

idp

v.5 n. Único

95

DEBATES EM ECONOMIA APLICADA

WORKING PAPER

**PLANO ABC: O IMPACTO DO CRÉDITO RURAL
SUBSIDIADO NAS EMISSÕES DE GASES DE
EFEITO ESTUFA NO BRASIL**

CLAUDENICE RAMALHO DE MEDEIROS BISSACOT

PLANO ABC: O IMPACTO DO CRÉDITO RURAL SUBSIDIADO NAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL

**CLAUDENICE RAMALHO DE MEDEIROS
BISSACOT^a**

^aClaudenice Ramalho de Medeiros Bissacot é Mestre em Economia pelo Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa (IDP). E-mail: claudenice.bissacot@uol.com.br. ORCID: 0009-0000-2670-5840.



IDP

O IDP é um centro de excelência no ensino, na pesquisa e na extensão nas áreas da Administração Pública, Direito e Economia. O Instituto tem como um de seus objetivos centrais a profusão e difusão do conhecimento de assuntos estratégicos nas áreas em que atua, constituindo-se um think tank independente que visa contribuir para as transformações sociais, políticas e econômicas do Brasil.

DIREÇÃO E COORDENAÇÃO

Diretor Geral

Francisco Schertel

Coordenador do Mestrado em Economia

José Luiz Rossi

CONSELHO EDITORIAL

Coordenação

Thiago Caldeira

Emmanuel Brasil

Supervisão e Revisão

Mathias Tessmann

Lucas Dutra

Projeto Gráfico e Diagramação

Juliana Vasconcelos

www.idp.edu.br

Revista Técnica voltada à divulgação de resultados preliminares de estudos e pesquisas aplicados em desenvolvimento por professores, pesquisadores e estudantes de pós-graduação com o objetivo de estimular a produção e a discussão de conhecimentos

DEBATES EM ECONOMIA APLICADA

técnicos relevantes na área de Economia.

Convidamos a comunidade acadêmica e profissional a enviar comentários e críticas aos autores, visando o aprimoramento dos trabalhos para futura publicação. Por seu propósito se concentrar na recepção de comentários e críticas, a Revista Debates em Economia Aplicada não possui ISSN e não fere o ineditismo dos trabalhos divulgados.

As publicações da Revista estão disponíveis para acesso e download gratuito no formato PDF. Acesse: www.idp.edu.br

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do IDP.

Qualquer citação aos trabalhos da Série só é permitida mediante autorização expressa do(s) autor(es).

SUMÁRIO

1	Introdução	6
2	Fundamentação Teórica	7
3	Dados e Metodologia	10
3.1	Dados	11
3.2	Fundamento Teórico – DiD com tratamento contínuo	12
3.2.1	Estrutura dos Potenciais Resultados	13
3.2.2	Resposta Causal Marginal	13
3.2.3	Diferença-em-Diferenças Contínua (contDiD)	13
3.2.4	Modelo empírico – ContDiD	13
4	Análise dos Resultados	14
5	Conclusão	17
	Referências	19

RESUMO: Este trabalho busca avaliar o impacto da concessão de crédito via Plano ABC no Brasil como instrumento de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor agropecuário. Para isso, foi construída uma base de dados a partir de informações disponibilizadas pelo Banco Central do Brasil, referentes ao volume de crédito rural concedido por meio do Programa ABC entre 2010 e 2023. Os dados de crédito foram integrados com informações do SEEG sobre emissões líquidas de GEE, buscando identificar o impacto espacial e temporal dos investimentos financiados pelo Plano ABC sobre as emissões no setor agropecuário. A metodologia empregada combina modelos econométricos com dados em painel, permitindo estimar efeitos causais da política pública. A estratégia empírica principal utiliza a metodologia de Diferenças-em-Diferenças com tratamento contínuo, com efeitos fixos nos municípios brasileiros e nos anos, permitindo identificar a relação entre variações na intensidade de crédito do ABC e a intensidade de emissões. Os resultados não fornecem evidências estatisticamente significativas, sugerindo que o crédito do Plano ABC, embora direcionado a práticas de baixa emissão, ainda não produz impacto mensurável sobre as emissões agregadas. Esses achados reforçam a importância de aprimorar a focalização do crédito, a governança e o monitoramento das políticas climáticas baseadas em instrumentos financeiros.

PALAVRAS-CHAVE: Plano ABC; crédito rural; gases de efeito estufa; agropecuária; Diferenças-em-Diferenças contínuo

ABSTRACT: This work analyzes the impact of credit through Brazil's ABC Plan (Low-Carbon Agriculture Program) as an instrument for mitigating greenhouse gas (GHG) emissions in the agricultural sector. A database was constructed using information from the Central Bank of Brazil (Bacen) on rural credit granted under the ABC Program between 2010 and 2023, integrated with SEEG data on net GHG emissions. The objective is to identify the spatial and temporal impacts of ABC-financed investments on agricultural emissions. The empirical approach combines econometric panel data models to estimate causal effects of this public policy. The main identification strategy relies on a continuous Difference-in-Differences (contDiD) framework with Brazilian municipalities and year fixed effects, allowing the assessment of how variations in ABC credit intensity are associated with emission intensity. The results provide no statistically significant evidence, suggesting that, although the program targets low-emission practices, it has not yet generated measurable aggregate impacts on emissions. The findings highlight the importance of improving credit targeting, governance, and monitoring of climate policies based on financial instruments.

KEYWORDS: ABC Plan; rural credit; greenhouse gas emissions; agriculture; continuous Difference-in-Differences

RESUMEN: Este trabajo analiza el impacto del crédito otorgado a través del Plan ABC de Brasil (Programa de Agricultura de Bajo Carbono) como instrumento para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector agropecuario. Se construyó una base de datos a partir de información del Banco Central de Brasil (Bacen) sobre el crédito rural concedido en el marco del Programa ABC entre 2010 y 2023, integrada con datos del SEEG

sobre emisiones netas de GEI. El objetivo es identificar los impactos espaciales y temporales de las inversiones financiadas por el ABC en las emisiones agropecuarias. El enfoque empírico combina modelos econométricos de datos de panel para estimar efectos causales de esta política pública. La estrategia de identificación principal se basa en un enfoque de Diferencias-en-Diferencias continuo (contDiD), con efectos fijos para los municipios brasileños y los años, lo que permite evaluar cómo las variaciones en la intensidad del crédito ABC se asocian con la intensidad de las emisiones. Los resultados no aportan evidencia estadísticamente significativa, lo que sugiere que, aunque el programa está orientado a prácticas de bajas emisiones, aún no ha generado impactos agregados medibles en las emisiones. Los hallazgos resaltan la importancia de mejorar la focalización del crédito, la gobernanza y el monitoreo de las políticas climáticas basadas en instrumentos financieros.

PALABRAS CLAVE: Agricultura de bajo carbono; Plan ABC; emisiones de GEI; crédito rural; política climática; modelos de datos de panel; Diferencias-en-Diferencias continuo

CLASSIFICAÇÃO JEL: Q18, Q51, Q58, C33

1 Introdução

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário agrícola mundial, tanto pela relevância de sua produção agropecuária quanto pelo peso desse setor nas emissões nacionais de gases de efeito estufa (GEE). O setor de Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (AFOLU) responde por mais de 40% das emissões líquidas do país (Ministério da Ciência, 2022), evidenciando a necessidade de políticas públicas que conciliem produtividade e sustentabilidade. Nesse contexto, o Plano ABC surge como uma estratégia econômica de mitigação, ao direcionar crédito rural e incentivos financeiros para práticas de baixa emissão de carbono, representando um esforço do Estado brasileiro em alinhar desenvolvimento agrícola e redução de GEE.

Como parte desse esforço e em resposta aos compromissos assumidos internacionalmente, especialmente durante a 15ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP-15), realizada em 2009 em Copenhague, o país lançou Plano ABC. A política tinha como objetivo promover a adoção de tecnologias sustentáveis de produção rural, incentivar a recuperação de áreas degradadas, ampliar o uso de práticas integradas de lavoura, pecuária e floresta e, assim, reduzir as emissões de GEE associadas às atividades agropecuárias.

Dessa forma, este estudo avalia o impacto do crédito rural disponibilizado pelo Plano ABC sobre as emissões de GEE do setor agropecuário brasileiro, buscando mensurar a efetividade ambiental e econômica dessa política pública. Avaliar a efetividade ambiental do crédito concedido torna-se fundamental não apenas do ponto de vista das metas climáticas, mas também da eficiência econômica do gasto público, assegurando que o investimento em mitigação produza retornos proporcionais em termos de redução de emissões e sustentabilidade de longo prazo.

A análise foi conduzida por meio de dados em painel, com valores anuais para todos os municípios brasileiros no período de 2013 a 2023. A base integra informações de múltiplas fontes públicas, incluindo a base de dados das Estimativas de emissões de GEE advinda do Sistema de estimativas de emissões e remoções de GEE – SEEG; o Crédito do Programa ABC, extraído da Matriz de Crédito Rural disponibilizada pelo Banco Central do Brasil – Bacen, cuja base fornece valores anuais contratados, também desagregados por município; e a Área Plantada, incorporada como variável de controle, cujos dados foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. As variáveis centrais captam o volume de crédito rural destinado ao programa e as emissões agropecuárias correspondentes, permitindo avaliar a relação entre investimento público e resultados ambientais. O uso de dados em painel possibilita explorar a variação temporal e espacial das políticas de crédito, garantindo maior robustez estatística e controle de heterogeneidades regionais. A estratégia empírica emprega modelos de painel com efeitos fixos, incluindo especificações do tipo *Diferenças-em-Diferenças* (DiD) para identificar o impacto do crédito do Plano ABC sobre as emissões.

Ao incorporar a dimensão fiscal implícita nas políticas de crédito rural de mitigação, este trabalho busca contribuir para a discussão sobre a eficiência e a efetividade das políticas agroambientais no Brasil. O Plano ABC, ao demandar recursos públicos expressivos para viabilizar taxas de juros subsidiadas e estruturas de acompanhamento técnico, impõe a necessidade

de análises integradas de custo e impacto. Assim, ao investigar empiricamente se o crédito do Programa ABC tem produzido reduções mensuráveis nas emissões agropecuárias, esta pesquisa também fornece subsídios para a avaliação custo-benefício da política, identificando se o retorno ambiental alcançado é proporcional ao volume de recursos empregados.

Os resultados empíricos indicam que o crédito concedido pelo Programa ABC não apresentou efeito estatisticamente significativo sobre as emissões agropecuárias de GEE no período analisado. As estimativas, obtidas por meio de um modelo de *Diferenças-em-Diferenças* com tratamento contínuo, revelam coeficientes de pequena magnitude e sem significância, sugerindo ausência de evidências robustas de que o volume de crédito de baixa emissão tenha produzido reduções mensuráveis na intensidade das emissões. Esses achados apontam para um impacto ambiental modesto do programa em sua dimensão financeira, ainda que o Plano ABC permaneça relevante como política estruturante da transição para práticas agropecuárias de menor emissão.

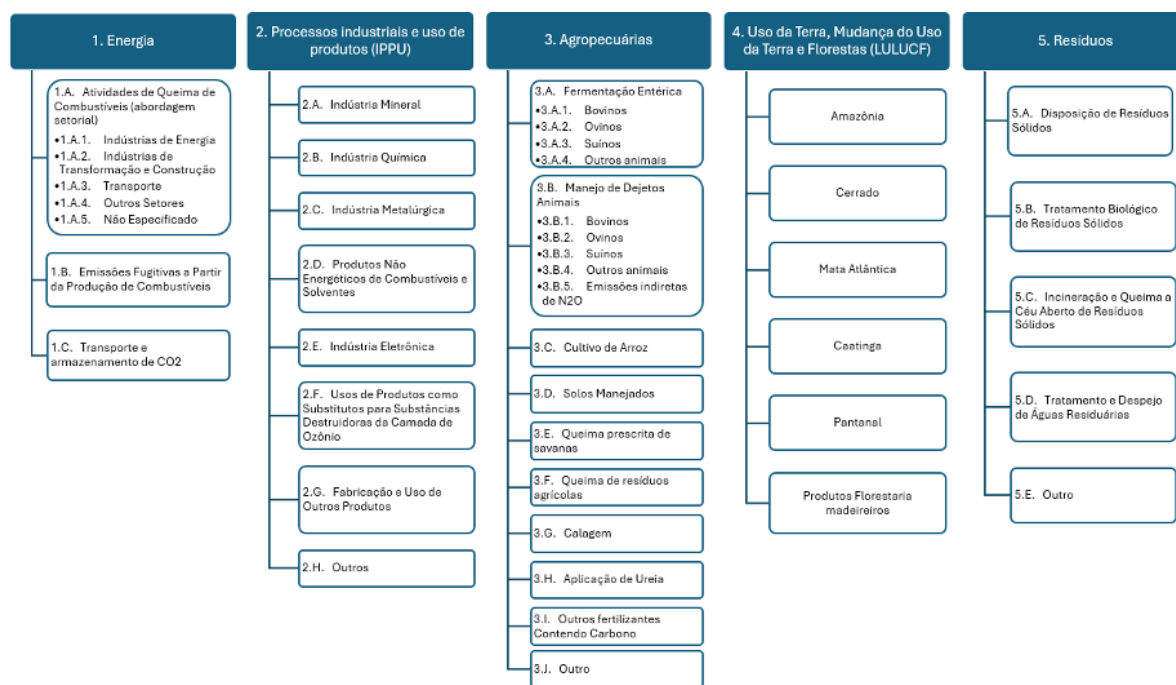
Além desta introdução, o trabalho está estruturado em mais 3 seções. A Seção 02 traz um breve referencial teórico que fundamenta o desenvolvimento deste trabalho, conceitos sobre o Plano ABC, as diretrizes do programa de crédito subsidiado e matriz energética no Brasil. O objetivo é contextualizar, à luz da dinâmica econômica nacional, os principais estudos que dialogam com o tema da pesquisa, analisando os avanços e as controvérsias presentes na literatura especializada. Busca-se identificar lacunas e oportunidades de investigação no campo acadêmico, de modo a justificar a relevância e a originalidade da pesquisa. A Seção 3 apresenta a metodologia e estratégia empírica adotada na pesquisa, abordando as técnicas de análise qualitativa e quantitativa empregadas. São detalhadas as fontes de dados, os indicadores selecionados para avaliar os efeitos econômicos do Plano ABC e suas implicações no setor agropecuário. Por fim, nas Seções 4 e 5 serão apresentadas as análises e discussão dos resultados, assim como as considerações finais e recomendações observadas a partir deste estudo.

2 Fundamentação Teórica

Diante do cenário de extremos climáticos, o Plano ABC emergiu como uma estratégia alternativa para mitigar impactos ambientais no setor agropecuário, como avaliam [Cordeiro, Pellegrino e Ba \(2020\)](#). A política buscou ampliar o uso de tecnologias sustentáveis e foi operacionalizada, em grande medida, pelo Programa Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Programa ABC), linha de crédito oficial destinada a financiar práticas e tecnologias capazes de reduzir as emissões de GEE na agropecuária brasileira. O programa foi parte integrante do Plano ABC e da estratégia do Brasil para reduzir os impactos das mudanças climáticas no setor agrícola. Sua relevância reside na capacidade de alinhar desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental, favorecendo inclusive pequenos e médios produtores. Ainda assim, desafios importantes persistem, como ampliar a adoção das tecnologias, fortalecer mecanismos de monitoramento e aprimorar a governança do crédito rural ([Embrapa, 2023](#)).

A cadeia agropecuária envolve uma série de atividades emissoras. Entender como essas fontes se inserem no contexto geral das emissões nacionais é essencial para delimitar o campo de análise e fundamentar políticas públicas voltadas à sustentabilidade do setor. O SEEG disponibiliza séries históricas anuais de estimativas de emissões líquidas de GEE para todos os municípios brasileiros, organizadas pelos principais setores econômicos que compõem o inventário nacional como Energia, Processos Industriais, Agropecuária, Uso da Terra e Resíduos. A Figura 1, a seguir, apresenta a classificação dos setores e subcategorias de emissões:

Figura 1: Distribuição por setores emissores – CO2 (Gg)



Fonte: SEEG. Elaboração própria

A complexidade que gira em torno do inventário nacional de emissões de GEE reforça a necessidade de análises setoriais aprofundadas, especialmente no setor agropecuário, cuja composição envolve múltiplas fontes de emissão direta e indireta. O Brasil tem sido crescentemente pressionado a reduzir suas emissões. Investidores internacionais, consumidores e organismos multilaterais exigem o cumprimento de compromissos ambientais e a adoção de práticas produtivas mais sustentáveis. O perfil de emissões de GEE no Brasil evidencia, portanto, a urgência de compromisso estruturado com a descarbonização da economia. O setor agropecuário desempenha papel central nesse processo, tanto pelos riscos ambientais que representa, quanto pelo potencial de contribuição à mitigação das emissões.

Compreender as interações entre desenvolvimento econômico, políticas públicas e impactos ambientais é fundamental para avaliar a efetividade de iniciativas como o Plano ABC. A literatura econômica oferece modelos teóricos e evidências empíricas que ajudam a

interpretar essas relações complexas, entre os quais destaca-se a Curva de Kuznets Ambiental (EKC), que propõe uma relação em forma de “U” invertido entre renda per capita e degradação ambiental. Os resultados empíricos para o Brasil, contudo, são heterogêneos. [Oliveira et al. \(2011\)](#) encontraram um padrão em “N” invertido na Amazônia Legal, indicando que o padrão brasileiro não se ajusta linearmente ao modelo tradicional, enquanto [Reis e Silva \(2020\)](#) sugerem que o país ainda se encontra na fase ascendente da curva, com crescimento econômico associado ao aumento das emissões, mas ressaltam que políticas e acordos internacionais podem antecipar o ponto de inflexão. [Serenio \(2019\)](#) identificou evidências de uma curva em “N”, mostrando que, após uma fase inicial de redução das emissões com o aumento da renda, há um novo ciclo de crescimento nas emissões. Esses resultados brasileiros dialogam com a literatura internacional, que também evidencia a heterogeneidade da EKC. [Schmalensee, Stokey e Judson \(1998\)](#), [Andreoni e Levinson \(1998\)](#) e [Kacprzyk e Kuchta \(2020\)](#) mostram que a relação entre renda e poluição é sensível ao modelo adotado e à variável ambiental considerada. [Dasgupta et al. \(2002\)](#) ressaltam que políticas ambientais ativas podem antecipar o ponto de inflexão, estimulando a adoção de tecnologias limpas mesmo em estágios de renda mais baixos.

Em complemento, o modelo STIRPAT (*Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology*), por sua vez, oferece uma formulação econométrica que permite quantificar o efeito de variáveis como população, renda e tecnologia sobre as emissões de GEE. Aplicações brasileiras como [Polloni-Silva, Silveira e Ferraz \(2021\)](#) mostraram que PIB per capita e população estão entre os principais determinantes das emissões de CO₂, mas que a estagnação tecnológica também exerce papel relevante. Estudos estruturais, como o de [Campos \(2021\)](#), reforçam que emissões são influenciadas por intensidade energética, progresso tecnológico e padrões de consumo. Esses modelos indicam que políticas públicas capazes de induzir tecnologias limpas podem alterar a trajetória de emissões, especialmente em setores intensivos em carbono.

Quanto aos efeitos diretos das tecnologias fomentadas pelo Plano ABC, os estudos podem ser organizados em dois grupos: simulações e evidências observacionais. Análises baseadas em simulação mostram elevado potencial de mitigação. [Martins \(2018\)](#) indicam que a adoção plena de tecnologias como recuperação de pastagens degradadas e sistemas integrados de lavoura-pecuária (ILP) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF) poderia evitar a emissão de 670 milhões de toneladas de CO₂ equivalente e permitir o sequestro adicional de 1,1 bilhão de toneladas no solo. Resultados semelhantes são encontrados por [Suela \(2019\)](#) na região do MATOPIBA, onde setores como pecuária, refino de açúcar e produção florestal mostram elevada sensibilidade às ações do plano, com ganhos ambientais ampliados em cenários de metas ambiciosas.

As evidências empíricas observacionais, por sua vez, revelam resultados mais modestos e heterogêneos. [Telles et al. \(2021\)](#), investigando o Subprograma de Recuperação de Pastagens Degradadas entre 2016 e 2021, encontraram associação negativa e estatisticamente significativa entre o volume de crédito e a proporção de pastagem degradada, sugerindo benefícios concretos da política. Estudos como [Bento e Vieira Filho \(2022\)](#), [Cordeiro, Pellegrino e Ba \(2020\)](#) e avaliações institucionais da [Embrapa \(2023\)](#) ressaltam, contudo, que a efetivi-

dade do crédito de baixa emissão depende de fatores como capacitação técnica, assistência continuada e adequação das tecnologias às realidades locais, o que explica a adoção desigual das práticas incentivadas e indica que o potencial transformador do Plano ABC ainda não se expressa plenamente no território nacional.

Além das dimensões tecnológicas, fatores econômicos e institucionais moldam a trajetória das emissões. [Sparovek et al. \(2010\)](#) destacam limitações da legislação ambiental brasileira, enquanto [Campos \(2021\)](#), ao empregar decomposição estrutural denominada SDA – *Structural Decomposition Analysis* – no setor de transportes, evidencia como intensidade energética, progresso tecnológico e padrões de consumo se combinam para explicar variações nas emissões. Essas análises reforçam que políticas de mitigação não podem ser avaliadas isoladamente, mas sim no contexto da estrutura produtiva e institucional que as molda.

Avanços recentes na literatura econométrica ampliaram as ferramentas para avaliação causal de políticas como o Plano ABC. [De Chaisemartin, D’Haultfœuille e Vazquez-Bare \(2024\)](#) introduzem um estimador de Diferenças-em-Diferenças para tratamentos contínuos em contextos sem unidades totalmente não tratadas, utilizando o conceito de *quasi-stayers* para capturar variações marginais de exposição ao tratamento. [Callaway, Goodman-Bacon e Sant’Anna \(2024\)](#) destacam que os modelos tradicionais com efeitos fixos em unidade e tempo apresentam limitações quando os efeitos do tratamento variam entre as unidades. Portanto, defendem métodos específicos para situações em que o tratamento é contínuo. Esses avanços são especialmente relevantes para o crédito do Programa ABC, cuja intensidade muda entre municípios e ao longo do tempo.

A partir desse conjunto de teorias e evidências, observa-se que as interações entre crescimento econômico, estrutura produtiva, dinâmica populacional e políticas públicas constituem determinantes centrais das emissões de GEE. As contribuições empíricas demonstram o potencial das tecnologias apoiadas pelo Plano ABC, mas também revelam heterogeneidade nos resultados e limitações importantes em termos de avaliação causal. A literatura permanece dominada por estudos de simulação e análises parciais de tecnologias específicas, enquanto ainda são escassas as estimativas causais sobre os efeitos efetivamente observados do crédito do Programa ABC nas emissões municipais, especialmente considerando a variação contínua da intensidade do tratamento. Portanto, este estudo busca preencher essa lacuna ao aplicar um modelo de Diferenças-em-Diferenças com tratamento contínuo para avaliar o impacto do crédito do Programa ABC sobre as emissões agropecuárias de GEE em nível municipal entre 2013 e 2023, oferecendo evidência empírica inédita e metodologicamente consistente sobre a efetividade da política.

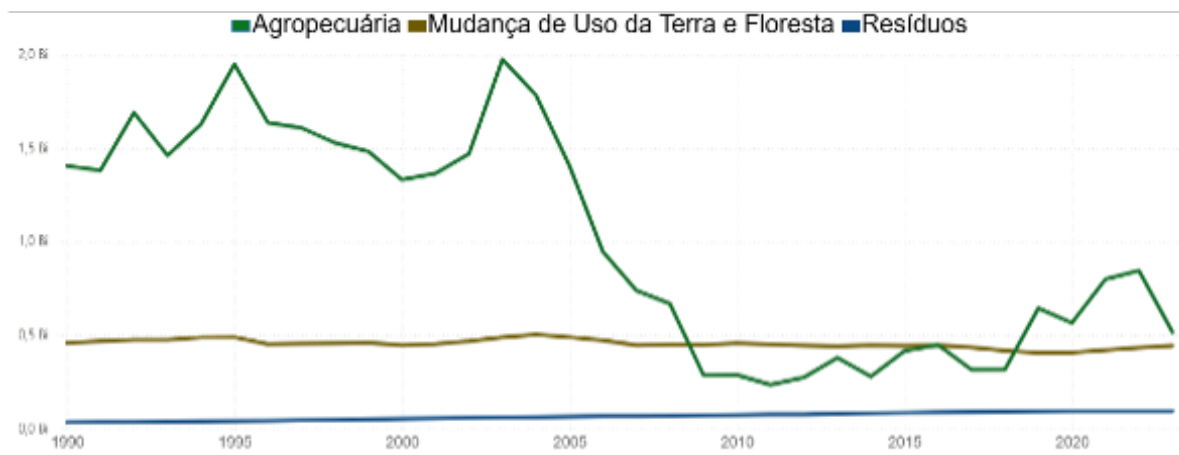
3 Dados e Metodologia

3.1 Dados

A avaliação do impacto do Plano ABC na mitigação das emissões de GEE exige uma abordagem econométrica capaz de lidar com a natureza contínua da variável de tratamento, o crédito concedido pelo programa. Diferentemente de políticas públicas que podem ser avaliadas por meio de um tratamento binário (tratado vs. não tratado), o crédito do Programa ABC apresenta intensidades distintas entre localidades tomadoras de crédito e anos. Nesse contexto, a estratégia de aplicar o modelo *contDiD* é particularmente adequada, pois permite explorar a variação na intensidade do crédito rural tanto no tempo quanto no espaço, mesmo na ausência de unidades totalmente não tratadas.

A análise empírica parte de um painel de dados anuais com abertura para todos os municípios brasileiros, no período de 2010 a 2023, construído a partir da integração de três bases principais: Emissões de GEE (E_{it}) obtidas no SEEG, desenvolvida pelo Observatório do Clima, atualmente a base pública mais abrangente e consolidada sobre emissões no Brasil. Os dados são expressos em toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e) e incluem gases como CO₂, CH₄, N₂O e HFCs. Para este trabalho, foram selecionadas as emissões líquidas associadas aos setores Agropecuária, Uso da Terra e Resíduos, dada sua relação direta com o escopo do Plano ABC. Para fins de compatibilização e análise, as emissões foram normalizadas em termos de toneladas de CO₂ equivalente por hectare.

Figura 2: Emissões totais — Trajetória de emissão de GEE - CO₂e (t) GWP-AR5



Fonte: SEEG. Elaboração própria

O crédito do Programa ABC (C_{it}), extraído da Matriz de Crédito Rural disponibilizada pelo Bacen, especificamente na seção “Estabilidade Financeira e Supervisão”, em “Visão por programa e subprograma”. Essa base fornece valores anuais contratados (em reais), também desagregados por município e modalidade de financiamento. A utilização desses dados permite quantificar o esforço financeiro realizado pelos produtores rurais na adoção de práticas agropecuárias de baixa emissão de carbono, oferecendo uma medida objetiva da intensidade de exposição das localidades às linhas de financiamento do Plano ABC.

Por fim, a área plantada (A_{it}) foi incorporada como variável de controle para capturar a dinâmica do uso da terra no setor agropecuário. Os dados foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA), que fornece informações anuais, em hectares, sobre as principais culturas agrícolas do país. Essa variável é fundamental para isolar o efeito da política de crédito, evitando que variações na intensidade produtiva ou na expansão da fronteira agrícola sejam indevidamente atribuídas ao Plano ABC.

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva das variáveis utilizadas no modelo de regressão, considerando dados anuais agregados para o Brasil no período de 2013 a 2023. Foram analisadas quatro variáveis principais: (i) volume de crédito investido (C), (ii) emissões totais de gases de efeito estufa (E), (iii) área plantada (A) e (iv) emissões por hectare (H).

Tabela 1: Estatística Descritiva

Variável	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
C	2222035003,46	1039917685,76	700366641,58	4315721856,51
E	37251957310,01	11030998354,79	10103466437,58	51314690366,49
A	3291930759,00	923657855,09	1205944769,00	4372169987,00
H	11,19	1,18	8,38	13,04

Fonte: Elaboração própria

3.2 Fundamento Teórico – DiD com tratamento contínuo

O estudo avalia o impacto do Programa ABC sobre as emissões de GEE no setor agropecuário brasileiro, utilizando o modelo *contDiD*. Para tanto, no contexto da pesquisa, temos:

E_{it} = emissões de GEE por hectare do município i no período t

C_{it} = volume de crédito do Programa ABC contratado pelo município i no período t

A_{it} = área plantada no município i no período t

X_{it} = variáveis de controle adicionais

μ_i = efeitos fixos na localidade

λ_t = efeitos fixos de tempo

ε_{it} = termo de erro idiossincrático.

3.2.1 Estrutura dos Potenciais Resultados

Define-se $C_{it}(c)$ como o valor das emissões que a unidade i teria no período t caso fosse exposta a uma intensidade de crédito c . O efeito do tratamento em intensidade c pode ser expresso como:

$$TE_{it} = E_{it}(c) - E_{it}(0) \quad (1)$$

onde:

$E_{it}(c)$ = emissões sob intensidade c de crédito,

$E_{it}(0)$ = emissões no cenário contrafactual de ausência de crédito.

3.2.2 Resposta Causal Marginal

A sensibilidade das emissões a uma variação marginal no crédito do Programa ABC é captada pela resposta causal marginal:

$$CR_{it}(c) = \frac{\partial E_{it}(c)}{\partial c} \quad (2)$$

3.2.3 Diferença-em-Diferenças Contínua (contDiD)

Considerando dois períodos, antes e depois da intervenção, define-se a variação temporal das emissões em cada unidade:

$$\Delta E_i = E_{i2} - E_{i1} \quad (3)$$

O estimador contDiD identifica o efeito médio do tratamento contínuo comparando diferenças de intensidades:

$$ContDiD = \mathbb{E} [\Delta E_i | C_i = c] - \mathbb{E} [\Delta E_i | C_i = 0] \quad (4)$$

3.2.4 Modelo empírico – ContDiD

Para estimar, empiricamente, o efeito do crédito do Programa ABC sobre as emissões, utiliza-se um modelo de regressão linear com efeitos fixos para unidade e tempo. A equação estimada é:

$$E_{it} = \alpha + \beta \cdot C_{it} + \gamma \cdot A_{it} + \delta X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

O parâmetro de interesse é β , interpretado à luz do arcabouço de Continuous Difference-in-Differences, refletindo o efeito médio ponderado das variações no crédito do Programa ABC entre períodos.

4 Análise dos Resultados

A Tabela 2 apresenta os resultados da estimação do modelo *contDiD*, onde a variável dependente é o logaritmo da intensidade de emissões agropecuárias por hectare e a variável de tratamento é o crédito do Programa ABC defasado em um período.

Tabela 2: Resultados da estimação do modelo *contDiD*

	Variável Dependente
	<i>ContDiD</i>
	E_{it}
Tratamento	0,000444 (0,000397)
Efeitos Fixos (municípios)	Sim
Ano	Sim
UF e Ano	Sim
Erros-padrão clusterizados	IBGE7
Observações	52181
R^2	0,92221
R^2 (within)	0,0000189

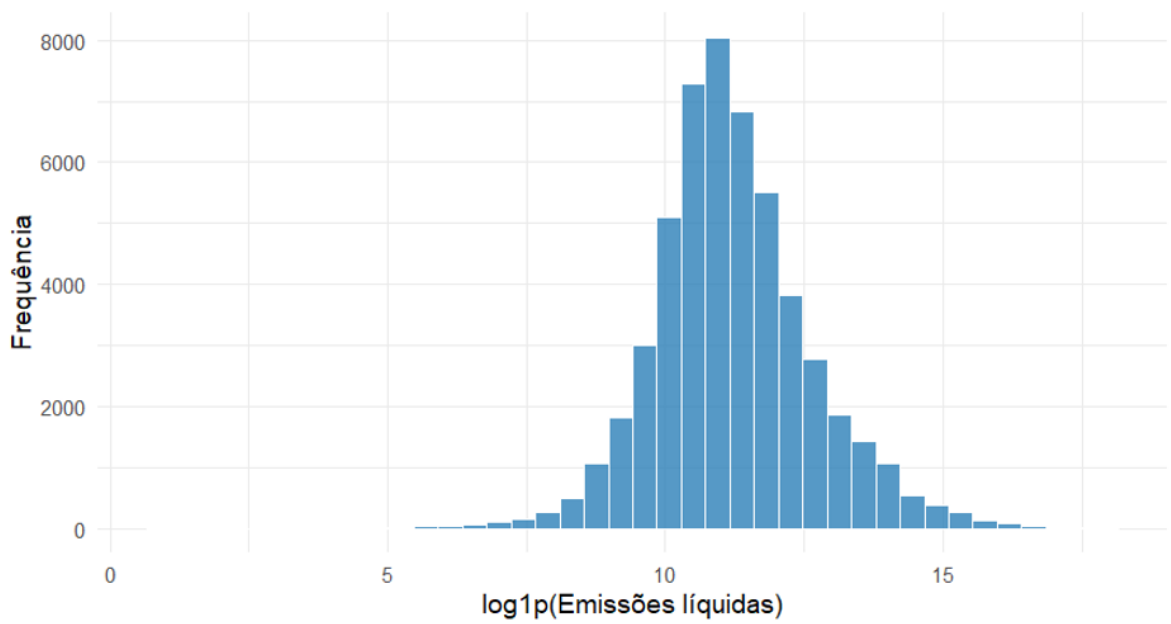
Nota: Códigos de significância: 0 **** 0,01 *** 0,05 ** 0,1 * ' 1 ' '. Fonte: Elaboração própria

O coeficiente estimado para o tratamento é positivo (0,0004), porém estatisticamente não significativo ao nível convencional de 5%, sugerindo ausência de evidência robusta de que o crédito do Plano ABC tenha impactado a intensidade de emissões no curto prazo. O alto R^2 global (0,922) decorre principalmente dos efeitos fixos por localidade e ano, enquanto o baixo R^2 dentro dos grupos indica variação limitada da dose de crédito ao longo do tempo dentro das unidades tomadoras de crédito. Esses resultados sugerem que, embora o crédito do Plano ABC represente um importante instrumento de política ambiental, seus efeitos sobre as emissões agregadas ainda são incipientes, possivelmente em função da heterogeneidade regional, da defasagem temporal dos impactos ou de limitações na focalização dos recursos.

A Figura 3 apresenta o histograma de $\log_{1p}(\text{Emissões líquidas})$ no painel município–ano. Observa-se uma distribuição aproximadamente unimodal e simétrica, concentrada em torno de valores entre 10 e 11 no eixo logarítmico, com caudas relativamente finas. A aplicação de \log_{1p} (i.e., $\log(1 + \text{Emissões})$) teve por objetivo mitigar a assimetria positiva observada na

escala original e reduzir o peso de *outliers*, favorecendo a interpretação de variações relativas e a aderência dos resíduos às hipóteses do modelo.

Figura 3: Distribuição de Emissões Líquidas ($\log 1p$)



Fonte: Elaboração própria

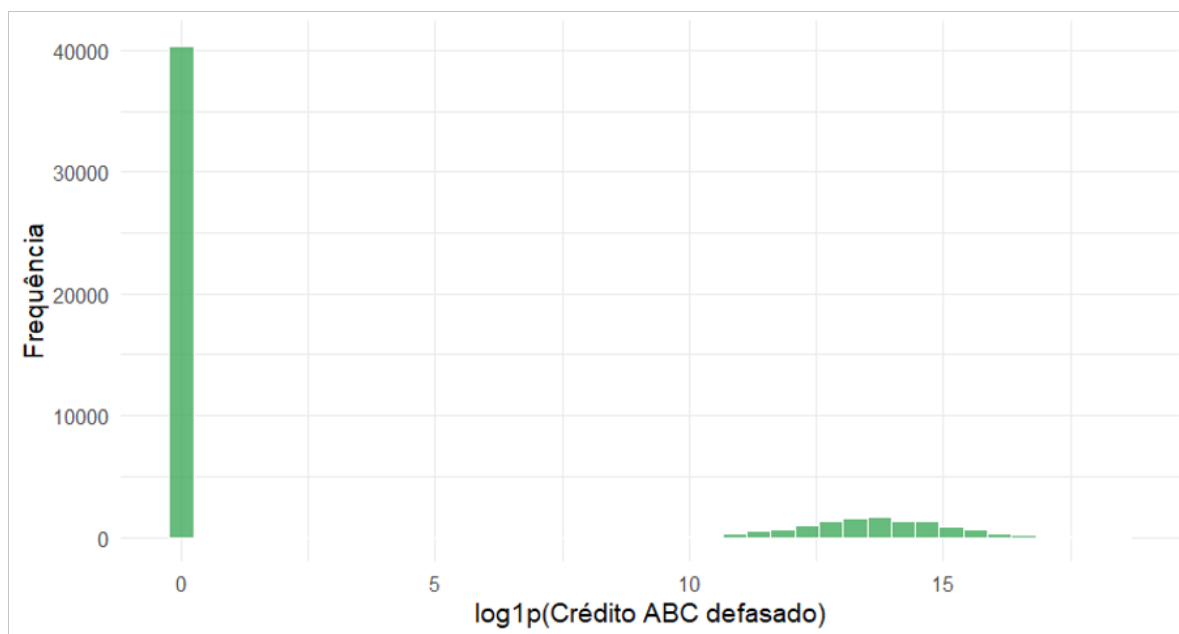
Em termos substantivos, diferenças de uma unidade no eixo horizontal correspondem a variações multiplicativas nas emissões em escala original (por exemplo, um acréscimo de 0,693 em \log equivale, aproximadamente, a um aumento de 100% nas emissões). Essa transformação é consistente com a especificação econométrica adotada, que modela a variável dependente em \log com efeitos fixos.

A Figura 4 apresenta a distribuição do crédito do Programa ABC, defasado em um ano e transformado em $\log 1p$. Nota-se uma forte concentração de observações no valor zero, indicando que a maioria dos municípios não acessou recursos do programa ao longo do período analisado. Por outro lado, entre os municípios que receberam crédito, observa-se grande dispersão nos volumes contratados, variando entre valores relativamente baixos e desembolsos bastante elevados. Essa configuração evidencia a baixa cobertura territorial do Programa ABC e a forte concentração do crédito em determinados municípios e produtores, aspecto relevante para a interpretação dos resultados econométricos.

A variável representada é o $\log 1p$ do volume de crédito do Programa ABC, defasado em 1 ano, onde o eixo X mostra os valores transformados pelo \log e o eixo Y mostra a frequência de observações (município-ano).

Já a Figura 5 apresenta a relação entre a dose de crédito ABC defasada e as emissões líquidas, após a aplicação dos efeitos fixos de município, ano e localidade-ano. Cada ponto representa um município em determinado ano, após controlar por efeitos fixos. Observa-se

Figura 4: Distribuição do Crédito ABC (defasado em 1 ano)



Fonte: Elaboração própria

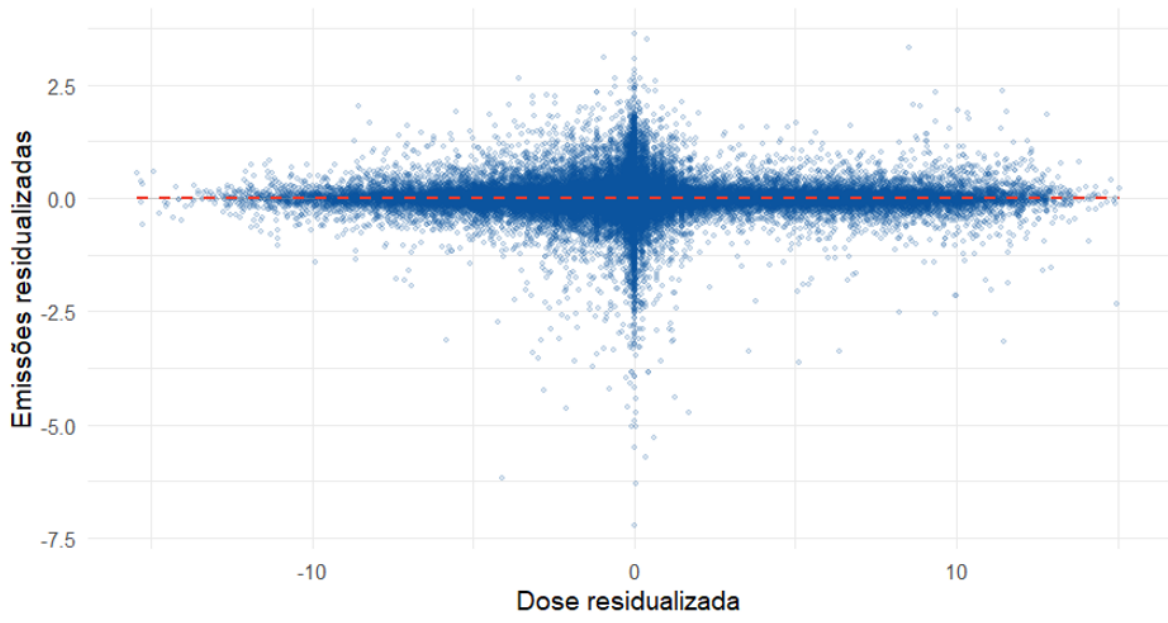
que a nuvem de pontos está fortemente concentrada em torno do zero e não apresenta padrão visível de associação. A linha de tendência quase horizontal reforça que o efeito estimado do crédito ABC sobre as emissões é muito pequeno e não se manifesta de forma clara nos dados. Esse resultado é coerente com os achados do modelo econométrico, que indicam ausência de impacto estatisticamente relevante do crédito do Programa ABC sobre a redução de emissões de GEE. O eixo X representa o crédito do Programa ABC defasado em 1 ano (residualizado) e o eixo Y, as emissões líquidas (residualizadas).

A principal observação é a nuvem de pontos concentrada em torno de zero, ou seja, a maioria dos resíduos está muito próxima de (0, 0), indicando que, depois de descontar os efeitos fixos, sobra pouca variação explicada pela relação crédito/emissões. Também se observa uma ausência de padrão claro, ou seja, a dispersão parece simétrica e sem inclinação visível. O que confirma que o efeito estimado é nulo (coeficiente $\approx 0,0004$; modelo estimado apenas com operações do Programa ABC).

Sobre a presença de *outliers*, há observações mais afastadas, tanto em emissões negativas quanto positivas, entretanto, esses pontos são poucos e não influenciam significativamente a tendência geral. Já a linha de tendência mostra-se horizontal, a inclinação da linha vermelha é mínima, reforçando a interpretação de que não há evidência visual robusta de relação entre crédito ABC e emissões após controlar por efeitos fixos.

Os resultados obtidos, ao indicarem ausência de efeito estatisticamente significativo do crédito do Programa ABC sobre as emissões agropecuárias, levantam também um ponto de reflexão quanto à eficiência econômica da política pública analisada. Considerando que o

Figura 5: Relação entre Dose e Emissões (após FE)



Fonte: Elaboração própria

Plano ABC envolve subsídios fiscais e custos administrativos relevantes, a falta de impacto mensurável sobre as emissões sugere que o retorno ambiental do programa pode estar aquém do que se espera devido ao custo fiscal incorrido. Esse resultado reforça a importância de aprimorar os mecanismos de alocação, monitoramento e focalização dos recursos, de modo que o crédito rural de baixa emissão produza ganhos ambientais compatíveis com o investimento público realizado.

5 Conclusão

O presente estudo buscou avaliar se o crédito concedido pelo Programa ABC tem promovido a redução das emissões agropecuárias de GEE no Brasil, com base na integração de bases de dados oficiais e na aplicação de um modelo de identificação causal contínuo. Os resultados indicaram um coeficiente positivo, de pequena magnitude e sem significância estatística, o que indica que, a partir dos dados e especificação utilizados, não foi possível identificar estatisticamente uma relação entre o crédito do Plano ABC e a intensidade das emissões agropecuárias no período analisado, sugerindo ausência de evidências robustas de que o crédito do Plano ABC, na forma e escala observadas, tenha produzido reduções mensuráveis na intensidade das emissões agropecuárias no período analisado. O sinal positivo, ainda que estatisticamente nulo, mostra-se desalinhado com o objetivo do programa de fomentar práticas produtivas de baixa emissão. Importante destacar que a ausência

de significância estatística reflete uma limitação da evidência, não permitindo interpretar o resultado como prova de ausência de efeito real, podendo refletir o fato de que o volume de crédito do ABC ainda representa uma fração modesta frente ao total de emissões do setor.

Embora os resultados não indiquem efeito estatisticamente significativo do crédito do Plano ABC sobre as emissões agropecuárias, o estudo contribui ao fornecer evidências empíricas robustas sobre a impossibilidade de detectar estatisticamente um impacto com os dados disponíveis, no período analisado. A metodologia de Diferenças-em-Diferenças com tratamento contínuo mostrou-se apropriada ao tipo de dado e ao desenho da política, permitindo avaliar a efetividade do programa sob uma abordagem econométrica consistente, ainda que sem possibilitar inferências conclusivas sobre a presença ou ausência de efeito.

Do ponto de vista da política pública, cabe destacar que o Plano ABC compreende um conjunto mais amplo de instrumentos voltados à mitigação das emissões agropecuárias, abrangendo não apenas o Programa ABC, componente financeiro analisado nesta dissertação, mas também ações de capacitação técnica, pesquisa, assistência e disseminação de conhecimento. A análise concentrou-se na dimensão do crédito rural, buscando verificar se o volume de recursos financiados tem se refletido em reduções mensuráveis nas emissões agropecuárias. Ademais, os resultados reforçam a necessidade de ampliar a escala, o direcionamento e o monitoramento do crédito de baixa emissão, assegurando que os recursos sejam efetivamente aplicados em tecnologias com potencial comprovado de mitigação.

Cabe destacar que políticas de crédito voltadas à mitigação, como o Plano ABC, implicam custos relevantes para o Estado e para o sistema financeiro, tanto em termos de subsídios fiscais quanto de estrutura administrativa e de monitoramento. Diante da ausência de efeitos estatisticamente significativos, não é possível inferir se o custo fiscal do programa gera retornos ambientais e qual seria sua magnitude, o que reforça a importância de incorporar avaliações de custo-benefício na formulação e revisão das políticas agroambientais. A análise integrada de impactos e custos permitiria identificar não apenas a efetividade ambiental, mas também a eficiência econômica das ações públicas, contribuindo para a sustentabilidade financeira das estratégias de mitigação de longo prazo.

Em síntese, ainda que os efeitos agregados estimados sejam nulos, os resultados reforçam a relevância do Plano ABC como marco institucional da política agroambiental brasileira e como instrumento de aprendizado na transição para uma agricultura de baixa emissão. O aprimoramento das bases de dados integradas e o desenvolvimento de estratégias econométricas avançadas, como a empregada neste estudo, constituem etapas essenciais para o avanço das avaliações empíricas e para o aperfeiçoamento das políticas públicas voltadas à consolidação de uma economia rural sustentável e competitiva.

Referências

- Andreoni, James e Arik Levinson** (1998). “The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve,” Technical Report 6739, NBER, Cambridge.
- Bento, José Alex do Nascimento e José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho** (2022). “O impacto do crédito rural sustentável na emissão de gases do efeito estufa: evidências para sustentabilidade agropecuária brasileira,” *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*(27): 159–172.
- Callaway, Brantly, Andrew Goodman-Bacon, e Pedro H. C. Sant’Anna** (2024). “Difference-in-Differences with a Continuous Treatment,” Technical Report 32117, NBER.
- Campos, Carlos Eduardo Espinel** (2021). “Determinantes das emissões de gases de efeito estufa da economia brasileira: uma análise de decomposição estrutural (2010 a 2017),” Master’s thesis, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba.
- Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações** (2022). “Quinto Relatório de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – BUR5,” Technical report, Brasília.
- Cordeiro, Luiz Adriano Maia, Giampaolo Queiroz Pellegrino, e Gustavo Ba** (2020). “Contextualização histórica do Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono – Plano ABC,” in *Plano ABC: Dez anos de sucesso e uma nova forma sustentável de produção agropecuária*, MAPA, Brasília, , Chap. 1, p. 20.
- Dasgupta, Susmita, Benoit Laplante, Hua Wang, e David Wheeler** (2002). “Confrontando a curva de Kuznets ambiental,” *Journal of Economic Perspectives*, 16(1): 147–168.
- De Chaisemartin, Clément, Xavier D’Haultfœuille, e Gonzalo Vazquez-Bare** (2024). “Difference-in-Differences Estimators with Continuous Treatments and no Stayers,” Technical report.
- Embrapa** (2023). “Programa ABC Corte,” Technical report, Brasília.
- Kacprzyk, Andrzej e Zbigniew Kuchta** (2020). “Lançando uma nova luz sobre a curva ambiental de Kuznets para emissões de CO,” *Energy Economics*, 87 p. 104750.
- Martins, S. C. et al.** (2018). “Inverting the carbon footprint in Brazilian agriculture: an estimate of the effects of the ABC plan,” *Land Use Policy*, 70 49–58.
- Oliveira, Rejane Corrêa de, Eduardo Almeida, Ricardo da Silva Freguglia, e Ricardo Candéa Sá Barreto** (2011). “Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: uma análise da curva de Kuznets ambiental para a Amazônia Legal,” *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 49(3): 567–592.





- Polloni-Silva, E., N. Silveira, e D. et al. Ferraz** (2021). “Os fatores determinantes das emissões de CO₂ relacionadas à energia no Brasil: uma aplicação regional do modelo STIRPAT,” *Environmental Science and Pollution Research*, 28 51745–51762.
- Reis, Tarcísio Raviel Mereles da Silva e Jorge Luiz Mariano da Silva** (2020). “Curva de Kuznets ambiental: crescimento, comércio internacional e emissões de CO no Brasil.”
- Schmalensee, R., N. L. Stokey, e R. A. Judson** (1998). “World Carbon Dioxide Emissions: 1950–2050,” *The Review of Economics and Statistics*, 80(1): 15–27.
- Sereno, Luiz Gustavo Fernandes** (2019). “Crescimento econômico e emissões de gases de efeito estufa: uma análise de cointegração em painel para os estados brasileiro de 2002 a 2015,” Master’s thesis, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Sparovek, G., G. Berndes, I. L. F. Klug, e A. G. O. P. Barretto** (2010). “Brazilian agriculture and environmental legislation: status and future challenges,” *Environmental Science & Technology*, 44(16): 6046–6053.
- Suela, Attawan Guerino Locatel** (2019). “Efeitos ambientais da implementação do Plano ABC no MATOPIBA: uma abordagem por insumo-produto,” Master’s thesis, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Telles, Tiago Santos, José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho, Pedro Henrique Batista de Barros, e Felipe César Marques** (2021). “Programa ABC e a recuperação de pastagens degradadas no Brasil,” in *Anais do 49º Encontro Nacional de Economia – ANPEC*.



The background features a dark blue color scheme with various data visualization elements. On the left, there is a bar chart with five bars of increasing height, with values 138, 178, 175, 172, and 190. A line graph with two upward-trending lines is overlaid on the bars. To the right, there are two circular progress indicators: the top one shows 68% and the bottom one shows 75%. A dotted line with a downward-pointing triangle connects these two circles. In the bottom right corner, there is a network diagram consisting of a sphere of interconnected nodes.

idp

SGAS Quadra 607 - Módulo 49
Via L2 Sul, Brasília-DF
CEP: 70200-670

  /sejaidp
 (61) 3535-6565
 idp.edu.br