o Brasil na liderança global. *Ciência e Cultura*, 73(1), 44-48.
- Espírito Santo (Estado). Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2018). *Atlas da mata atlântica do estado do Espírito Santo: 2007-2008/ 2012-2015*. IEMA.
- Foguel, M. (2017). Modelos de resultados potenciais. In N. A. Menezes Filho & C. C. de Xavier Pinto (Orgs.), *Avaliação econômica de projetos sociais* (3rd ed., pp. 39-54). Fundação Itaú Social.
- Gallemore, C. T., et al. (2023). Vietnam's Payments for Forest Ecosystem Services Scheme's Role in Protecting Longstanding Forests as Deforestation Rates Rise. SSRN. <https://ssrn.com/abstract=4409664>
- Gertler, P., et al. (2018). *Avaliação de impacto na prática* (2nd ed.). Banco Interamericano de Desenvolvimento e Banco Mundial.
- Jack, B. K., & Jayachandran, S. (2019). Self-selection into payments for ecosystem services programs. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(12), 5326–5333.

- Kemigisha, E., et al. (2023). Payment for environmental services to reduce deforestation: Do the positive effects last? *Ecological Economics*, 209.
- King, G., et al. (2011). Comparative effectiveness of matching methods for causal inference. Unpublished manuscript, Institute for Quantitative Social Science, Harvard University.
- Oliveira, L. R. de, & Altafin, I. G. (2008). Proambiente: uma política de pagamento de serviços ambientais no Brasil.
- Patrick, E., Butsic, V., & Potts, M. D. (2023). Using payment for ecosystem services to meet national reforestation commitments: impacts of 20+ years of forestry incentives in Guatemala. *Environmental Research Letters*, 18(10).
- Sant'anna, Pedro H. C.; Zhao, Jun. Doubly robust difference-in-differences estimators. *Journal of Econometrics*, v. 219, n. 1, p. 101-122, 2020.
- Segura-Millán, K., & Perez-Verdin, G. (2023). The effect of payments for ecosystem services on forest cover, land use, and capacity building in northern Mexico. *Trees, Forests and People*, 12.
- Viana, V., et al. (2012). Impactos do Programa Bolsa Floresta: uma avaliação preliminar. *Inclusão Social*, 6(1).
- Wunder, S., Engel, S., & Pagiola, S. (2008). Taking stock: a comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. *Ecological Economics*, 65(4), 834–852.
- Wooldridge, J. M. (2023). *Introdução à econometria: uma abordagem moderna* (7th ed.). Cengage Learning.