



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA,
CONTABILIDADE E SECRETARIADO EXECUTIVO
PROGRAMA DE ECONOMIA PROFISSIONAL – PEP

GLAUBER DE QUEIROZ SAMPAIO

UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO PROGRAMA DE
AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO (ABC) NAS EMISSÕES TOTAIS DE GEE
DA AGROPECUÁRIA

FORTALEZA

2024

GLAUBER DE QUEIROZ SAMPAIO

UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO PROGRAMA DE
AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO (ABC) NAS EMISSÕES TOTAIS DE GEE DA
AGROPECUÁRIA

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Economia Profissional – PEP, da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia. Área de Concentração: Economia do Setor Público.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Irffi

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S183p Sampaio, Glauber.
Uma proposta de avaliação do impacto do programa de agricultura de baixo carbono (ABC +) nas emissões totais de GEE na agropecuária / Glauber Sampaio. – 2024.
40 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Mestrado Profissional em Economia do Setor Público, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Guilherme Irffi.

1. Agricultura. 2. Sustentabilidade. 3. Emissões. 4. Economia de baixo carbono. I. Título.

CDD 330

GLAUBER DE QUEIROZ SAMPAIO

UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO PROGRAMA DE
AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO (ABC) NAS EMISSÕES TOTAIS DE GEE DA
AGROPECUÁRIA

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Economia Profissional – PEP, da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia. Área de Concentração: Economia do Setor Público.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Irffi

Aprovada em: 26/02/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Guilherme Irffi (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcos Renan Vasconcelos Magalhães
Secretaria de Saúde do Ceará (SESA/CE)

Prof. Dr. Wesley Leitão de Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Ceará (UFC), bem como ao seu corpo docente que compuseram a caminhada rumo ao aperfeiçoamento de meus conhecimentos.

Aos colegas de trabalho do Grupo pela colaboração.

Agradeço às pessoas que estiveram e fizeram parte desse ciclo, aos que foram e aos que ficaram. Tenho em mim todos os que me atravessaram de maneira feliz e os que me deixaram ensinamentos. Agradeço, ainda, àqueles que me acompanharam, deixando destaque aos que compuseram uma relação para além do acadêmico, aos quais ofereceram trocas de conhecimento e parcerias.

Agradeço verdadeiramente a todos.

“Para um apóstolo moderno,
uma hora de estudo é uma hora de oração.”

São Josemaria Escrivá

RESUMO

A agropecuária brasileira assumiu um papel fundamental no desenvolvimento sustentável a partir da década de 1990, impulsionada por diversos eventos significativos. A realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, conhecida como Rio-92, marcou um marco importante nesse contexto. Além disso, a liberação de imagens de satélite permitiu um melhor monitoramento e redução das taxas de desmatamento na região amazônica. Nesse período, também foi implementado o Código Florestal, que estabeleceu diretrizes para a preservação de áreas de vegetação nativa, e foi criado o Programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono). O Programa ABC tem como objetivo promover práticas produtivas sustentáveis por meio de linhas de crédito financeiro específicas. Este estudo busca avaliar o impacto do Programa ABC sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE) na produção agrícola. Foi utilizado um modelo de controle sintético que compara o Brasil (grupo tratado) com o resto do mundo (grupo de controle) no período de 2000 a 2019. Os resultados indicaram um impacto positivo do programa nas emissões de GEE após a sua implementação. Caso o Brasil não tivesse adotado o Programa ABC, estima-se que as emissões seriam 27,15 pontos percentuais mais elevadas. Análises adicionais baseadas em métodos estatísticos confiáveis (Firpo, Possebom, 2018) confirmam os resultados obtidos na metodologia desenvolvida por Abadie, Diamond e Hainmueller (2010), fornecendo mais embasamento às conclusões do estudo. Em suma, o Programa ABC desempenhou um papel importante na redução das emissões de GEE na produção agrícola brasileira. Suas linhas de crédito específicas e a adoção de práticas sustentáveis contribuíram para a promoção do desenvolvimento sustentável no setor agropecuário do país.

Palavras-chave: Agricultura; Sustentabilidade; Emissões; Economia de baixo carbono.

JEL: Q10, Q14, Q20.

ABSTRACT

Brazilian agriculture has played a crucial role in sustainable development since the 1990s, driven by various significant events. The United Nations Conference on Environment and Development, known as the Rio-92, marked a significant milestone in this context. Additionally, the release of satellite imagery enabled better monitoring and reduction of deforestation rates in the Amazon region. During this period, the Forest Code was implemented, establishing guidelines for the preservation of native vegetation areas, and the Low Carbon Agriculture Program (Programa ABC) was created. The Programa ABC aims to promote sustainable production practices through specific financial credit lines. This study seeks to assess the impact of the Programa ABC on greenhouse gas (GHG) emissions in agricultural production. A synthetic control model was used, comparing Brazil (treated group) with the rest of the world (control group) from 2000 to 2019. The results indicated a positive impact of the program on GHG emissions after its implementation. It is estimated that if Brazil had not adopted the Programa ABC, emissions would be 27.15 percentage points higher. Additional analyses based on reliable statistical methods (Firpo, Possebom, 2018) confirm the results obtained using the methodology developed by Abadie, Diamond, and Hainmueller (2010), providing further support to the study's conclusions. In summary, the Programa ABC has played an important role in reducing GHG emissions in Brazilian agricultural production. Its specific credit lines and the adoption of sustainable practices have contributed to the promotion of sustainable development in the country's agricultural sector.

Keywords: Agriculture; Sustainability; Emissions; Low carbon economy.

JEL: Q10, Q14, Q20.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da Taxa de Desmatamento (km ²) da Amazônia Legal	14
Figura 2 – Linha temporal do Plano ABC.....	15
Figura 3 – Evolução da produção por emissões totais da agricultura: Brasil e controle sintético	28
Figura 4 - Diferença das emissões totais de GEE da agropecuária entre as unidades tratadas e os respectivos controles sintéticos.....	30
Figura 5 - Conjuntos de Confiança unilaterais para o efeito de intervenção.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução do Número de Contratos, do Valor Desembolsado, do Valor Disponibilizado pelo Programa ABC, da Taxa de Juros e a média da Taxa Selic no Ano/Safra.....	16
Tabela 2 – Mitigação do GEE na agropecuária com a adoção de tecnologias de baixa emissão de carbono do Programa ABC.....	18
Tabela 3 – Definição das variáveis utilizadas.....	24
Tabela 4 – Pesos dos países selecionados na composição controle sintético do Brasil.....	26
Tabela 5 – Médias das variáveis para o tratado, do controle sintético e da amostra dos países utilizados para composição do Controle Sintético.....	27
Tabela A1 – Países que compõem o grupo de doadores.....	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 O PLANO SETORIAL DE MITIGAÇÃO E DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA A CONSOLIDAÇÃO DE UMA ECONOMIA DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NA AGRICULTURA	13
3 ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA: AVANÇOS, DESAFIOS E IMPACTOS NA MITIGAÇÃO DO GEE	17
4 METODOLOGIA	20
4.1 CONTROLE SINTÉTICO.....	20
4.2 VARIÁVEIS, FONTE DE DADOS E AMOSTRA.....	24
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	26
5.1 CONSTRUINDO UMA VERSÃO SINTÉTICA DO BRASIL.....	26
5.2 EFEITO DO PROGRAMA ABC.....	28
5.3 TESTES DE PLACEBO E INFERÊNCIA.....	30
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	35
APÊNDICE	41

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alimentos tem impulsionado a adoção de práticas sustentáveis na agropecuária, com o intuito de conciliar a necessidade de suprimento com a preservação ambiental e a eficiência produtiva. Estudos destacam a importância de abordagens sustentáveis, tais como o manejo integrado de pragas (National Research Council, 1993) e a aplicação de técnicas de agricultura de precisão (Stafford, 2000), visando mitigar os impactos negativos no solo, na água e na biodiversidade. Além disso, a utilização de Sistemas Integrados de Produção (Balbino, Cordeiro, Martínez, 2011; Bogaerts et al., 2017; Serra et al., 2019; Chaveiro et al., 2022, como rotação de cultura; Integração Lavoura-Pecuária e Floresta; e Sistema de Plantio Direto também desempenham um papel crucial na busca por uma agricultura mais sustentável. Essas abordagens não apenas contribuem para a conservação dos recursos naturais, mas também promovem a viabilidade econômica e social da atividade agrícola.

A contínua adoção de práticas sustentáveis na agropecuária é essencial para enfrentar os desafios globais e garantir um sistema alimentar seguro, saudável e em harmonia com o meio ambiente. É crucial que todos os envolvidos na cadeia produtiva compartilhem o compromisso com a sustentabilidade, visando a prosperidade das comunidades rurais e o bem-estar do planeta como um todo. Uma constatação importante é que existe um equívoco recorrente na discussão sobre o desenvolvimento sustentável, que é a falsa oposição entre aumento da produção agropecuária e conservação ambiental. De acordo com Roco et al. (2017), é possível conciliar o aumento da produção agropecuária com a conservação ambiental por meio da adoção de práticas sustentáveis. Segundo os autores, o manejo adequado do solo, o uso eficiente de recursos hídricos, a preservação da biodiversidade e a redução de emissões de gases de efeito estufa são alguns exemplos de ações que podem ser implementadas para minimizar os impactos ambientais da atividade agropecuária, ao mesmo tempo em que têm efeitos significativos e positivos na produção agrícola e pecuária.

O agronegócio brasileiro é um dos maiores players mundiais, representando 43,07% da pauta exportadora nacional em 2021 (COMEXSTAT, 2022) e sendo responsável por aproximadamente um terço do Produto Interno Bruto (PIB) (CEPEA/ESALQ, 2022). O Brasil ocupa a segunda posição como maior exportador global de produtos agrícolas, representando 5,9% das exportações agrícolas mundiais (FAOSTAT, 2023). Destacam-se como grandes produtos agrícolas do país a soja, além da produção e exportação significativa de açúcar, etanol, carne (aves e bovinos), milho e café. A expansão do setor está muito relacionada ao aumento da demanda internacional por commodities agrícolas como a demanda chinesa por

soja, que impulsionou a produção brasileira e provocou mudanças no uso da terra (Millington et al., 2021), ao passo que o setor tem enfrentado crescente pressão da comunidade internacional, devido à preocupação com a conservação dos recursos naturais e a redução dos impactos ambientais.

No entanto, a produção agrícola e pecuária no Brasil tem acarretado problemas ambientais, como desmatamento, degradação da terra e perda de biodiversidade (FAOSTAT, 2023). Para enfrentar esses desafios, é imprescindível implementar políticas públicas embasadas em evidências que busquem o equilíbrio entre os ganhos econômicos do setor agrícola e a proteção ambiental, visando alcançar os melhores resultados.

Desde a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), em 1992, realizada no Rio de Janeiro, o agronegócio brasileiro tem buscado adequar-se às demandas de desenvolvimento socioeconômico e sustentabilidade ambiental. Esse marco importante estabeleceu diretrizes internacionais para conciliar o crescimento econômico com a preservação dos recursos naturais. Conforme apontado por Silva e Vieira Filho (2020), essa jornada de adaptação tem sido fundamental para o agronegócio brasileiro, que passou a desempenhar um papel de protagonismo no debate mundial e a desenvolver políticas públicas para reduzir os impactos ambientais da agropecuária.

Uma das primeiras políticas afirmativas nesse sentido foi o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), implementado em 2004. Com a sua operacionalização, houve uma redução significativa na taxa média anual de desmatamento, passando de aproximadamente 18.309 km² no período de 1990-2004 para cerca de 8.137 km², em 2005-2019, chegando a atingir a menor taxa de 4.517 km², em 2012 (PPCDAm, 2022). No entanto, a partir de 2019, a média anual de desmatamento voltou a subir, alcançando 13.038 km² em 2021, níveis semelhantes aos observados na primeira metade dos anos 2000 (vide Figura 1).

A principal política pública nesse sentido é o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (ABC), oriundo da 15^a Conferência das Partes (COP15), em 2009, realizada em Copenhague, Dinamarca. Nesse plano, o governo brasileiro se comprometeu a reduzir entre 36,1% e 38,9% das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) até 2020 (Silva, Vieira Filho, 2020). Essa política se tornou um importante instrumento de conscientização para o setor agropecuário, promovendo o uso de práticas produtivas sustentáveis. Entretanto, são poucos os estudos que buscam isolar o impacto específico do Plano ABC.

A maioria das avaliações propostas até então não se propõem em isolar o efeito causal da política, limitando-se a análises de correlação, como em Leal (2016), Wander, Tomaz

e Pinto (2016) e Gianetti (2017); análise exploratória dos dados de aporte do programa, conforme desenvolve Liell et al. (2018) e Telles e Righetto (2019); ou mesmo informações gerais postas pelos relatórios disponibilizados pelo Observatório do Plano ABC. A única exceção é Silva e Vieira Filho (2020) que buscaram avaliar o programa, a partir da utilização do método de Controle Sintético, entretanto, os autores encontraram um efeito negativo da política, indo de encontro à literatura que aborda o tema, além de fazer escolhas metodológicas que mereciam mais cuidados, principalmente na seleção do donor pool e das covariadas escolhidas. Ademais, salienta-se que todos esses documentos são importantes para o entendimento das questões associadas à distribuição dos recursos concedidos pelo Programa ABC aos produtores rurais, mas que pouco explicam a contribuição do programa para a mitigação de GEE. Assim, o presente estudo busca suprir essa lacuna, avaliando o impacto (ou efeito causal) do Plano ABC sobre a produção por emissões de GEE.

No intuito de contornar esse obstáculo, utilizou-se o método de Controle Sintético. A metodologia foi desenvolvida por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010), com as contribuições de Firpo e Possebom (2018), para casos em que a intervenção ocorra em uma unidade agregada, como países e Estados. Diferente do método de diferenças em diferenças convencional, a ideia principal da metodologia citada é a construção, a partir de um conjunto de unidades agregadas não tratadas (donor pool), de um grupo de controle similar à unidade tratada antes de a intervenção (política) ter ocorrido. É nesse esforço que se encontra a maior contribuição do presente estudo para a literatura.

Este artigo será dividido em 6 seções distintas, sendo esta uma breve introdução inicial. A segunda seção tem como propósito explicar o Programa ABC, abordando suas características fundamentais e seus objetivos principais. Na terceira seção, será feita uma análise da literatura, abrangendo tanto o impacto da intensificação produtiva na redução das emissões de gases de efeito estufa na agricultura, quanto a eficácia do Programa ABC. A quarta seção traz à tona o método de controle sintético e a base de dados utilizada no estudo. A quinta seção realiza a avaliação dos resultados principais da metodologia, assim como testes de inferência. Por fim, a última seção trata sobre as considerações finais.

2 O PLANO SETORIAL DE MITIGAÇÃO E DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA A CONSOLIDAÇÃO DE UMA ECONOMIA DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NA AGRICULTURA

O Brasil, no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), estabeleceu um nível de referência de emissões em 2009 (Vieira Filho, 2018; Silva; Vieira Filho, 2020). Os compromissos apresentados foram baseados na redução do desmatamento e na adoção de práticas produtivas sustentáveis, como Integração Produtiva, Plantio Direto e Fixação Biológica de Nitrogênio, além da expansão da eficiência energética e do uso de biocombustíveis.

No âmbito das ações do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil lançou o “Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura” (Plano ABC), em 2010. Essa iniciativa governamental tem como objetivo promover o desenvolvimento de práticas sustentáveis na agricultura, visando a redução das emissões de gases de efeito estufa e a adaptação às mudanças climáticas.

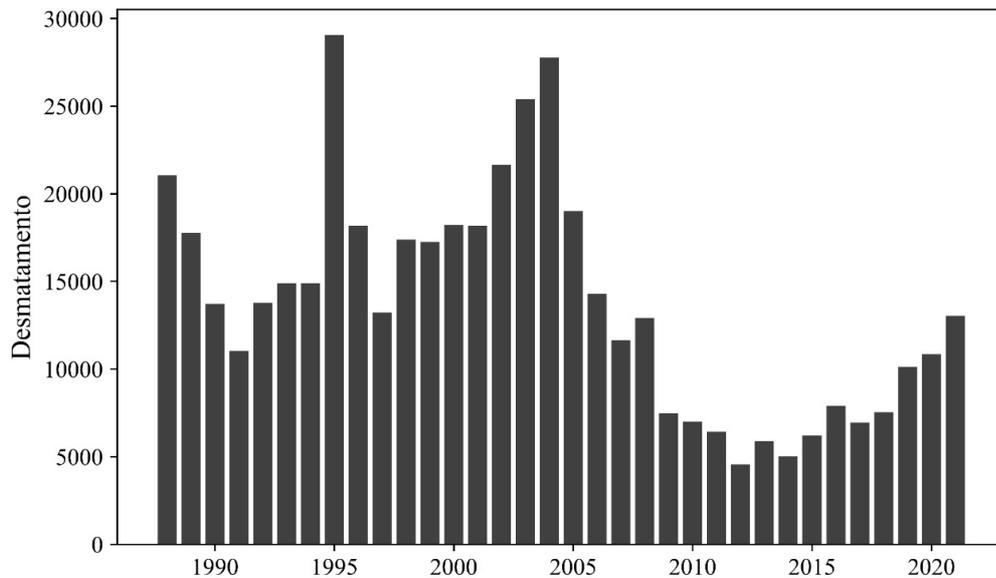
O Programa ABC, voltado para o financiamento de práticas de produção sustentável, foi instituído pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), inicialmente disponibilizando R\$ 2 bilhões no Plano Agrícola e Pecuário 2010/2011, ampliando para R\$ 3,15 bilhões no período 2011/2012. No entanto, a aceitação inicial do programa foi lenta, com poucos projetos aprovados no primeiro ano e um desembolso inferior a 25% do total de recursos disponibilizados. Em 2014/2015, ocorreu um significativo aumento nos desembolsos, totalizando cerca de R\$ 3,6 bilhões, e no número de contratos, ultrapassando 8 mil. Desde 2010 até julho de 2022, todos os projetos aprovados resultaram em empréstimos no valor superior a R\$ 25,25 bilhões (Observatório da agropecuária brasileira, 2022). Em 2012, a Lei n.12651 instituiu o novo “Código Florestal” no Brasil, estabelecendo normas gerais para a proteção da vegetação nativa, a exploração florestal, o controle e prevenção dos incêndios florestais, além de instrumentos econômicos e financeiros para a produção sustentável. Esse arcabouço jurídico teve o propósito de orientar e disciplinar o uso da terra e a conservação dos recursos naturais.

Durante a COP21 em Paris, em 2015, o compromisso assumido pelo Brasil no âmbito do Programa ABC foi convertido em Contribuição Nacional Determinada (CND). Na COP22 em Marrakesh, em 2016, foi proposta a redução de 37% das emissões de GEE até 2025 e de 43% até 2030, em relação às emissões de 2005. Essas metas visavam principalmente à

redução do desmatamento na Amazônia e no Cerrado, o aumento da participação de bioenergia na matriz energética, o fortalecimento do cumprimento do Código Florestal, a expansão do uso de energias renováveis e a recuperação de pastos degradados.

As mudanças de governo e as trocas de gestão impuseram desafios de continuidade e alinhamento das ações do Plano ABC após 2018, mas também ofereceram oportunidades para revisar e aprimorar suas diretrizes. No entanto, é identificado um dismantelamento de órgãos ambientais durante o governo Bolsonaro, o que resultou em mudanças nas estruturas e no funcionamento do IBAMA e do ICMBio, levantando preocupações sobre o enfraquecimento da fiscalização e da proteção ambiental. Esse processo foi acompanhado por um aumento no desmatamento, conforme evidenciado na Figura 1. Após uma queda nos anos anteriores, a média anual de desmatamento voltou a subir a partir de 2019, atingindo 13.038 km² em 2021, níveis semelhantes aos observados na primeira metade dos anos 2000.

Figura 1: Evolução da Taxa de Desmatamento (km²) da Amazônia Legal.¹



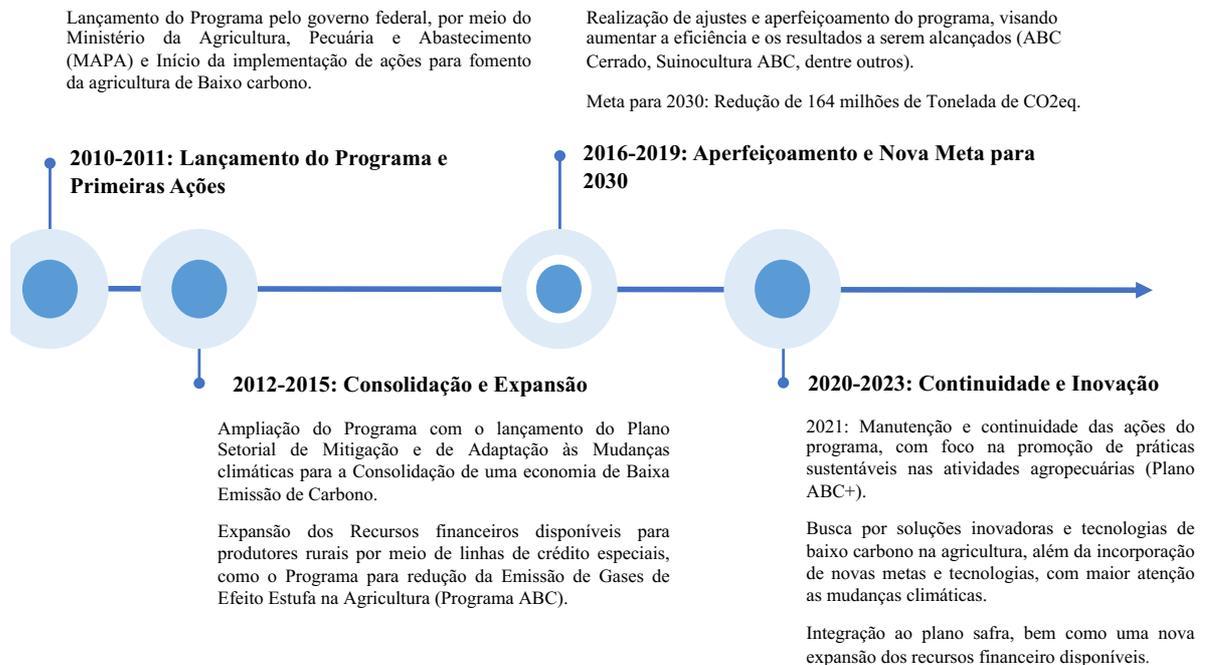
Fonte: TerraBrasilis, PRODES, INPE, 2021.

A partir de 2019, o Programa ABC continuou sendo implementado, com avanços e desafios relacionados à sua execução. O Valor Disponibilizado pela linha de crédito apresentou sucessivos aumentos. Houve uma gradual integração com outras políticas e programas voltados para a agricultura sustentável e a mitigação das mudanças climáticas, culminando em 2023, com o anúncio do novo Plano Safra, que tem como base o Plano ABC. O Plano deixará de ser apenas um dos programas e se tornará o próprio Plano Safra, valorizando

¹ Plataforma TerraBrasilis do INPE: <http://www.terraBrasilis.dpi.inpe.br/>

as boas práticas de sustentabilidade na agropecuária. Essa mudança representa uma nova abordagem e direção para o Plano Safra. O histórico do Plano ABC pode ser resumido na Figura 2.

Figura 2: Linha temporal do Plano ABC.



Fonte: Elaboração Própria.

A Tabela 1 apresenta dados relacionados ao Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), destacando os valores de contratos, valor desembolsado, valor disponibilizado pela linha de crédito, taxa de juros e média da taxa Selic ao longo das diferentes safras no Brasil. Durante a safra 2010/11, o Plano ABC registrou 1.290 contratos, com um valor desembolsado de R\$ 0,418 bilhões e um valor disponibilizado pela linha de crédito de R\$ 2 bilhões. A taxa de juros era de 5,5%, enquanto a média da taxa Selic era de 11,3%. Nesse período, o Brasil estava em um contexto de crescimento econômico, com destaque para o setor agrícola, impulsionado principalmente pela produção de grãos e commodities. Vale salientar que a taxa de juros praticada pelo programa permaneceu majoritariamente abaixo de 6%, enquanto a média da taxa básica de juros sempre foi mais alta. No entanto, a partir da safra 2016/2017, essas taxas começaram a convergir, tornando o crédito subsidiado cada vez menos atrativo.

Gasparini et al. (2017) apresentaram diversos entraves na concessão do crédito do Programa ABC. Os produtores rurais, pesquisados no Mato Grosso, tiveram dificuldades na

captação de recursos financeiros pela linha ABC por diversas razões, como: a falta de conhecimento dos agentes bancários envolvidos; o pouco interesse das instituições financeiras em financiar esse tipo de crédito; a alta burocracia; o excesso de exigências na comprovação do custeio; dentre outras, que vão de encontro com os esforços governamentais de ampliar o acesso aos recursos disponíveis. O impacto dessas dificuldades foi que, segundo Gasparini et al. (2017), dos 3 bilhões de reais disponibilizados para as linhas de crédito do Programa ABC para todo o Brasil, apenas 74,6% foram acessados pelos produtores.

Tabela 1: Evolução do Número de Contratos, do Valor Desembolsado, do Valor Disponibilizado pelo Programa ABC, da Taxa de Juros e a média da Taxa Selic no Ano/Safra.

Ano/Safra	Contratos	Valor Desembolsado (R\$ em bilhões)	Valor Disponibilizado pela linha de crédito (R\$ em bilhões)	Taxa de Juros (%)	Média da Taxa Selic (%)
2010/11	1.290	0,418	2,000	5,5	11,3
2011/12	5.038	1,516	3,150	5,5	10,8
2012/13	4.961	2,865	3,400	5,0	7,5
2013/14	5.882	2,695	4,500	5,0	9,9
2014/15	8.018	3,656	4,500	5,0	12,0
2015/16	3.344	2,052	3,000	8,0	14,2
2016/17	1.808	1,221	2,990	8,5	13,0
2017/18	2.460	1,618	2,130	7,5	7,6
2018/19	3.081	1,6	2,000	6,00 e 5,25 a.a	6,4
2019/2020	3.771	2,04	2,96	5,25 e 7,00 a.a	4,59
2020/2021	4.409	2,18	2,5	4,50 e 6,00 a.a	2,28
2021/2022	3.863	3,39	6,19	7 e 8,25%	8,73
Total Geral	34.271	17,306	27,670		

Fonte: MAPA (2023), Banco Central do Brasil (2023) e Observatório da Agropecuária Brasileira (2023).

Esses entraves explicam o motivo de o Programa ABC estar aquém em algumas das metas a serem atingidas até 2020 (Telles, Righetto, 2019). A recuperação de pastagens degradadas se apresenta como um problema central, tendo a maior parte delas situada no Cerrado nordestino, onde se inclui o estado do Tocantins e o Nordeste litorâneo (Observatório ABC, 2017). Segundo o MAPA (2020), a maior parte dos aportes da política situa-se no Sudeste e no Centro-Oeste, mudando apenas em 2017, quando o número de contratos do Norte superou o apresentado no Centro-Oeste. No entanto, pouco houve alteração nos níveis de contratos do Nordeste. Caso a estratégia do Programa ABC seja de “livre alocação”, ou seja, a recuperação de pastagens a nível nacional, independentemente de as áreas recuperadas serem prioritárias ou não, alcançaria uma redução de emissões de GEE entre 32% e 39% da meta total de redução, já que não se beneficiaria do efeito “poupa-terra” e do potencial de sequestro de carbono das áreas onde há mais pastagens degradadas (Observatório ABC, 2017).

3 ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA: AVANÇOS, DESAFIOS E IMPACTOS NA MITIGAÇÃO DO GEE

A mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) na agropecuária é um desafio global devido ao seu impacto no aquecimento global. Nesse contexto, o Programa ABC se destaca como uma iniciativa importante no Brasil, estabelecendo metas e incentivando a adoção de tecnologias de baixa emissão de carbono. A análise dos resultados da interpolação de dados entre o Censo Agropecuário de 2006 e 2017, conduzida por Telles e Righetto (2019) e apresentada na Tabela 2, revela a expansão e os impactos das tecnologias do Programa ABC, como Recuperação de Pastagem, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), Sistema Plantio Direto, Florestas Plantadas e Fixação Biológica de Nitrogênio. As informações sobre a porcentagem atingida em relação às metas estabelecidas e a estimativa de mitigação alcançada por cada tecnologia fornecem insights importantes para compreender os avanços, desafios e potenciais da agricultura de baixa emissão de carbono no contexto brasileiro.

As metas estipuladas para a adoção das diferentes tecnologias foram atingidas em diferentes proporções (Tabela 2). A recuperação de pastagem atingiu aproximadamente 30% da meta, enquanto a iLPF superou a meta, alcançando 177,5% do estipulado. O Sistema Plantio Direto atingiu 119,38% da meta, as Florestas Plantadas alcançaram cerca de 80% e a Fixação Biológica de Nitrogênio excedeu amplamente a meta, com 210,91%. Além disso, a tabela apresenta a porcentagem atingida em relação ao limite inferior do potencial de mitigação estimado para cada tecnologia. Nesse sentido, a recuperação de pastagem alcançou cerca de 20% do potencial, a iLPF aproximou-se de 150%, o Sistema Plantio Direto registrou cerca de 30%, as Florestas Plantadas atingiram aproximadamente 55%, e a Fixação Biológica de Nitrogênio superou significativamente o potencial estimado, com cerca de 212%.

Esses resultados indicam que o Programa ABC tem promovido avanços na expansão das tecnologias de baixa emissão de carbono na agropecuária brasileira, mas ainda existem desafios para atingir plenamente as metas estabelecidas e explorar todo o potencial de mitigação das emissões de GEE. As tecnologias iLPF e Fixação Biológica de Nitrogênio se destacam pelos resultados positivos e superação das metas. A análise da efetividade das tecnologias adotadas e suas contribuições para a mitigação das emissões de GEE é fundamental para orientar futuras políticas e iniciativas voltadas à sustentabilidade e à redução dos impactos ambientais na agricultura do país.

Observa-se que algumas práticas do Programa ABC superaram as metas estabelecidas, como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e a Fixação Biológica de Nitrogênio, indicando sua efetividade e uma possível maior conscientização e adoção por parte dos produtores. No entanto, a recuperação de pastagem ficou abaixo da meta devido a desafios técnicos e econômicos enfrentados pelos produtores rurais ao implementar essa prática. Quanto ao Sistema Plantio Direto e as Florestas Plantadas, embora tenham atingido uma porcentagem razoável em relação às metas, também ficaram abaixo do limite inferior do potencial de mitigação, o que pode indicar a necessidade de mais incentivos e suporte para sua adoção em larga escala.

Em resumo, os dados da Tabela 2 destacam o progresso e os resultados obtidos com a adoção de tecnologias de baixa emissão de carbono do Programa ABC na agropecuária brasileira. Eles evidenciam a importância das práticas sustentáveis para a mitigação das emissões de GEE e indicam possíveis causas para a superação ou não das metas, fornecendo informações relevantes para o aprimoramento das políticas e ações voltadas à agricultura de baixa emissão de carbono no país.

Tabela 2: Mitigação do GEE na agropecuária com a adoção de tecnologias de baixa emissão de carbono do Programa ABC.

Tecnologia	Recuperação de Pastagem	iLPF	Sistema Plantio Direto	Florestas Plantadas	Fixação Biológica de Nitrogênio	Total
Metas do Programa ABC						
Compromissos (ha milhões)	15,00	4,00	8,00	3,00	5,50	35,50
Potencial de mitigação (milhões de Mg CO ₂ equivalente)	83 a 104	18 a 22	16 a 20	8 a 10	10	135 a 166
Expansão da adoção da tecnologia						
Área total (ha milhões)	26,19	12,61	32,90	8,48	35,80	115,34
Expansão da adoção no período (há milhões)	4,46	7,10	9,55 ¹	2,39 ¹	11,60	35,10
Período considerado	2010 a 2018	2010 a 2016	2010 a 2017	2010 a 2017	2010 a 2018	
Porcentagem (%) atingida em relação à meta no período	29,73	177,5	119,38	79,67	210,91	98,87
Estimativas da mitigação						
Fator emissão (Mg CO ₂ equivalente ha ⁻¹ ano ⁻¹)	3,79	3,79	0,50	1,83	1,83	
Mitigação (milhões de Mg CO ₂ equivalente)	16,90	26,91	4,78	4,37	21,23	74,19
Porcentagem (%) atingida em relação ao limite inferior do potencial de mitigação da meta	20,36	149,50	29,88	54,63	212,30	54,96

Fonte: Telles e Righetto (2019, p.107).

Notas: ¹Resultado da interpolação de dados entre o Censo Agropecuário 2006 e 2017.

Segundo Gil, Garrett e Berger (2016), os produtores enfrentam incertezas ao decidir adotar as práticas produtivas contempladas pelo programa. Embora o subsídio inicialmente promova a adoção das práticas, ao longo dos anos ele se torna menos atrativo. A evolução das taxas de juros, número de contratos e valores aplicados, conforme apresentado na Tabela 2, também contribui para compreender o contexto do programa ao longo do tempo.

Uma crítica ao Programa ABC, conforme apontado por Carauta et al. (2018), é a falta de especificação clara nas documentações oficiais sobre o que seria considerado ou não um sistema iLPF. Essa falta de clareza pode levar a decisões inconsistentes na concessão de crédito, uma vez que a decisão é determinada pelos gerentes dos bancos locais credenciados, que geralmente não possuem capacitação adequada para realizar esse diagnóstico.

As práticas mencionadas são comprovadamente eficazes na mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). O sequestro de carbono por meio da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) é destacado por diversos estudos como em Balbino, Cordeiro e Martínez (2011), Bogaerts et al. (2017), Serra et al. (2019), Mazatto et al. (2020) e Silva et al. (2021). Além disso, a restauração de pastagens é apontada como a medida mais promissora para mitigar o impacto setorial da pecuária de corte e leiteira sobre as mudanças climáticas (Oliveira Silva, 2017; Silva et al., 2021).

Já o Sistema de Plantio Direto (SPD) também contribui para o aumento do teor de matéria orgânica no solo, ampliando o potencial de sequestro de carbono (Teles, Rogheto, 2019; Observatório do Plano ABC, 2017; Teles, Vieira Filho, Righeto, 2021; Crespo et al., 2022). A adoção da iLPF, juntamente com práticas de rotação e sucessão de culturas em conjunto com o SPD, em diversos biomas, resulta em um maior incremento nos estoques de carbono no solo em comparação com áreas onde o SPD é utilizado isoladamente, ressaltando o potencial do SPD para o sequestro de carbono no Cerrado (Carvalho et al., 2010; Balbino et al., 2011; Chaveiro et al., 2022).

4 METODOLOGIA

4.1 CONTROLE SINTÉTICO

Neste artigo, aplica-se o método de controle sintético – desenvolvido por Abadie e Gardeazabal (2003) e estendido em Abadie, Diamond e Hainmueller (2010). Sob essa abordagem, uma combinação ponderada de países de potencial comparação – o controle sintético – é construída para aproximar as características mais relevantes do país afetado pela intervenção. Depois do início do mandato em questão e transição para um governo mais autoritário, a metodologia pode ser usada para estimar a situação contrafactual desse país na ausência do fato em questão, observando a tendência de resultado do controle sintético.

De forma a sumarizar o método, é útil raciocinar em termos de possíveis resultados em uma configuração de dados em painel. Suponha que observamos um painel de $I_C + 1$ países durante T períodos. Somente o país i recebe determinada intervenção no momento $T_0 < T$, enquanto os demais I_C potenciais países do controle permanecem sem a intervenção. O efeito do tratamento para o país i no momento t pode ser definido como:

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

em que $Y_{it}(T)$ representa o resultado potencial associado a $T \in \{0,1\}$, i.e., o PIB real per capita, por exemplo, dependendo se a economia sofreu ou não a intervenção. A estimativa de interesse é o vetor de efeitos de tratamento dinâmico $(\tau_{i,T_0+1}, \dots, \tau_{i,T})$. Para qualquer período $t > T_0$, a estimativa do efeito do tratamento é complicada pela ausência do contrafactual $Y_{it}(0)$. Abadie et al. (2010) mostram como identificar os efeitos dinâmicos do tratamento acima, sob o seguinte modelo geral para possíveis resultados:

$$Y_{jt}(0) = \delta_t + v_{jt} \quad (2)$$

$$Y_{jt}(1) = \delta_t + \tau_{jt} + v_{jt} \quad (3)$$

$$v_{jt} = Z_j \theta_t + \lambda_t \mu_j + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

onde Z_j é um vetor de variáveis observadas relevantes que não são afetadas pela intervenção, podendo facultativamente variar no tempo; θ_t é um vetor de parâmetros; μ_j é uma especificidade não observada do país; λ_t é um fator comum desconhecido; e ε_{it} são choques transitórios com média zero.

No presente contexto, como todas as variáveis em Z_j se referem ao período anterior ao tratamento, a suposição de que elas não são afetadas por este significa que precisamos descartar os efeitos de “antecipação”, ou seja, que essas variáveis mudam imediatamente em resposta à antecipação da intervenção futura. Curiosamente, o modelo acima

permite que o impacto da heterogeneidade não observável do país varie com o tempo, enquanto, pelo contrário, a especificação usual diff-in-diff (efeitos fixos) impõe que λ_t seja constante ao longo do tempo.

Defina $W = (\omega_1, \dots, \omega_{I_C})'$ como um vetor ($I_C \times 1$) genérico de pesos, tal que $\omega_j \geq 0$ e $\sum \omega_j = 1$. Cada valor de W representa um potencial controle sintético para o país i . Ainda, defina $\bar{Y}_j^k = \sum_{s=1}^{T_0} k_s Y_{js}$ como uma combinação linear genérica de resultados pré-tratamento. Abadie et al. (2010) mostram que, desde que seja possível escolher W^* tal que

$$\sum_{j=1}^{I_C} \omega_j^* \bar{Y}_j^k = \bar{Y}_i^k \quad \text{e} \quad \sum_{j=1}^{I_C} \omega_j^* Z_j = Z_i, \quad (5)$$

então

$$\hat{\tau}_{it} = Y_{it} - \sum_{j=1}^{I_C} \omega_j^* Y_{jt} \quad (6)$$

é um estimador não viesado de τ_{it} . A condição (5) vale exatamente apenas se (\bar{Y}_i^k, Z_i) pertencer a uma combinação convexa de $[(\bar{Y}_1^k, Z_1), \dots, (\bar{Y}_{I_C}^k, Z_{I_C})]$. Portanto, o controle sintético W^* é selecionado de forma que a condição (5) assegure aproximadamente que a distância entre o vetor das características de pré-tratamento do país tratado e o vetor das características de pré-tratamento do potencial controle sintético seja minimizada em relação a W^* e de acordo com para uma métrica especificada. O desvio da condição (5) imposto por esse processo de implementação, no entanto, pode ser avaliado nos dados, e deve ser mostrado como um resultado complementar da análise.

Em palavras, o algoritmo de controle sintético estima a falta de contrafactual como uma média ponderada dos resultados de potenciais países de comparação. Os pesos são escolhidos para que o resultado do pré-tratamento e as covariáveis do controle sintético sejam, em média, muito semelhantes aos do país tratado. Essa abordagem traz vantagens evidentes de transparência (como os pesos W^* identificam os países que são usados para estimar o resultado contrafactual do país que recebeu o tratamento) e flexibilidade (uma vez que um conjunto de potenciais controles de I_C podem ser aproximadamente restritos para tornar as comparações entre os países subjacentes mais sensata). Além disso, a metodologia de controle sintético baseia-se em premissas de identificação mais fracas do que as exigidas pelos estimadores comumente aplicados na literatura. Como discutido acima, enquanto os modelos de painel padrão só podem controlar fatores invariantes no tempo (efeitos fixos) ou que compartilhem

uma tendência comum (diff-in-diff), o modelo especificado na equação (4) permite que o efeito de fatores não observáveis possa variar no tempo.

A única limitação da metodologia de controle sintético é que ele não permite avaliar a significância dos resultados usando técnicas inferenciais padrão (amostra grande), pois o número de unidades no conjunto de controle e o número de períodos cobertos pela amostra são geralmente bastante pequenos em estudos de caso comparativos como o nosso. Como sugerido por Abadie, Diamond e Hainmueller (2010), no entanto, experimentos com placebo podem ser implementados para extrair inferência.

Estes consistem na aplicação de controle sintético a todos os países do conjunto de doadores em potencial; isso visa avaliar se o efeito estimado para o país tratado é grande em relação ao efeito para um país escolhido aleatoriamente. Em particular, o teste placebo compara o efeito estimado do tratamento para o país sob investigação com todos os efeitos (falsos) do tratamento dos países de controle, obtidos em experimentos em que se supõe que cada país de controle tenha a mesma intervenção no mesmo ano do país tratado. Se o efeito estimado no país tratado for maior que o da maioria dos experimentos (falsos), é possível concluir com segurança que os resultados para o país que sofreu a intervenção não são apenas conduzidos por acaso. De outro lado, se a distribuição dos efeitos placebo forem tão grandes quanto o efeito da unidade verdadeiramente tratada, deve-se atribuir uma alta probabilidade de que o efeito tenha ocorrido por acaso. Este teste não paramétrico tem a vantagem de não impor nenhuma distribuição de erros.

Formalmente, se $\hat{\alpha}_{jt}^{PL} = \{\hat{\alpha}_{jt}: j \neq 1\}$ é a distribuição dos efeitos placebo (PL). Então o p-valor de um efeito estimado $\hat{\alpha}_{1t}$ é o seguinte:

$$\begin{aligned} p - \text{valor} &= \Pr(|\hat{\alpha}_{jt}^{PL}| \geq \hat{\alpha}_{1t}) \\ &= \frac{\sum_{j \neq 1} \mathbb{1}(|\hat{\alpha}_{jt}^{PL}| \geq \hat{\alpha}_{1t})}{J} \end{aligned} \quad (7)$$

O p-valor é interpretado como a proporção das unidades do grupo de controle que têm um efeito estimado pelo menos tão grande (em valor absoluto) quanto a unidade tratada. É importante notar que as inferências usando esses p-valores podem ser excessivamente conservadoras, uma vez que os efeitos do placebo podem ser grandes nos casos em que um bom ajuste no período de pré-tratamento não é alcançado para as demais unidades dos testes placebo (ou seja, um bom controle sintético não é alcançado).

O estudo realizado por Firpo e Possebom (2018) aborda a avaliação dos efeitos causais de intervenções em séries temporais de dados, considerando diferentes especificações

do modelo e garantindo a confiabilidade das estimativas. Eles apresentam uma metodologia detalhada que utiliza o método de controle sintético em conjunto com a construção de intervalos de confiança.

A metodologia proposta pelo artigo é dividida em várias etapas essenciais:

Identificação do grupo de tratamento: Nesta etapa, é selecionado o grupo de observação que foi submetido à intervenção e cujo efeito causal se pretende estimar.

Seleção de variáveis de controle: Um conjunto adequado de variáveis de controle é escolhido para explicar a dinâmica temporal da série do grupo de tratamento.

Construção do grupo de controle sintético: O grupo de controle sintético é formado por uma combinação de observações de diferentes unidades de controle, com o objetivo de criar uma série temporal que represente o grupo de tratamento antes da intervenção.

Estimativa do efeito causal: Uma vez que o grupo de controle sintético é construído, o efeito causal da intervenção pode ser estimado comparando a série temporal do grupo de tratamento após a intervenção com a série temporal do grupo de controle sintético, seguindo uma abordagem semelhante à de Abadie, Diamond e Hainmueller (2010).

Análise de sensibilidade: Realiza-se uma análise de sensibilidade para avaliar como diferentes especificações do modelo podem influenciar os resultados e a confiabilidade das estimativas de efeito causal.

Construção de conjuntos de confiança: São criados conjuntos de confiança para as estimativas de efeito causal do Controle Sintético, fornecendo informações adicionais sobre a incerteza associada a essas estimativas.

A inversão das estatísticas de teste de permutação permite construir conjuntos de confiança uniformes para a função de efeito de tratamento com pesos iguais em todas as unidades observadas. Usando a metodologia proposta pela primeira vez em Firpo e Possebom (2018), calcula-se os conjuntos de confiança para o efeito do tratamento considerando funções que se desviam do efeito do tratamento estimado por um fator aditivo e constante e que não são rejeitados pelo teste placebo.

Conforme apresentado na Figura 4, embora não se possa rejeitar os efeitos do tratamento que são inicialmente negativos, a função de efeito do tratamento no conjunto de confiança torna-se significativamente negativa ao longo do tempo no longo prazo, demonstrando a efetividade do Programa ABC. Uma rápida avaliação visual mostra que essa significância ocorre por volta do 9º ano em diante após a implementação da política.

O trabalho de Firpo e Possebom (2018) faz importantes contribuições para a literatura, ao fornecer uma análise abrangente e detalhada do método de controle sintético, bem

como orientações sobre como implementá-lo e interpretar seus resultados. Desta feita, utiliza-se neste estudo a metodologia básica desenvolvida por Abadie, Diamond e Hainmueller (2010), juntamente com os avanços realizados por Firpo e Possebom (2018).

4.2 VARIÁVEIS, FONTE DE DADOS E AMOSTRA

As fontes de dados utilizadas neste estudo foram três: 1) Para as informações da agropecuária praticada em cada país, foram utilizados dados do ERS-USDA, Economic Research Service do United States Department of Agriculture. 2) As estimativas de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) para o setor agropecuário foram retiradas da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO). 3) Quanto aos dados referentes ao Produto Interno Bruto (PIB) per capita e ao crescimento populacional, foram utilizados dados da Penn World Table (PWT 10.01).

No presente estudo, a variável de interesse foi o total das emissões do setor agropecuário de cada país i no tempo t , normalizada para o ano da intervenção, seguindo a estratégia de Abadie e Gardeazabal (2003), que adotaram o mesmo procedimento. Foram escolhidas variáveis tipicamente utilizadas para a caracterização da agropecuária em um país, como as Emissões Totais do setor Agropecuário (CO₂ eq.), além da Produtividade Total dos Fatores e Capital por Trabalho, ambas relacionadas ao setor agropecuário. Também foram incluídas variáveis comuns em outros estudos, como o Crescimento da Produção Agropecuária, PIB per capita e Crescimento Populacional (Tabela 3).

Tabela 3: Definição das variáveis utilizadas.

Variáveis	Período disponível	nº países doadores	Fonte
Emissões totais – CO ₂ equivalente ¹	1980-2019	133	FAO
Produtividade total dos fatores ¹	1980-2019	133	ERS-USDA
Capital/Trabalho ¹	1980-2019	133	ERS-USDA
Crescimento do PIB ¹	1980-2019	133	ERS-USDA
PIB per capita	1980-2019	133	PWT 10.01
Crescimento populacional	1981-2019	133	PWT 10.01

Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Variável sintetizada apenas para o setor agropecuário.

O período de análise abrangeu de 1980 a 2019, com T_0 sendo $1980 \leq T_0 < 2010$, representando o período de pré-tratamento. A escolha de iniciar a série em 1980 se deve à disponibilidade de dados. Quanto à data final da pré-intervenção ser 2009, isso ocorreu porque

o Brasil assumiu compromissos na COP15 e promulgou a Política Nacional de Mudança do Clima, ambos em 2009, sendo 2010 o primeiro ano de atuação do programa ABC.

Quanto à estratégia de seleção das unidades para a construção do grupo de doadores (donor pool), optou-se por incluir todos os países presentes na amostra da pesquisa. A partir disso, foi feita uma extensa revisão de literatura para identificar se fazia sentido ou não os países com doações (pesos) representativas estarem presentes no grupo de doadores. A lista de países que compõem o conjunto de doares é apresentada na Tabela A1, no Anexo.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 CONSTRUINDO UMA VERSÃO SINTÉTICA DO BRASIL

A partir da metodologia apresentada, foi construído um Brasil sintético com pesos que melhor reproduzem as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do setor agropecuário no período pré-intervenção. A Tabela 4 apresenta os pesos de cada país selecionado para compor o grupo de doadores (donor pool) e contribuir para a versão sintética brasileira. Foram escolhidos sete países do total disponível em ordem de importância de contribuição: Mianmar, Laos, Bahrein, Brunei Darussalam, Hungria e Albânia.

Tabela 4: Pesos dos Países Selecionados na Composição Controle Sintético do Brasil.

Países Selecionados	Porcentagem
Mianmar	45,1
Laos	21,3
Bahrein	19,6
Brunei Darussalam	6,8
Noruega	2,9
Hungria	2,3
Albânia	2,0
Ajuste do modelo pré-intervenção	
RMSPE	1,42%
Razão MPI	-0,00
Inferência do Controle Sintético: teste de permutação	
<i>Razão RMSPE</i>	<i>11,59</i>
p-valor: RMSPE	0,02

Nota: As colunas mostram o peso atribuído a cada país nos controles sintéticos para o Brasil. Cada coluna inclui um controle sintético para uma variável de resultado diferente. A razão MPI indica o erro médio da previsão pré-intervenção dividido pelo valor médio da variável dependente pré-intervenção: quanto menor, melhor o ajuste. A raiz do erro de previsão quadrático médio (RMSPE) também são apresentadas para a variável de interesse.

Com relação aos países que mais contribuíram para a construção do Brasil sintético, realizou-se uma extensa revisão de literatura para verificar se algum deles sofreu alguma intervenção semelhante ao Plano ABC. Dos países que compõem 86% do controle sintético, destacam-se Mianmar, Laos e Bahrein. Segundo Amjath-Babu, Aggarwal e Vermeulen (2017), não foram encontrados projetos ou fontes de financiamento para adaptação da produção agropecuária visando à mitigação das emissões de GEE em Mianmar (antiga Birmânia). Em relação a Laos, o estudo de Lamba, Gupta e Dzever (2020) afirma que o governo do país não apresenta sinalizações de alinhar sua produção agropecuária aos objetivos de desenvolvimento sustentável, conforme o acordo de Paris.

Quanto ao Bahrein, Djoundourian (2021) destaca que o país não possui nenhuma política pública que subsidie práticas de produção mitigadoras de emissões de GEE. Já no caso da Hungria, Muhamed et al. (2021) apontam que, embora as áreas agricultáveis representem 50% do território do país, o setor agropecuário não tem sido alvo de políticas de mitigação, priorizando-se a implementação de medidas em outros setores, como indústria e energia. Como resultado dessa negligência, os autores identificam uma tendência de crescimento das emissões totais da agropecuária na Hungria.

Essas análises ressaltam a importância do programa brasileiro (Programa de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) e sua singularidade em relação aos países selecionados pela estratégia metodológica proposta.

A Tabela 5 compara as características de pré-intervenção do Brasil e do controle sintético, além de apresentar a média total do grupo de doadores (donor pool) selecionado. Esses valores são utilizados para a diagonal da matriz Z referentes à variável que explica a produção por emissões totais de GEE pela agricultura (ver equações 4 e 5). No geral, os resultados sugerem que o controle sintético oferece uma comparação muito melhor para o Brasil do que a média simples da amostra de países do grupo de doadores (donor pool).

O Brasil obtido por meio do controle sintético é muito semelhante ao Brasil real em todas as variáveis escolhidas preditoras pré-Programa ABC, com exceção do PIB per capita. Já, em comparação com a média dos países selecionados para participar do grupo de controle, também apenas com exceção do PIB per capita que quando comparado às covariadas do Brasil real, obteve-se média superior, não foi observada diferenças relevantes.

Tabela 5: Médias das variáveis para o Tratado, do Controle Sintético e da Amostra dos Países Utilizados para composição do Controle Sintético.

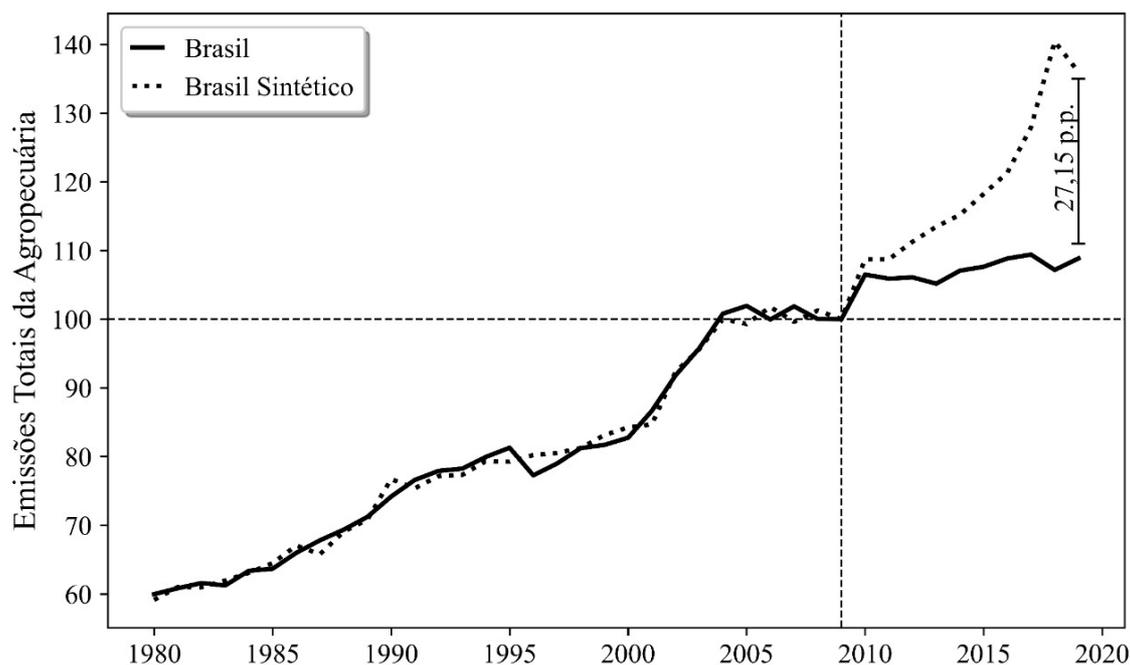
Emissões totais da Agropecuária (CO₂ equivalente)	Brasil	Brasil Sintético	Média dos países
Emissões (1980-1989)	64,50	64,33	76,03
Emissões (1990-1999)	78,73	79,03	91,27
Emissões (2000-2009)	96,16	95,89	96,21
Produtividade total dos fatores (TFP)	52,59	54,54	86,05
Capital/Trabalho (setor agropecuário)	16,43	16,42	30,75
PIB per capita (PPC US\$ 2017)	8.039,21	12.015,68	12.395,76
Crescimento do produto agropecuário	3,99%	3,95%	2,65%
Crescimento populacional	1,67%	2,08%	1,97%

Fonte: As estimativas dos autores a partir dos dados da FAO e da ERS-USDA.

5.2 EFEITO DO PROGRAMA ABC

A Figura 3 apresenta a trajetória da produção por emissões totais de GEE da agropecuária do Brasil e sua contraparte sintética para o período de 1980 a 2019. O Brasil sintético reproduz com exatidão a tendência das emissões do Brasil real durante todo período pré-intervenção. A combinação entre o ajustamento da tendência das emissões de GEE do setor agropecuário e as médias das covariadas do grupo de controle sintético demonstram que existe uma combinação de outros países que conseguem reproduzir a produção por emissões de GEE originárias da agropecuária praticada no Brasil antes do período de atuação do Programa ABC, sem a necessidade de fazer uso de outro expediente que não a utilização dos dados oferecidos pelo grupo de doadores (donor pool).

Figura 3: Evolução da produção por emissões totais da agricultura: Brasil e do controle sintético.



Nota: As emissões totais de GEE foram normalizadas para o ano da intervenção (2009=100).

A Figura 3 apresenta a trajetória da produção por emissões totais de GEE da agropecuária do Brasil e sua contraparte sintética para o período de 1980 a 2019. O Brasil sintético reproduz com exatidão a tendência das emissões do Brasil real durante todo período pré-intervenção. A combinação entre o ajustamento da tendência das emissões de GEE do setor agropecuário e as médias das covariadas do grupo de controle sintético demonstram que existe uma combinação de outros países que conseguem reproduzir a produção por emissões de GEE

originárias da agropecuária praticada no Brasil antes do período de atuação do Programa ABC, sem a necessidade de fazer uso de outro expediente que não a utilização dos dados oferecidos pelo grupo de doadores (*donor pool*).

As estimativas apresentadas do impacto do Programa ABC na tendência nas emissões de GEE provenientes da agropecuária se dá pela diferença entre o Brasil real e sua versão sintética ($\widehat{\alpha}_{it}$), apresentada na Figura 3. Quanto maior a diferença, pior é o desempenho do Brasil sintético, já que se tem um aumento do total das emissões percentuais. Os resultados apontam que, no primeiro de ano de atuação do Programa ABC, as duas trajetórias seguem no mesmo nível, entretanto, o distanciamento entre as duas aumenta paulatinamente no decorrer da série, devido à evolução das emissões do Brasil real se afastar de sua contraparte sintética. Sendo assim, já no primeiro ano de atuação do programa, percebe-se um impacto negativo na variável de interesse ($\widehat{\alpha}_{it} < 0$) e que aumenta com o tempo, i.e., a diferença entre as emissões totais da agropecuária do Brasil e do controle sintético é negativa.

A diferença entre o Brasil real e a sua contraparte sintética aumenta gradualmente ao longo dos anos, atingindo um total de 27,15 pontos percentuais (p.p.) em 2019. Em outras palavras, caso o Brasil não tivesse passado pela intervenção do Programa ABC, o total das emissões de GEE da agropecuária teria sido 27,15 p.p. maior do que o observado. Esse saldo final da política indica uma efetividade na redução das emissões no setor agropecuário brasileiro. Esse resultado pode ser atribuído ao avanço na utilização de práticas como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), o Sistema Plantio Direto (SPD) e a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), que ultrapassaram as metas estabelecidas e são conhecidas por mitigar as emissões de GEE, conforme apontado por diversos estudos (Carvalho et al., 2010; Balbino, Carneiro, Martinez, 2011; Serra et al., 2019).

Apesar dos resultados positivos, a implementação do Programa ABC no Brasil enfrenta algumas limitações e desafios. A falta de clareza nas definições das tecnologias abrangidas pelo programa e a tomada de decisão subjetiva por parte dos gerentes bancários têm dificultado a adoção dos sistemas produtivos intensivos, como apontam Carauta et al. (2018). Como sugerem Gil, Garrett e Berger (2016) e Pereira et al. (2018), para superar essas limitações, é necessário investir em educação, assistência técnica e promover uma mudança de mentalidade entre os produtores para incentivar a adoção das práticas sustentáveis preconizadas pelo programa.

Os autores ainda apontam que outro desafio identificado e que não pode ser negligenciado, é a falta de planejamento adequado na implementação do programa, especialmente em relação às áreas de cultivo de soja e pastagens degradadas. A ausência de uma

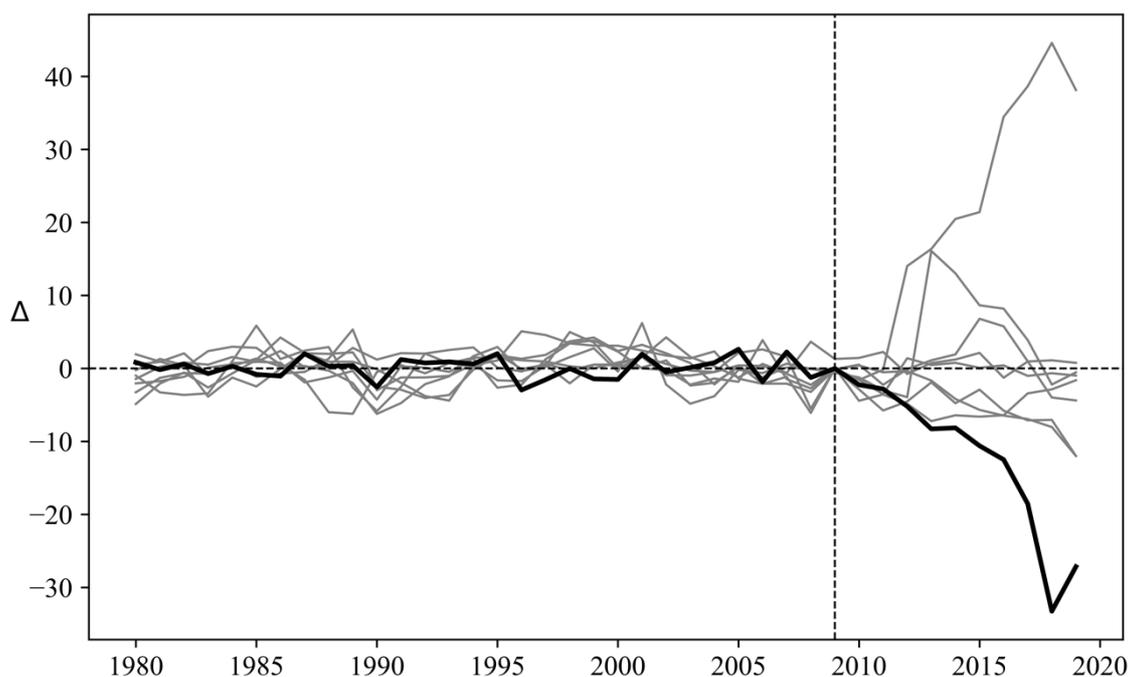
disseminação eficiente das práticas nessas regiões limita o potencial de redução das emissões de GEE. Assim, é fundamental direcionar esforços para promover e difundir essas práticas nessas áreas específicas, incentivando sua adoção em larga escala.

Apesar das limitações e desafios, o Programa ABC tem se mostrado efetivo na mitigação das emissões de GEE na agropecuária brasileira. A abordagem adotada no presente estudo, aliada a resultados consistentes de pesquisas anteriores, ressalta a importância dessa política na redução das emissões e no desenvolvimento sustentável do setor agropecuário no país. A superação das questões identificadas é crucial para o aprimoramento contínuo do programa e para garantir o seu papel fundamental na construção de um futuro mais sustentável e resiliente para o agronegócio do Brasil.

5.3 TESTES DE PLACEBO E INFERÊNCIA

Como discutido, para verificar a robustez dos resultados, é necessário realizar testes de placebos. A realização de inferência estatística a respeito dos resultados obtidos, como desenvolvem Abadie e Gardeazabal (2003), Abadie, Diamond e Hainmueller (2010) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2015), deve basear-se a partir destes testes.

Figura 4: Diferença das emissões totais de GEE da agropecuária entre as unidades tratadas e os respectivos controles sintéticos.



Nota: A linha escura denota as diferenças entre a emissão de GEE brasileira (observada) e seu controle sintético. As linhas cinzas, por sua vez, representam os testes de placebo: desvios dos controles sintéticos para os demais países presentes na base. No teste placebo, são inclusos apenas países com RMSPE pré-intervenção menores do que 2 vezes o do Brasil. Tal estratégia também é utilizada por Grier e Maynard (2016).

A análise realizada incluiu um teste que expôs outros países (excluindo aqueles com erro quadrado médio de previsão duas vezes maior do que o obtido para o Brasil) a uma falsa intervenção, simulando o Programa ABC. O objetivo desse teste foi medir a significância dos resultados encontrados no Brasil, comparando-os com os resultados obtidos em outros países. Se os resultados dos outros países ajustados à falsa intervenção (Programa ABC) não se assemelharem aos resultados apresentados pelo Brasil real, isso indica a relativa raridade do hiato observado no período pós-tratamento. Em outras palavras, os resultados encontrados no presente estudo seriam considerados significantes e robustos. No entanto, se o hiato for facilmente observado nos outros países, isso pode sugerir que os resultados obtidos neste estudo não são adequados e podem estar sujeitos a vieses que afetam a interpretação dos impactos do Programa ABC na redução das emissões de GEE na agropecuária brasileira.

Portanto, a análise dos resultados em relação aos outros países é fundamental para validar a efetividade das práticas adotadas no Programa ABC e para confirmar a robustez dos resultados encontrados no Brasil. Essa abordagem contribui para uma avaliação mais abrangente e confiável do impacto do programa e para a compreensão de como as políticas de mitigação podem ser aplicadas de forma eficiente em diferentes contextos agropecuários.

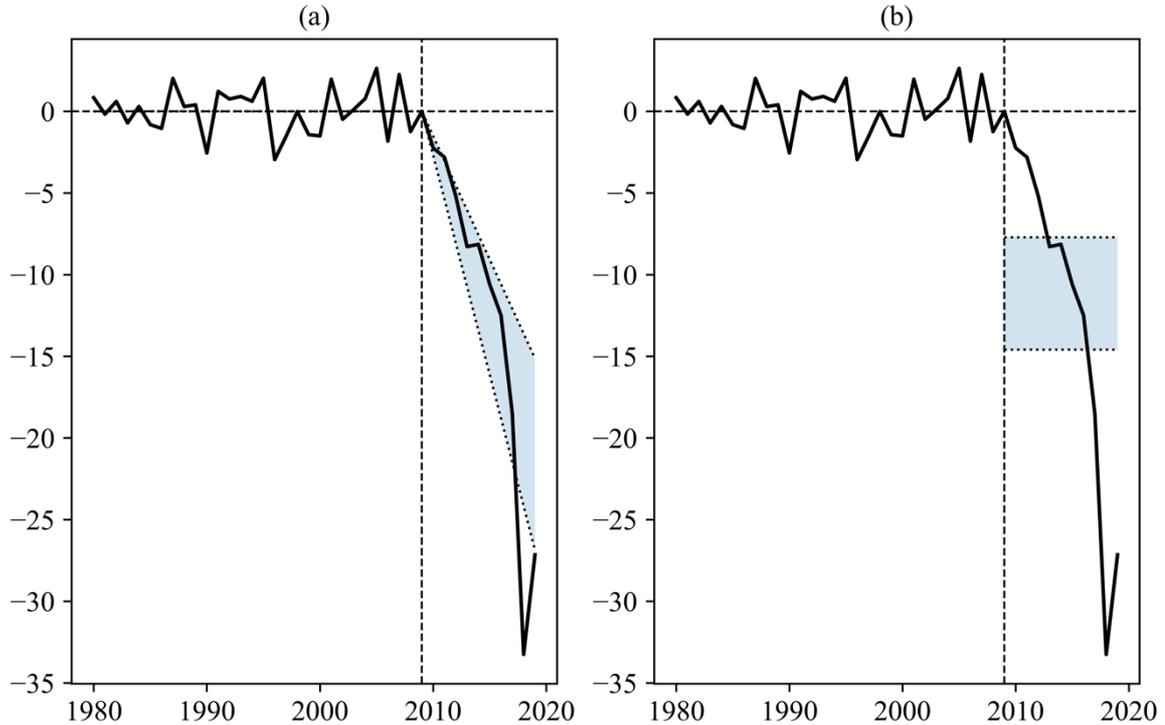
Os resultados dessa análise são apresentados na Figura 4. Nessa figura, é claramente perceptível que as diferenças na dinâmica das emissões de GEE da agropecuária no Brasil evoluem de forma idiossincrática em relação aos demais países durante o período pós-intervenção. Essa observação fortalece a capacidade do modelo adotado em explicar os impactos do Programa ABC na produção por unidade de emissões totais de GEE na agropecuária brasileira.

Além disso, seguindo a abordagem proposta por Firpo e Possebom (2018), foram realizadas análises considerando um efeito de intervenção constante e linear no tempo, com um intercepto igual a zero. Essa abordagem permitiu conduzir um teste unilateral, uma vez que o foco estava apenas nos efeitos de redução nas emissões totais de GEE da agropecuária. Essas análises adicionais e testes complementares reforçam a robustez e a significância dos resultados encontrados, contribuindo para uma maior confiança nos impactos positivos do Programa ABC na mitigação das emissões de gases de efeito estufa no setor agropecuário brasileiro. As análises estatísticas adotadas permitem uma avaliação mais completa do desempenho do programa e da efetividade das práticas implementadas.

Em suma, os resultados obtidos por meio das análises estatísticas e testes realizados na Figura 5 e nas abordagens de Firpo e Possebom (2018) corroboram a conclusão de que o Programa ABC teve um impacto positivo na redução das emissões de GEE na agropecuária

brasileira. Esses achados fornecem uma base sólida para a continuidade e aprimoramento das políticas de mitigação no setor agropecuário, visando alcançar metas mais ambiciosas de redução de emissões e promover o desenvolvimento sustentável no Brasil.

Figura 5: Conjuntos de Confiança unilaterais para o efeito de intervenção.



Nota: As linhas pretas sólidas mostram o impacto estimado do Programa ABC no Brasil, enquanto as linhas tracejadas mostram os limites superiores e inferiores dos conjuntos de confiança unilaterais no tempo. Efeitos de intervenção que foram construídos usando a estatística de teste $\theta = -\frac{\bar{\alpha}_{post}(T-T_0)}{\hat{\sigma}(\sqrt{T-T_0})}$ e usando o *benchmark* de pesos iguais $p := \frac{\sum_{j=1}^{J+1} \mathbb{I}(RMSPE_j > -RMSPE_1)}{J+1}$, onde $\mathbb{I}(A)$ é uma função indicadora para o evento A e rejeita a hipótese nula de nenhum efeito se p for menor que algum nível de significância pré-especificado (10% no caso das análises aqui elaboradas). As linhas pontilhadas são os limites superiores dos conjuntos de confiança unilateral que foram construídos usando a estatística θ de teste e impondo um parâmetro de sensibilidade $\phi = 0,495$ para o pior cenário. Esta nota se repete em figura similar para o setor informal, sendo, portanto, suprimida nesta.²

Os conjuntos de confiança unilaterais são baseados na estatística de teste $\theta = -\frac{\bar{\alpha}_{post}(T-T_0)}{\hat{\sigma}(\sqrt{T-T_0})}$ e considera apenas unidades (países) com um “bom ajuste pré-intervenção”. O limite superior de conjuntos de confiança unilaterais que contém todos os efeitos de intervenção constantes no tempo (Figura 5, painel (b)) e todos os efeitos de intervenção lineares no tempo (com intercepto igual a zero, Figura 5, painel (a)), cujas hipóteses nulas associadas não são rejeitadas pelo nosso procedimento de inferência, quando se usa a estatística de teste θ . Ou seja, esses limites superiores não apenas mostram rapidamente que se rejeita a hipótese nula de

² Para maiores detalhes, veja Firpo e Possebom (2018).

nenhum efeito (porque a variável avaliada para a intervenção – Programa ABC – permanece fora dos limites dos conjuntos de confiança), e mostram que o impacto da política está longe de zero, sugerindo efeitos positivos (redução na emissão de GEE) significativamente relevantes.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do Brasil sintético construído revelou resultados encorajadores sobre o impacto positivo do Programa ABC na redução das emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) provenientes da agropecuária brasileira. A comparação entre o Brasil real e sua versão sintética demonstrou que as práticas adotadas no âmbito do programa efetivamente contribuíram para a mitigação das emissões no setor agropecuário. A robustez dos resultados foi reforçada pelos testes de placebo e inferência estatística realizadas, fornecendo maior confiabilidade às conclusões obtidas.

Apesar dos avanços alcançados, é importante destacar que o Programa ABC também enfrenta desafios e limitações que podem influenciar os seus resultados. A falta de clareza nas definições das tecnologias contempladas no programa tem dificultado a adoção de sistemas produtivos intensivos e a tomada de decisões subjetivas por parte dos gerentes bancários na concessão de crédito pode comprometer a implementação efetiva das práticas mitigadoras.

Nesse sentido, investimentos significativos em educação e assistência técnica são necessários para fornecer o suporte adequado aos produtores e auxiliá-los na compreensão e adoção das tecnologias preconizadas pelo Programa ABC. Outro desafio identificado refere-se ao planejamento na implementação do programa, especialmente em relação às áreas de cultivo de soja e pastagens degradadas. A falta de disseminação eficiente das práticas nessas regiões limita o potencial de redução das emissões de GEE. Assim, é crucial direcionar esforços para a promoção e divulgação dessas práticas nessas áreas específicas, incentivando a sua adoção em larga escala.

Apesar das limitações, o Programa ABC tem se mostrado efetivo na redução das emissões totais de GEE na agropecuária brasileira. Os resultados obtidos neste estudo corroboram pesquisas anteriores que também analisaram os impactos do programa, reforçando a sua relevância no contexto da luta contra as mudanças climáticas e o desenvolvimento sustentável do setor agropecuário no país.

O presente estudo contribui para aprofundar o debate sobre a implementação do Programa ABC, destacando pontos cruciais que devem ser aprimorados para maximizar os seus resultados. Ao superar as limitações identificadas, o programa pode alcançar impactos ainda mais expressivos na mitigação das emissões de GEE, promovendo uma agropecuária mais sustentável e resiliente frente aos desafios ambientais e climáticos globais. O aprimoramento contínuo dessa política é fundamental para garantir a efetividade de suas ações e contribuir efetivamente para a construção de um futuro mais sustentável para o Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABADIE, A.; DIAMOND, A. HAINMUELLER, J. Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of California's tobacco control program. **Journal of the American statistical Association**, v. 105, n. 490, p. 493-505, 2010.
- ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. Comparative politics and the synthetic control method. **American Journal of Political Science**, v. 59, n. 2, p. 495-510, fev. 2015.
- ABADIE, A.; GARDEAZABAL, J. The Economic Costs of Conflict: A Case Study of the Basque Country. **American Economic Review**, v. 93, n. 1, p. 113–132, 2003.
- AMJATH-BABU, T. S., AGGARWAL, P. K., VERMEULEN, S. Climate action for food security in South Asia? Analyzing the role of agriculture in nationally determined contributions to the Paris agreement. **Climate Policy**, 19(3), p. 83-298. 2019.
- ARAÚJO, J. A. Crédito rural: Plano Safra e o Pronaf. *In*: VIEIRA FILHO, J. E. R. (Org.). **Diagnóstico e desafios da agricultura brasileira**. Brasília: Ipea, 2019. Cap.6. pp.161-188.
- Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estatisticas/txjuros>. Acesso em: 23 mar. 2020.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. D. O.; STONE, L. F. Reference document: crop-livestock-forestry integration. **Reference document: crop-livestock-forestry integration**, Embrapa, 2011.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; MARTÍNEZ, G. B. Contribuições dos Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) para uma Agricultura de Baixa Emissão de Carbono. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1163-1175, 2011.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. D.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, 2011.
- BALBINO, L.C.; KICHEL, A.N.; BUNGENSTAB, D.J.; ALMEIDA, R.G. de. Sistemas de integração: o que são, suas vantagens e limitações. *In*: BUNGENTAB, D.J. (Ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. 2.ed. Brasília: Embrapa, p.11-18, 2012.
- BARRO, R. J.; LEE, J. W. A new data set of educational attainment in the world, 1950– 2010. **Journal of development economics**, 104, p. 184-198, 2013.
- BOGAERTS, M.; CIRHIGIRI, L.; ROBINSON, I.; RODKIN, M.; HAJJAR, R., JUNIOR, C. C.; NEWTON, P. Climate change mitigation through intensified pasture management: Estimating greenhouse gas emissions on cattle farms in the Brazilian Amazon. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 1539–1550, 2017.
- BRAGA, M. J.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; FREITAS, C. O. Impactos da extensão rural na renda produtiva. *In*: VIEIRA FILHO, J. E. R. (Org.). **Diagnósticos e Desafios da Agricultura Brasileira**. Brasília: Ipea, pp-137-160, 2019.

BRASIL/MDIC/COMEXSTAT. **Estatísticas do Comercio Exterior**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 01 jul. 2023.

CASELLI, F. Accounting for cross-country income differences. **Handbook of economic growth**, v. 1, p. 679-741, 2005.

CARAUTA, M.; LATYNSKIY, E.; MÖSSINGER, J.; GIL, J.; LIBERA, A.; HAMPF, A.; BERGER, T. Can preferential credit programs speed up the adoption of low-carbon agricultural systems in Mato Grosso, Brazil? Results from bioeconomic microsimulation. **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 1, p. 117–128, 2018.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; DE MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277–290, 2010.

CEPEA. **PIB-AGRO**: PIB-Agro/CEPEA: PIB do agro cresce 8,36% em 2021; participação no PIB brasileiro chega a 27,4%. 2022. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/releases/pib-agro-cepea-pib-do-agro-cresce-8-36-em-2021-participacao-no-pib-brasileiro-chega-a-27-4.aspx>. Acesso em: 01 jul. 2023.

CHAVEIRO, A., BONINI, C. D. S. B., FREITAS, P. G. N., DE SOUZA REIS, D. C., DE OLIVEIRA, J. M. K., DE SOUZA, J. A. L., DE OLIVEIRA, A. B. Qualidade física e química do solo em sistema de plantio direto cultivado com hortaliças—Uma revisão. **Research, Society and Development**, 11(9). 2022.

CHIAVARI, J.; MENDES, C. Legislação Florestal e de Uso da Terra. Uma Comparação Internacional. **Climate Policy Initiative (CPI) and Núcleo de Avaliação de Políticas Climáticas da PUC-Rio (NAPC/PUC-Rio)**, 2017. COSTA JUNIOR, C. J. C. Impacto das Variações no Crédito Rural e no Investimento em Pesquisa Agrícola na Produtividade da Agricultura Brasileira Contemporânea. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 4, p. 551–564, 2018.

CORREA, P.; SCHMIDT, C. Public research organizations and agricultural development in Brazil: how did Embrapa get it right? **Economic Premise**, 145, p. 1-10, 2014.

CRESPO, C. M. G., PISCOYA, V. C., ARAUJO FILHO, R. N. D., LIMA, S. B., MORAES, A. S., FRANÇA, M. V. D., OLIVEIRA, P. P. Soil carbon stocks and labile fractions of organic matter under agroforestry system in breast of pernambucan altitude. **Ciência Florestal**, 32, 2180-2198. 2023.

DE OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L. G.; HALL, J. A. J.; MATSUURA, M. F.; ALBERTINI, T. Z.; FERNANDES, F. A.; MORAN, D. Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 5, p. 493–497, 2016.

DJOUNDOURIAN, S. S. Response of the Arab world to climate change challenges and the Paris agreement. **International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics**, 21(3), p. 469-491, 2021.

FAOSTAT. 2022. The Food and Agriculture Organization of the United Nations, Food and Agriculture Data. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 01 jul. 2023.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. Production systems: an example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, p. 238-243, 2010.

GASPARINI, L. V. L.; COSTA, T. S.; HUNGARO, O. A. D. L.; SZNITOWSKI, A. M.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Sistemas integrados de produção agropecuária e inovação em gestão: estudos de casos no Mato Grosso**. Texto para discussão nº 2296, 2017

GIANETTI, G.W. **O Plano e Programa ABC: uma avaliação da execução e distribuição dos recursos**. 123p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

GIL, J.; GARRETT, R.; BERGER, T. Determinants of crop-livestock integration in Brazil: Evidence from the household and regional levels. **Land Use Policy**, v. 59, p. 557–568, 2016.

GILCHRIST, D.; EMERY, T.; GAROUPA, N.; SPRUK, R. Synthetic Control Method: A tool for comparative case studies in economic history. **Journal of Economic Surveys**, 1-37, 2022.

GRIER, K.; MAYNARD, N. The economic consequences of Hugo Chavez: A synthetic control analysis. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 125, p. 1-21, 2016.

GURGEL, A. C.; LAURENZANA, R. D. Desafios e oportunidades da agricultura de baixo carbono. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: IPEA, p. 343-366, 2016.

ILPF, R. D. F. **ILPF em Números**. Rede de Fomento, 2017.

LAMBA, J., GUPTA, B., DZEVER, S. Global crisis of sustainable development and global warming: a case analysis of Indonesia and Laos. **Sustainable development and energy transition in Europe and Asia**, 9, 129-144, 2020

LEAL, B.P. **Programa ABC: uma análise para o período de 2011 a 2014**. 63p. Dissertação (MPFE) – Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2016.

LIELL, C.; MACEDO, L. O. B.; MOI, P. C. P.; BARBOSA, A. M. Análise e avaliação da aplicação do Plano ABC no estado de Mato Grosso. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, 9(4), 83-104, set/dez, 2018.

MILLINGTON, J. D., KATERINCHUK, V., DA SILVA, R. F. B., DE CASTRO VICTORIA, D., & BATISTELLA, M. Modelling drivers of Brazilian agricultural change in a telecoupled world. **Environmental Modelling & Software**, 139. 2021.

MOHAMMED, S., GILL, A. R., ALSAFADI, K., HIJAZI, O., YADAV, K. K., HASAN, M. A., HARSANYI, E. An overview of greenhouse gases emissions in Hungary. *Journal of Cleaner Production*, 314. 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Intercâmbio comercial do agronegócio: principais mercados de destino**. [S.l.]: MAPA/ACS Brasília, 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Coordenação de Agropecuária Conservacionista, Florestas Plantadas e Mudanças Climáticas**. 2020.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al. Soil and water quality: An agenda for agriculture. National Academies Press, 1993.

OBSERVATÓRIO ABC. **Impactos econômicos e ambientais do Plano ABC**. São Paulo: FGV. 2017.

OBSERVATÓRIO DA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA. **Crédito Rural**. Disponível em: <http://observatorio.agropecuaria.inmet.gov.br/>. Acesso em: 01 jul. 2023.

PEREIRA, M.; GLATZLE, S.; SANTOS, V. A.; ALVES, F. V.; de ALMEIDA, R. G.; MORAIS, M. D. G. Beef Cattle Production in Brazilian Integrated Systems. *In* Embrapa Gado de Corte. In: **Tropentag, 2018: International Conference on Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development**, Ghent, 2018. Global food security and food safety: the role of universities: book of abstracts. Ghent: Ghent University, 2018.

ROCO, L.; BRAVO-URETA, B.; ENGLER, A.; JARA-ROJAS, R. The Impact of Climatic Change Adaptation on Agricultural Productivity in Central Chile: A Stochastic Production Frontier Approach. *Sustainability*, v. 9, n. 9, p. 1648, set, 2017.

SERRA, A. P.; de ALMEIDA, R. G.; LAURA, V.; FERREIRA, A. Fundamentos técnicos para implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com eucalipto. Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico (ALICE). 2019

SHRESTHA, S. Impacts of Climate Change on UE Agriculture. *Review of Agricultural and Applied Economics*, v. 16, n. 02, p. 24–39, set, 2013.

SILVA, A. R., RODRIGUES FILHO, J. A., CARVALHO, E. J. M., SANTIAGO, A. V., VELOSO, C. A. C., MARTINEZ, G. B. Estoque de carbono e mitigação de metano produzido por bovinos em sistema integração pecuária-floresta (IPF) com eucalipto no Sudeste Paraense. *Brazilian Journal of Development*, 7(4). 2021.

SILVA, F. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Crescimento agrícola, eficiência técnica e sustentabilidade ambiental. Brasília: Ipea, 2018. (Texto para Discussão, nº 2445).

SILVA, F. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Avaliação de impacto do programa de agricultura de baixo carbono no Brasil. Brasília: Ipea, 2019. (Texto para Discussão, n. 2568).

SOTERRONI, A. C.; RAMOS, F. M.; MOSNIER, A.; CARVALHO, A.X.Y.; CÂMARA, G.; OBERSTEINER, M.; ANDRADE, P.R.; SOUZA, R.C.; PENA, M.G.; MANT, R.; PIRKER, J.; KRAXNER, F.; HAVLIK, P.; KAPOV, V. Modelagem de mudanças de uso da terra no Brasil. *In*: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J.G. (Orgs.). **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: Ipea, 2016. Brasília: Ipea, 2016, p. 301-342. 2016. TELLES, T. S., RIGHETTO, A. J. Crescimento da Agropecuária e Sustentabilidade ambiental. *In*: VIEIRA FILHO, J. E. R. (Org.). **Diagnósticos e Desafios da Agricultura Brasileira**. Brasília: Ipea, 2019.

STAFFORD, J. V. Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of agricultural engineering research*, v. 76, n. 3, p. 267-275, 2000.

TELLES, V. P.; RIGHETTO, A. M. (2019). Programa ABC: análise dos resultados e perspectivas. **Embrapa Informações Tecnológicas**, Documentos 493. Brasília, DF: Embrapa.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. **Agricultura e indústria no Brasil: inovação e competitividade**. Brasília: Ipea, 2017.

VIEIRA FILHO, J. E. R. **Efeito poupa-terra e ganhos de produção no setor agropecuário brasileiro**. Texto para Discussão, nº 2386. Brasília: Ipea, 2018.

WANDER, A. E.; TOMAZ, G. A.; PINTO, H. E. Uma avaliação formativa do Plano ABC. **Revista de Política Agrícola**, 25(3), 62-72, 2016.

APÊNDICE

Tabela A1 – Países que compõem o grupo de doadores

Países	Quantidade de Países	Região
Bangladesh, Brunei Darussalam, Butão, Camboja, China, Coréia do Sul, Fiji, Filipinas, Índia, Indonésia, Japão, Laos, Malásia, Mianmar, Mongólia, Nepal, Paquistão, Sri Lanka, Tailândia, Taiwan e Vietnã	21	Ásia
Arábia Saudita, Argélia, Bahrein, Catar, Chipre, Egito, Emirados Árabes Unidos, Iémen, Irã, Iraque, Israel, Jordânia, Kuwait, Líbano, Marrocos, Omã, Peru, Síria e Tunísia.	19	Ásia Central e Ocidental e Norte da África (CWANA)
Albânia, Alemanha, Áustria, Bulgária, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Malta, Noruega, Polônia, Portugal, Reino Unido, Romênia, Suécia e Suíça.	22	Europa
Argentina, Bahamas, Belize, Bolívia, Chile, Colômbia, Costa Rica, El Salvador, Equador, Guatemala, Guiana, Haiti, Honduras, Jamaica, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana, Suriname, Trindad e Tobago e Uruguai.	23	América Latina
Canadá e Estados Unidos.	2	América do Norte
Austrália e Nova Zelândia.	2	Oceania
África do Sul, Angola, Benim, Botsuana, Burkina Faso, Burundi, Cabo Verde, Camarões, Chade, Comores, Congo, Costa do Marfim, Djibuti, Eswatini, Gabão, Gâmbia, Gana, Guiné, Guiné Equatorial, Guiné-Bissau, Iraque, Lesoto, Libéria, Madagáscar, Malawi, Mali, Maurício, Maurîtânia, Moçambique, Namíbia, Níger, Nigéria, Quênia, República Centro-Africana, República Democrática do Congo, Ruanda, São Tomé e Príncipe, Senegal, Serra Leoa, Tanzânia, Uganda, Zâmbia e Zimbábue.	43	África Subsaariana

Fonte: Elaboração própria.