

AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO MERCADO DE CARBONO SETORIAL BRASILEIRO (RENOVABIO)

Samuel Bicego¹

RESUMO

O Brasil tem avançado na discussão e desenho de instrumentos que facilitem o cumprimento de sua meta de redução da emissão de CO₂. Uma dessas políticas foi a implementação de um mercado de carbono setorial que onera as emissões de GEE por combustíveis fósseis e estimula a transição energética para biocombustíveis. O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto do RenovaBio nas emissões brasileiras de GEE no setor de transportes. O método empregado foi o controle sintético e, para isso, houve a seleção de alguns países que não possuem regulação de emissões de CO₂ para compor o grupo de controle. Os resultados encontrados apontam que, ainda de forma preliminar, é possível inferir que a política implementada surtiu efeito na redução de emissões de GEE por transportes no Brasil, porém foi o impacto se dá a partir da data de aprovação da medida e não se sua implementação, o que sugere uma antecipação do efeito. O teste de placebo corrobora os resultados identificados durante a estimação. Há limitações metodológicas consideráveis impostas ao trabalho devido à indisponibilidade de informações relevantes para a estimação e recomenda-se a realização a replicação de tal estudo em momento posterior com maior acessibilidade de dados.

Palavras-chave: Avaliação de impacto, Controle sintético, Mercado de carbono, RenovaBio

IMPACT EVALUATION OF THE BRAZILIAN SECTORAL CARBON MARKET (RENOVABIO)

ABSTRACT

Brazil has made progress in discussing and designing instruments that facilitate the achievement of its CO₂ emission reduction targets. One of these policies was the implementation of a sectoral carbon market that taxes GHG emissions from fossil fuels and promotes the energy transition to biofuels. The objective of this work is to evaluate the impact of RenovaBio on Brazilian GHG emissions in the transportation sector. The method used was synthetic control, and for this, some countries without CO₂ emission regulations were selected to form the control group. The results indicate that, although still preliminary, it is possible to infer that the implemented policy had an effect on reducing GHG emissions from transportation in Brazil. However, the impact occurs from the date of the measure's approval and not its implementation, suggesting an anticipation of the effect. The placebo test corroborates the results identified during the estimation. There are considerable methodological limitations imposed on the work due to the unavailability of relevant information for the estimation, and it is recommended that this study be replicated at a later time with greater data accessibility.

Key words: Impact evaluation, Synthetic control, Carbon market, RenovaBio

JEL: H23, L91, Q54

¹ Departamento de Economia da Universidade de São Paulo. E-mail: samuel.pedro@usp.br

9 – Meio Ambiente, recursos naturais e sustentabilidade

1 INTRODUÇÃO

O Acordo de Paris, firmado em 2015, estabeleceu que o aumento da temperatura média global deveria se limitar em menos de 2°C em relação aos níveis pré-industriais. Como instrumento para o atingimento da meta global, os países que ratificaram o acordo se comprometeram voluntariamente a diminuir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) através das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC). A NDC brasileira determinou uma redução de 43% em relação aos níveis de 2005 até 2030. Nesse contexto, o Brasil tem discutido e desenhado instrumentos que facilitem o cumprimento de suas NDC. Uma dessas políticas foi a implementação do RenovaBio em 2019, um mercado de carbono setorial que, ao mesmo tempo, onera as emissões de GEE por combustíveis fósseis e estimula a transição energética para biocombustíveis.

A Política Nacional de Biocombustíveis no Brasil, também chamada de RenovaBio, foi aprovada pela Lei nº13.576/2017. Os objetivos estabelecidos pela política são contribuir para o cumprimento da NDC brasileira, promover a expansão dos biocombustíveis na matriz energética e induzir ganhos de eficiência e de redução de emissões de GEE na produção, comercialização e uso dos biocombustíveis (Ministério de Minas e Energia, RenovaBio). A regulamentação do programa se deu através do Decreto 9.888/2019 com a definição de três eixos estratégicos. No primeiro eixo, o governo estabelece metas de descarbonização para o horizonte temporal de 10 anos, as quais se desdobram em metas individuais obrigatórias impostas às distribuidoras de combustíveis fósseis de forma proporcional a sua participação no mercado nacional. O segundo eixo estratégico se dá pela certificação voluntária das produtoras de biocombustíveis que recebem pontuações de eficiência energética-ambiental, refletindo a quantidade de emissões evitadas em comparação ao uso do combustível fóssil. Tal score é multiplicado pelo volume de biocombustíveis comercializado, resultando no número de certificado de carbono (CBIO) que a produtora é autorizada a emitir e vender na Bolsa de Valores (B3). A negociação do CBIO na B3 constitui o terceiro eixo temático do Programa. Assim, cada distribuidora deve comprar os títulos e retirá-los de circulação até 31 de março do ano seguinte para comprovação da meta individualizada anual que lhe foi atribuída. Os investidores também podem comprar os certificados para fins especulativos (EPE, RenovaBIO).

A falha de mercado que justifica a criação do mercado de carbono no setor de transportes é o direito de propriedade mal definido, o que está no cerne da grande maioria dos problemas estudados em economia ambiental. Nesse caso, a responsabilidade pela externalidade negativa causada pelas emissões de GEE é atribuída às distribuidoras de combustíveis fósseis. O direito de poluir, então, é conferido às produtoras de biocombustíveis pelo serviço oferecido à sociedade de evitar parcela das emissões. Tal direito é proporcional à eficiência ambiental de cada produtora. Pelo Teorema de Coase, a negociação de tal direito deve ocorrer e, assim, se atingir um resultado eficiente de emissões causadas pela comercialização e queima de combustíveis fósseis, ao mesmo tempo, estimular às produtoras a aumentarem sua eficiência ambiental. Vale lembrar que há custos envolvidos na comercialização do direito de poluir (CBIO), o que viola uma das hipóteses do Teorema de Coase.

O objetivo da presente pesquisa é avaliar o impacto do RenovaBio nas emissões brasileiras de GEE no setor de transportes. Outros "outcomes" também são relevantes para a análise como consumo e produção de biocombustíveis e combustíveis fósseis. O trabalho pretende contribuir para o avanço da literatura sobre os efeitos ex-post da implementação da

precificação de carbono no Brasil e apontar os primeiros canais de causalidade de um mercado de carbono no Brasil. A dinâmica setorial pode ser indicativa para os efeitos de um mercado mais amplo.

Assim como Andersson (2019), o método empregado será o de controle sintético por se tratar também de um trabalho cujo objetivo é identificar o efeito causal de uma medida de regulação da emissão de CO₂ no setor de transporte. Para isso, foi realizada a seleção de alguns países para compor o grupo de controle e construção de um painel de dados para tais unidades observacionais. A variável dependente será as emissões de GEE no setor de transporte e os controles serão PIB per capita, proporção do PIB em determinados setores e população urbana. O período analisado será de 1990 a 2021.

Os resultados encontrados apontam que a política implementada surtiu efeito na redução de emissões de GEE por transportes no Brasil a partir de 2017. Foram realizados dois testes de placebo para contribuir com tal afirmação. Entretanto, a presente pesquisa possui limitações metodológicas consideráveis devido à indisponibilidade de dados, prejudicando a estimação. A replicação de tal estudo em momento posterior com maior acesso a dados é relevante para a verificação do resultado.

O trabalho se divide em 5 seções. É apresentada uma breve revisão da literatura e já na sequência é descrita a base de dados e metodologia empregada. A seção de resultados se dedica a exibir algumas estatísticas descritivas, a estimação pelo controle sintético e o teste de robustez. Por fim, o resultado principal, as limitações e os pontos de melhoria do estudo realizado são apontados nas considerações finais.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A análise de impacto de políticas de regulação de emissões de carbono é realizada de duas formas diferentes pela literatura. A grande maioria dos trabalhos mensuram o impacto de tais medidas ex-ante sua implementação, pois uma grande quantidade de países ainda não criou um mercado de carbono ou adotaram uma taxa universal sobre carbono. Além disso, outra dificuldade para a análise ex-post da medida, o que permitiria uma maior identificação do efeito causal, é o fato de políticas climáticas do tipo serem implementadas de forma supranacional e se tornarem vigentes ao mesmo tempo em todas as unidades observacionais como ocorreu com a criação do mercado de carbono da União Europeia em 2005 (Andersson, 2019).

A literatura que realiza a análise ex-ante a implantação da política climática se concentra no estudo dos efeitos da medida em países em que a regulação da emissão de CO₂ ainda não foi implementada. Essa abordagem, na grande maioria das vezes, formula um modelo teórico que descreve o comportamento dos agentes, implementa o modelo utilizando estimções para os parâmetros e analisa o efeito, por exemplo, de um imposto sobre carbono a partir de um choque nas condições de equilíbrio, como formulado por Moz-Christofletti e Pereda (2021) e Ferreira e Fernandes (2023)

O trabalho de Moz-Christofletti e Pereda (2021) analisa os efeitos da implementação de um imposto sobre carbono no Brasil a partir de uma abordagem de equilíbrio parcial, em que são calculadas as elasticidades de substituição entre bens mais intensivos em carbono para bens menos intensivos por parte das famílias. O trabalho estima que um imposto de US\$40 por tonelada de carbono emitida reduz 4,2% das emissões. Há, entretanto, uma perda de bem estar de 0,06% para as famílias mais ricas e 0,10% para as famílias mais pobres, o que chama a atenção para a sensibilidade dos efeitos distributivos do imposto à forma como se dá a reciclagem de receitas.

O artigo de Ferreira e Fernandes (2023), quantifica os efeitos setoriais da implementação do imposto sobre carbono na economia brasileira a partir de um modelo de equilíbrio geral. O resultado encontrado é que a introdução do imposto sobre carbono suficiente para o Brasil atingir a meta a qual se comprometeu no acordo de Paris levaria a uma perda de 2% do PIB, porém essa perda seria insignificante se a taxa de desmatamento regredir aos baixos níveis de 2012 e 2013.

Alguns outros trabalhos ainda, como é o caso de Barrage (2020) e Bovenberg e Goulder (1996), estudam através do desenvolvimento de modelos teóricos e simulações o quanto o imposto sobre carbono desvia do ótimo na presença de outros impostos distorcivos. Bovenberg e Goulder formulam um modelo de equilíbrio geral e realiza sua calibração com dados da literatura para examinar o desvio implícito do princípio pigouviano em um cenário de presença de impostos distorcivos. Os resultados indicam que, em tal ambiente, o imposto ambiental é entre 6 e 20% menor que o custo marginal ambiental das emissões de carbono. O imposto se aproxima do ótimo quando a reciclagem de receitas é utilizada para reduzir os impostos distorcivos.

Lint Barrage (2020) também estuda a interação do imposto sobre carbono e impostos distorcivos, porém utiliza um modelo dinâmico em que as mudanças climáticas impactam a utilidade dos agentes e geram perda futura de produção. O resultado encontrado é que os impostos distorcivos reduzem de 8% a 24% o imposto sobre carbono, similar ao resultado de Bovenberg e Goulder (1996).

Os efeitos da implementação de um imposto sobre carbono são estudados, em alguns casos, de forma ex-post, como é o caso de Andersson (2019). Esse trabalho investiga empiricamente a eficiência em reduzir as emissões do imposto sobre carbono nos combustíveis fósseis implementado na Suécia nos anos de 1990. As singularidades do caso sueco permitem o uso do método de controle sintético para verificar que a implementação do imposto causou uma redução de 10,9% das emissões de CO₂ no setor de transporte entre 1990 e 2005. Tal artigo foi o primeiro a encontrar um efeito causal significativo de um imposto sobre carbono nas emissões de CO₂. O autor ainda expõe uma limitação do estudo ex-ante ao estimar que a elasticidade da demanda em relação ao imposto é maior do que a elasticidade de preço, o que faz com que o efeito no imposto sobre carbono analisado ex-ante seja subestimado.

3 DADOS

Para empregar a análise do efeito do RenovaBio, foi construído um painel de 14 países entre os anos de 1990 e 2021. Tal painel contém informações, PIB per capita, percentual do PIB na indústria, percentual do PIB na agricultura, número de habitantes, percentual da população urbana e emissões de GEE no setor de transporte. As informações de PIB e população possuem como fonte o Banco Mundial e as emissões de GEE no setor de transporte foram extraídas da plataforma “Climate Watch”.

Outros dados seriam extremamente úteis para a estimação, como consumo de combustíveis fósseis e número de veículos automotores por habitante para cada um dos países que irão compor a amostra. Porém, tais dados não foram encontrados para os países selecionados e com uma abrangência temporal suficiente para a análise.

4. METODOLOGIA

Assim como no trabalho de Andersson (2019), será utilizado o método de controle sintético (Abadie and Gardeazabal 2003; Abadie, Diamond, and Hainmueller, 2015). Segundo o autor, é difícil de se verificar tendências paralelas quando se trata de dados agregados entre países, o que torna preferível para estudos de caso comparativos o uso de métodos que relaxem tal suposição. O controle sintético permite que efeitos de variáveis não observadas no “outcome” seja variável no tempo de acordo com a ponderação do grupo de controle. Desse modo, é importante que o grupo de controle se assemelhe ao Brasil antes do tratamento em termos de preditores chave das emissões de CO₂ no setor de transporte e tenha um nível similar dessas emissões.

A amostra é constituída por $J + 1 = 8$ países, indexados por j e sendo $j = 1$ usado para denotar o Brasil, unidade tratada. As unidades da amostra são observadas para períodos de tempo $t = 1, 2, \dots, T$. É importante ter dados suficientes para os períodos de tempo antes do tratamento e após o tratamento para poder construir o Brasil sintético e avaliar o efeito do tratamento. O Brasil sintético é construído como uma média ponderada dos países de controle $j = 2, \dots, J + 1$, representados por um vetor de pesos $W = w_2, \dots, w_{J+1}$ com $0 \leq w_j \leq 1$ e $w_2 + \dots + w_{J+1} = 1$.

Antes do tratamento, o painel possui 28 anos, porém há apenas 2 anos após o tratamento para a variável emissões de CO₂ no setor de transporte devido a série estar disponível apenas até 2021. Tal limitação de dados pós tratamento impõe algumas restrições para a estimação a qual este trabalho se propõe.

A seleção de países para o controle sintético se deu seguindo dois critérios. O primeiro deles foi o país não possuir nenhuma regulamentação para emissão de GEE implementada até 2021, último ano da análise. A verificação de tal critério se deu a partir de um painel de precificação de carbono do Banco Mundial que mapeia todas as iniciativas relacionadas ao tema a nível de nacional e local. O segundo critério estabelecido foi o país estar localizado na América do Sul ou fazer parte do BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul). Vale destacar que os países Argentina, Chile, Colômbia, China e África do Sul foram excluídos terem implementado alguma política de regulação de GEE até 2021, já a exclusão dos países Venezuela e Suriname se deu por indisponibilidade de dados para vários anos das variáveis utilizadas. O Uruguai apesar de ter uma taxação de carbono, essa foi implementada só em 2022, por isso o país foi acrescentado como uma das unidades de controle. Uma descrição do motivo de cada país ter sido incluído ou no grupo de controle pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1 – Resumo dos critérios para escolha dos países para o grupo de controle

País	Precificação de Carbono	Critério 2	Disponibilidade de dados	Inclusão como Controle
Argentina	implentada em 2018	América do Sul	Sim	Não
Bolívia	-	América do Sul	Sim	Sim
Brasil	-	América do Sul	Sim	Sim
Chile	implementada em 2017	América do Sul	Sim	Não
Colômbia	implementada em 2017	América do Sul	Sim	Não
Equador	-	América do Sul	Sim	Sim
Guiana	-	América do Sul	Sim	Sim
Paraguai	-	América do Sul	Sim	Sim
Peru	-	América do Sul	Sim	Sim
Suriname	-	América do Sul	Não	Não
Uruguai	implementada em 2022	América do Sul	Sim	Sim
Venezuela	-	América do Sul	Não	Não
Rússia	-	BRICS	Sim	Sim
Índia	-	BRICS	Sim	Sim
China	implementada em 2021	BRICS	Sim	Não
África do Sul	implementada em 2019	BRICS	Sim	Não

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de dados da plataforma de precificação de carbono do Banco Mundial.

Após a definição do grupo de controle, é escolhida matriz de pesos W de modo a minimizar a diferença entre o Brasil e as unidades de controle em termos dos preditores da variável dependente. Como preditores, foram utilizadas as variáveis PIB per capita, proporção da população urbana e proporção do PIB do setor industrial. Por último, é adicionada à lista de preditores alguns anos defasados de emissões de CO₂ por transporte (Ferman e Pinto, 2021).

Os anos escolhidos como preditores especiais no controle sintético foram 2012, 2017, 2016 e 2017 a fim de se observar um maior ajuste entre as trajetórias pré-tratamento do Brasil e Brasil Sintético nas emissões de GEE per capita no setor de transporte. Alguns desses anos coincidem com eventos ocorridos que podem ter impacto de o mercado de combustíveis fósseis no Brasil de forma particular, como a desoneração total de um dos impostos incidentes sobre tal mercadoria em 2012.

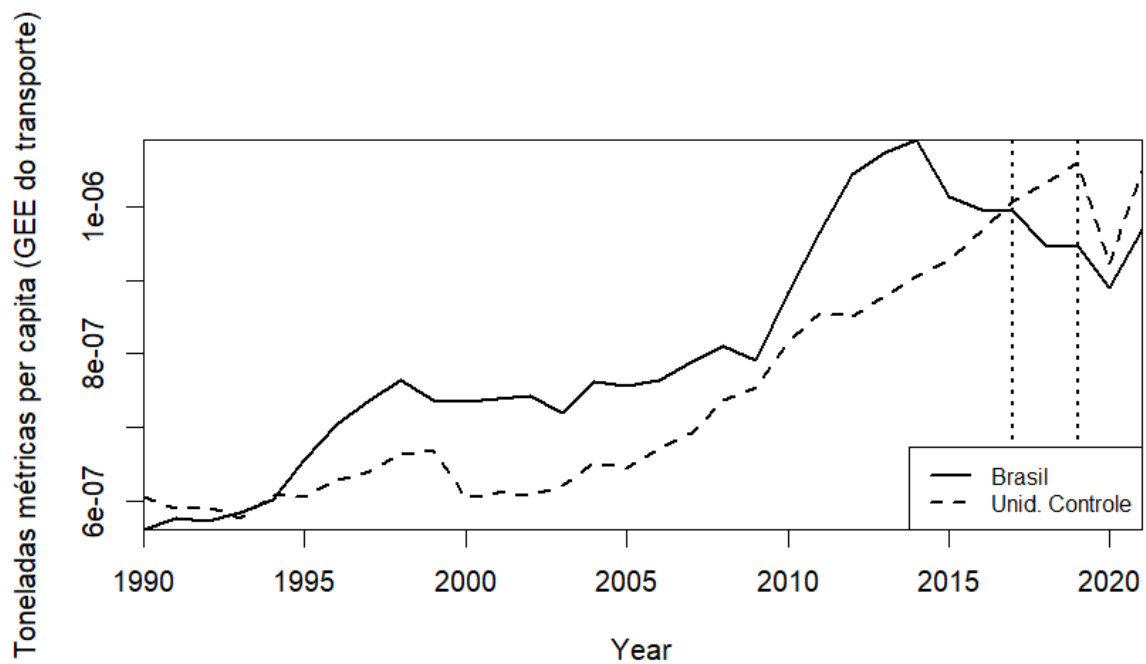
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

Primeiramente, é importante verificar as semelhanças e diferenças dos países que compõem o grupo de controle em relação ao Brasil. As emissões de GEE per capita no setor de transportes no Brasil e a média da amostra de países selecionados como unidades de controle podem ser vistas na figura 1. Note que as emissões brasileiras estão acima da média da amostra dos outros países na maioria dos anos da série, porém, a partir do ano de aprovação do RenovaBio (2017), a média do grupo de controle fica consistentemente acima, permanecendo acima inclusive em 2019, ano de implementação do programa. Mesmo no ano pandêmico de 2020, em que a média de emissões dos outros países caiu mais do que as emissões brasileiras, elas ainda ficaram acima da série brasileira. Vale analisar também a trajetória das emissões de

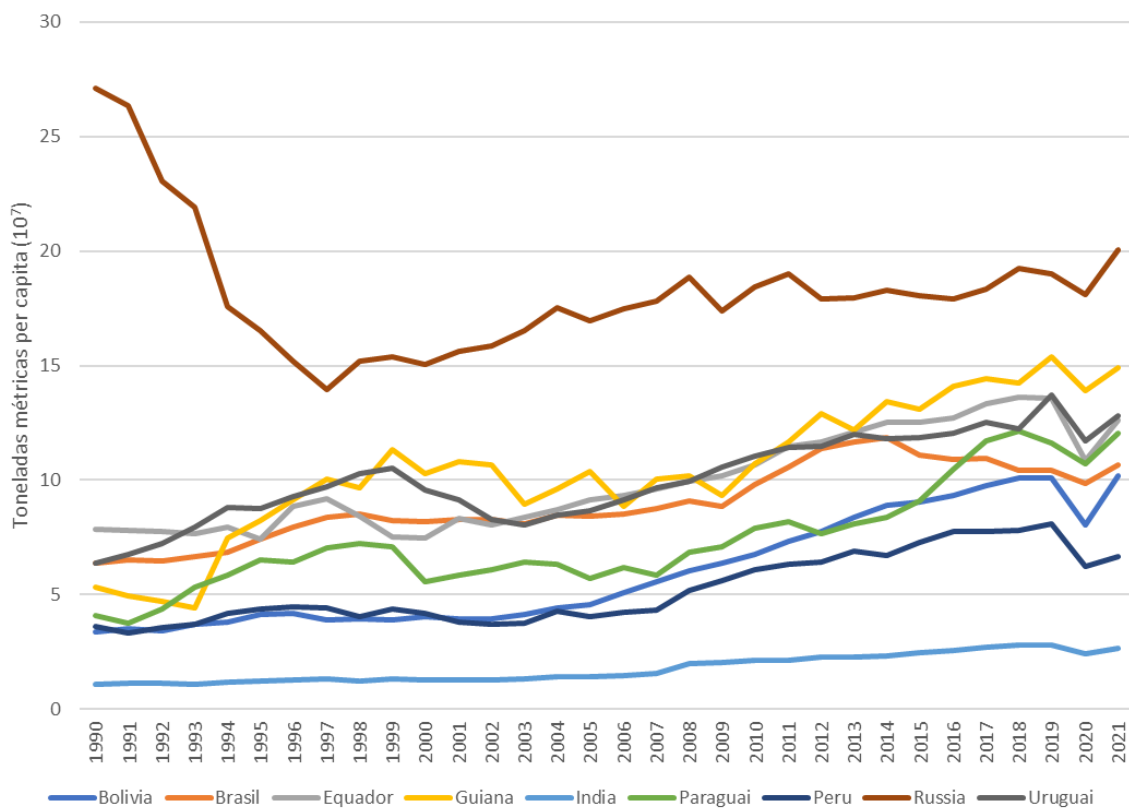
GEE pelo setor de transportes no Brasil e todos os outros países selecionados, o que pode ser visto na figura 2.

Figura 1 - Emissões de GEE per capita para o Brasil e média dos países do grupo de controle



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 2 - Emissões de GEE per capita para todos os países da amostra

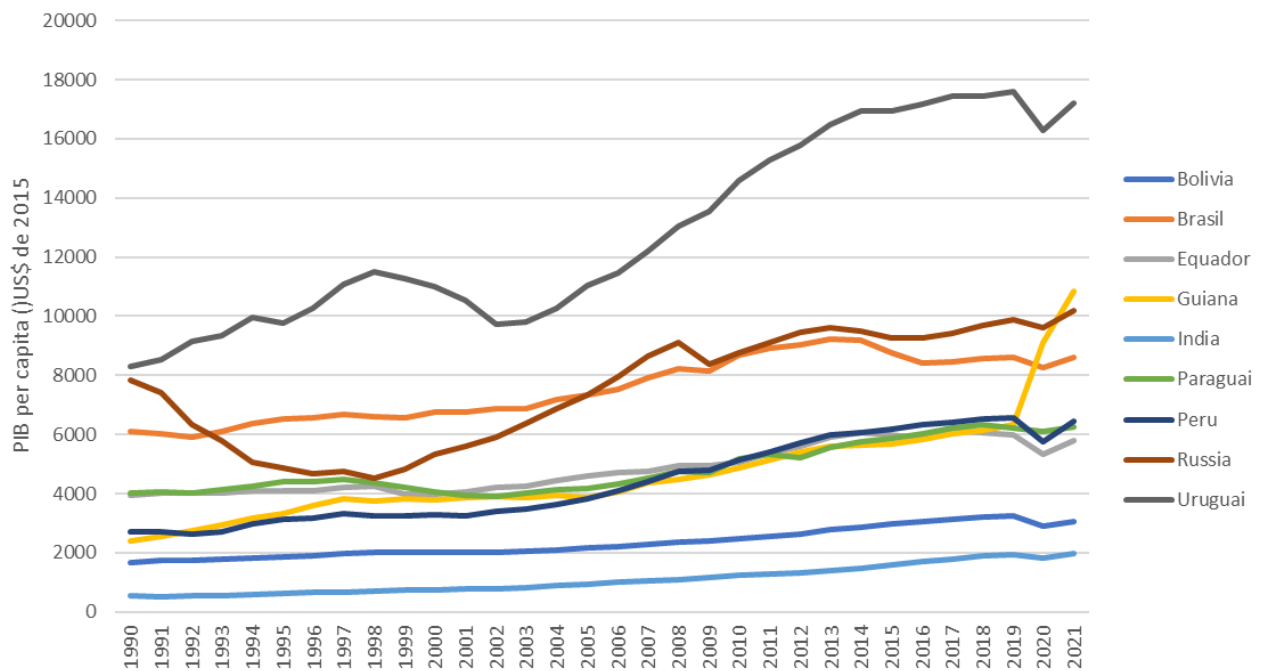


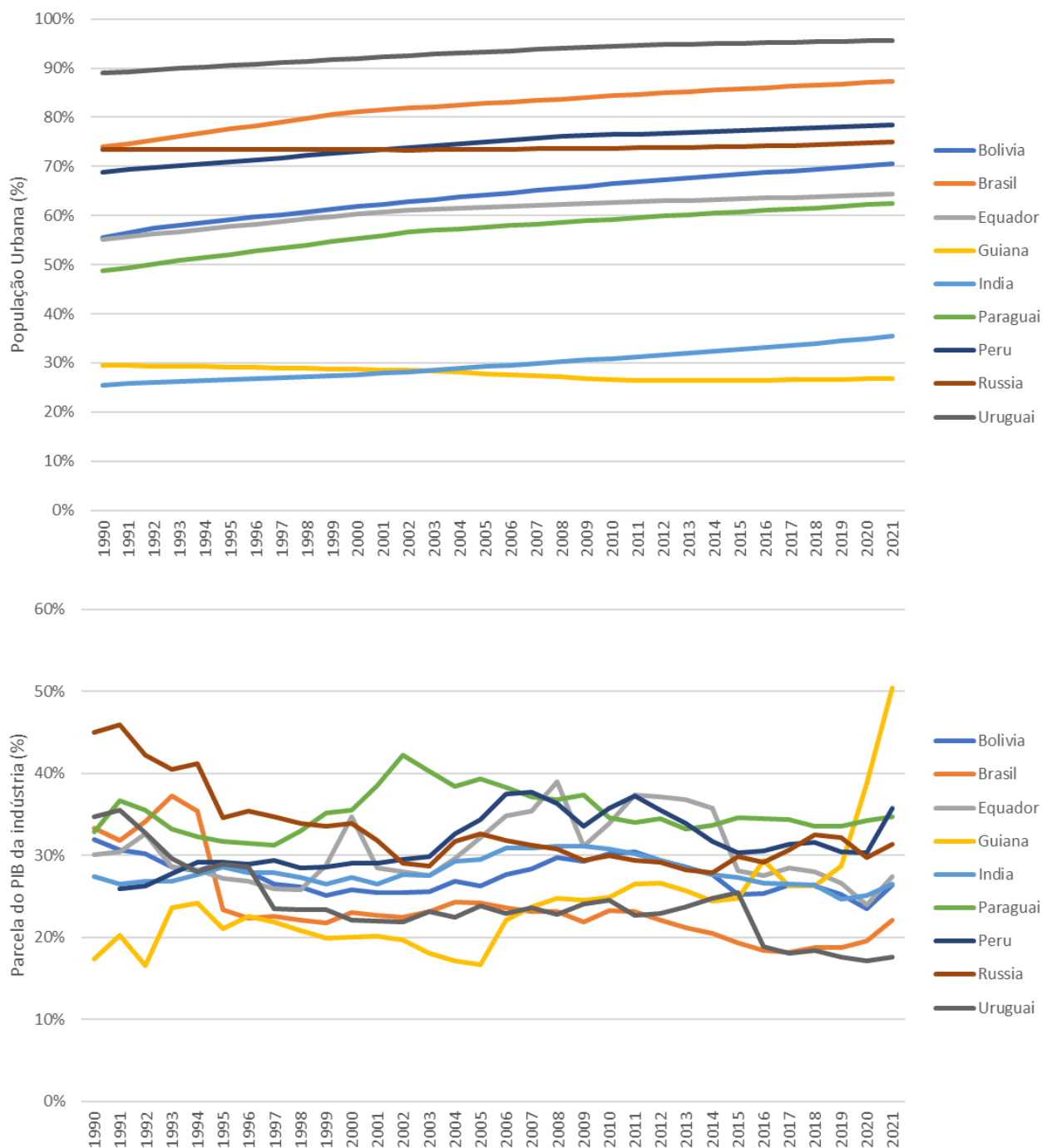
Fonte: Elaborada pelo autor

Observa-se na figura 2 que os mais parecidos com o Brasil em termos de emissões de GEE per capita no setor de transportes são Equador, Paraguai e Uruguai, porém os demais países sul-americanos não apresentam uma diferença tão significativa. Os países mais diferentes do Brasil em relação a emissões de GEE per capita são Índia e Rússia, sendo Rússia com o maior nível em todos os anos e Índia com o menor.

É relevante também fazer uma comparação em termos das variáveis preditoras das emissões de GEE que serão utilizadas na estimação, o que pode ser visto na figura 3. Observe que, em termos de PIB per capita, os países mais próximos do Brasil são Rússia, Peru, Paraguai, Guiana e Uruguai, já em proporção da população urbana, os mais parecidos são Uruguai, Peru e Rússia. No que se refere à proporção do PIB industrial, os países da amostra mais semelhantes ao Brasil são Uruguai, Bolívia e Índia. Os países que configuram entre os mais parecidos em pelo menos duas das três variáveis preditoras são Rússia e Uruguai, o que os colocam possivelmente como as unidades de controle com o grande peso na construção do Brasil Sintético.

Figura 3 – PIB per capita, população urbana e proporção do PIB industrial para todos os países da amostra





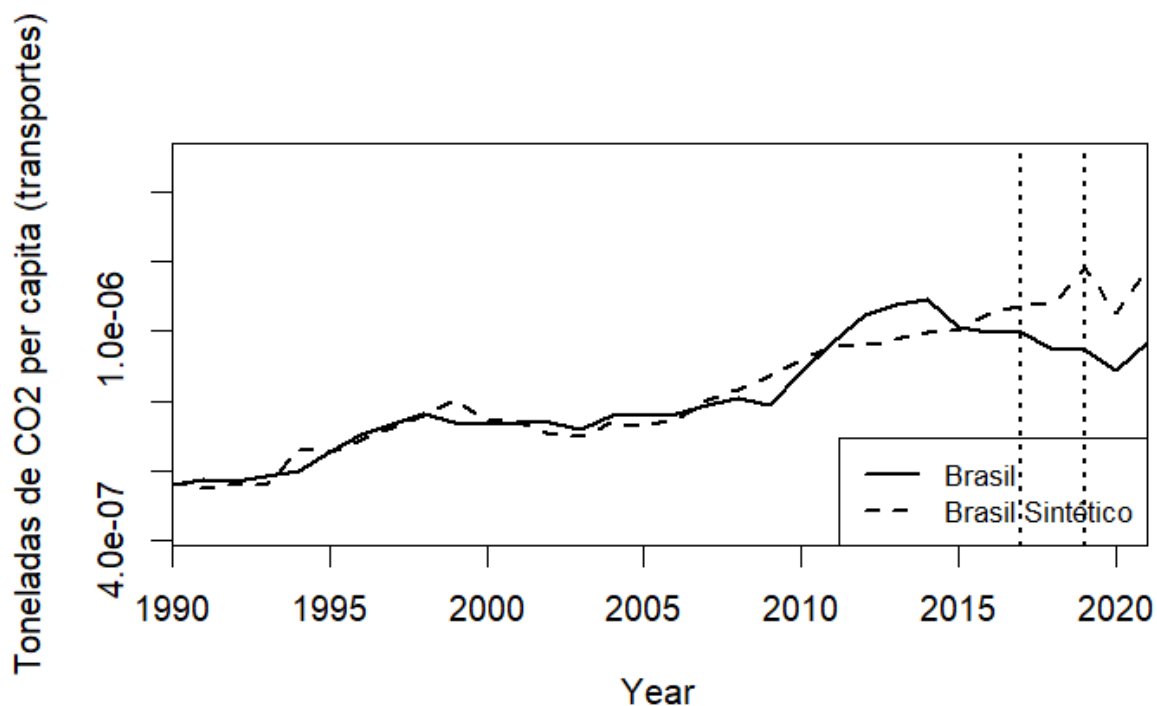
Fonte: Elaborada pelo autor

5.2 CONTROLE SINTÉTICO

A figura 4 mostra que as emissões de GEE no Brasil sintético aumentaram após 2017 enquanto as emissões brasileiras por transportes permaneceram estáveis, o que poderia ter se dado pelo efeito do RenovaBio. De fato, o período de tratamento considerado foi 2019, o ano de implementação do mercado de carbono setorial. Entretanto, como a política foi aprovada em 2017, é possível formular a hipótese de que houve um efeito antecipação por parte dos agentes. Ou seja, as distribuidoras de combustíveis fósseis podem já ter precificado o quanto gastaria com a comprar dos certificados de acordo com sua meta já em 2017 e repassado tal previsão de custo para seu preço de venda.

Pode-se supor alguns canais por detrás da redução das emissões a partir de 2017, como simplesmente a substituição dos consumidores dos veículos individuais pelo transporte público coletivo ou outras alternativas que não requerem o uso de combustíveis fósseis. Entretanto, parece mais razoável supor que o canal mais relevante tenha sido algum grau de substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis por terem se tornado relativamente mais vantajosos com um possível repasse de preço das distribuidoras de combustíveis. Fortalece a segunda hipótese o contexto em que o mercado de carbono setorial está inserido, pois os CBIOS são emitidos pelas produtoras de biocombustíveis proporcionalmente ao volume produzido e eficiência da cadeia produtiva. Assim, tais produtores podem já ter aumentado sua produção e eficiência com o objetivo de emitir mais certificados quando o mercado fosse regulamentado e, conseqüentemente, houve uma queda de preços que também surtiu efeito na substituição. Vale lembrar que um dos objetivos do RenovaBio também é estimular a produção de biocombustíveis a fim de promover a transição energética, por isso, é esperado que opere tanto os canais de aumento da produção de tais combustíveis menos poluentes como os de substituição por parte dos consumidores pelo aumento do preço relativo dos combustíveis fósseis.

Figura 4 – Emissões de GEE per capita no setor de transporte (Brasil versus Brasil Sintético)



Fonte: Elaborada pelo autor

A capacidade do Brasil sintético em reconstituir a trajetória das emissões de CO₂ do Brasil no período pré-tratamento é fundamental para a suposição de que a unidade de controle sintética fornece a série de emissões até 2021 na ausência de um mercado de carbono setorial. Pode-se ver na figura 4 que houve um ajuste da trajetória de emissões antes do tratamento pelo menos até 2008, sendo o descolamento mais relevantes das trajetórias entre os anos 2012 e 2015. Tal período coincide com os anos em que a alíquota da CIDE (Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico) foi zerada para evitar uma elevação no preço dos combustíveis.

A CIDE é um imposto de natureza extrafiscal implementado em 2001 que incide sobre a importação e comercialização de combustíveis fósseis. É um imposto que se diferencia dos demais que também incidem sobre os combustíveis pelo fato de sua receita ser destinada a projetos de infraestrutura e a projetos ambientais relacionados com a indústria do petróleo e gás (Confederação Nacional de Municípios, 2016). Entretanto, como sua alíquota pode ser definida de forma discricionária, ele tem sido usado a partir 2012 para acomodar variações nos preços dos combustíveis. Por se tratar de uma questão particular brasileira, a característica e uso de tal imposto pode ter prejudicado e viesado a reconstrução da trajetória das emissões de CO₂ do Brasil no período pré-tratamento pelo grupo sintético.

Os pesos atribuídos a cada país para a construção do Brasil sintético podem ser visualizados na tabela 2. Veja que os países que receberam os maiores pesos foram Guiana e Uruguai, somando juntos 74,9%. Destaca-se também a Rússia e Índia como unidades de controle, pois tiveram uma participação de, respectivamente, 11,3% e 9,7%. Ao restante dos países foi atribuído pesos residuais no procedimento de otimização da diferença entre o tratamento e grupo sintético em termos das variáveis preditoras.

Tabela 2 – Peso de cada país no Brasil Sintético

País	Peso
Bolívia	0,030
Equador	0,000
Guiana	0,322
Índia	0,097
Paraguai	0,000
Peru	0,011
Rússia	0,113
Uruguai	0,427

Fonte: Elaborada pelo autor

A comparação os valores dos principais preditores para o Brasil antes do tratamento com os mesmos valores pra o Brasil Sintético e a média ponderada de toda a amostra pode ser vista na tabela 3. Para simplificação, os valores para os anos defasados foram omitidos da tabela. Observe que houve um bom ajuste entre a unidade sintética e o tratamento para todas as variáveis preditoras. Isso significa dizer que o Brasil Sintético é melhor na previsão da unidade de tratamento do que a média da amostra.

Tabela 3 – Preditores para emissão de GEE antes do tratamento

	Tratado	Sintético	Média da amostra
PIB per capita (US\$ de 2015)	7457,606	7707,976	5115,007
População Urbana (%)	81,663	62,484	59,761
Proporção do PIB industrial	24,147	25,426	29,251

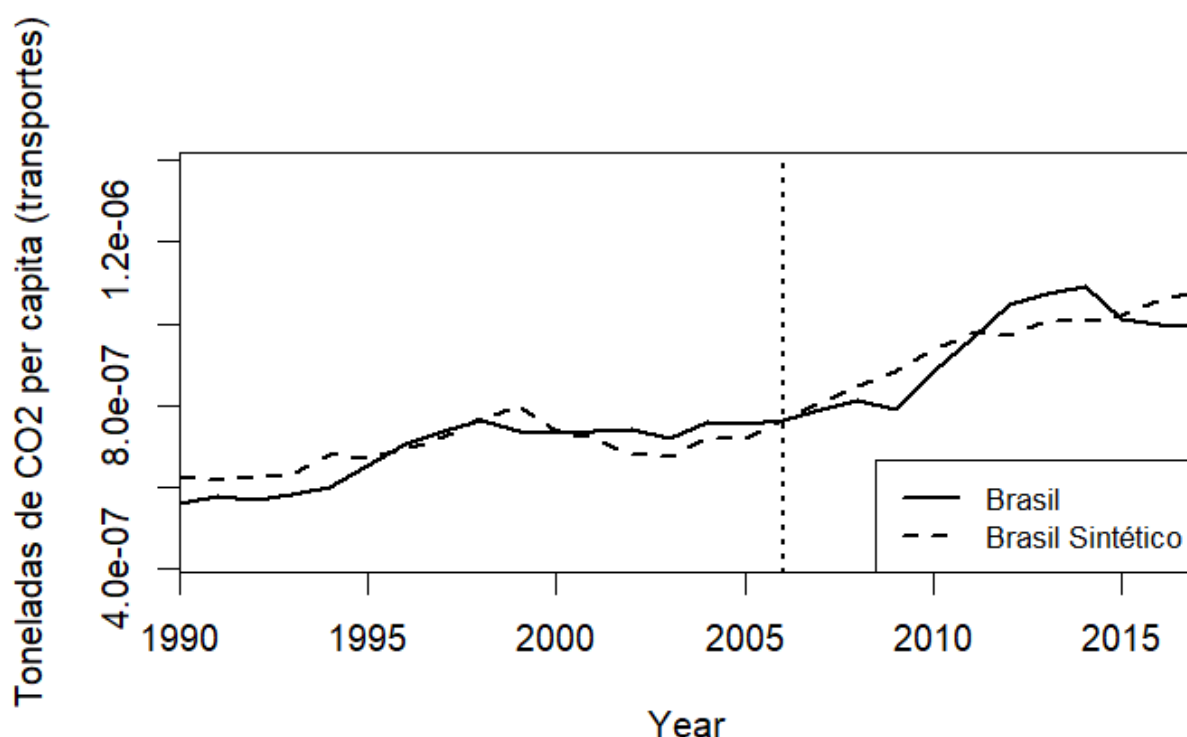
Fonte: Elaborada pelo autor

Ao final da construção da unidade sintética para o Brasil, percebe-se que foi possível atingir um resultado que permita verificar que o RenovaBio impactos as emissões de GEE brasileiras no setor de transporte, entretanto esse resultado parece ter sido verificado já em 2017, ano de aprovação da política. Para se ter segurança se realmente o resultado encontrado permite dizer algo sobre o impacto no RenovaBio, o presente trabalho irá desenvolver dois testes de placebo como robustez.

5.3 ROBUSTEZ

Para tornar mais robusta a afirmação de que o resultado encontrado se refere a um impacto do RenovaBio nas emissões de GEE brasileiras a partir de 2017, foram realizados dois testes de placebo. O primeiro deles no tempo, ou seja, variando o período de tratamento para verificar se há grande divergência da trajetória de emissões após o tratamento placebo, e o segundo no espaço que consiste em definir iterativamente cada um dos países da amostra como unidade tratada. Para o teste no tempo, o placebo o ano de tratamento é transferido para 2006, anterior tanto à aprovação quanto a implementação da política. A figura 5 mostra que o tratamento placebo não resulta em uma grande divergência da trajetória de emissões pós-tratamento placebo, o que contribui para a validade do resultado encontrado. Se tivesse ocorrido uma divergência significativa a partir de 2006, muito antes da política, poderia se argumentar que o efeito encontrado foi meramente ao acaso.

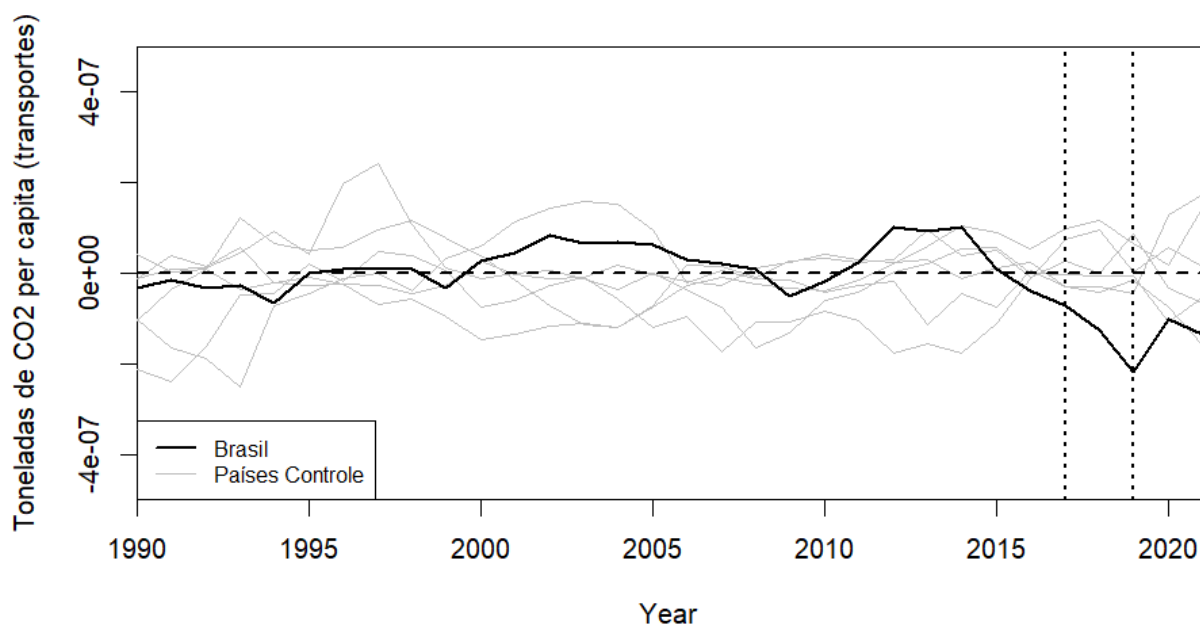
Figura 5 – Teste de placebo no tempo



Fonte: Elaborada pelo autor

O teste de placebo no espaço pode ser visto na figura 6. Observe que a divergência entre cada unidade tratada, representada pela linha hachurada, e cada país do controle sintético não ultrapassam o real do gap da real unidade tratada (Brasil), o que indica que não poderíamos ter tido uma estimação similar do efeito com um país em que a política não ocorreu. Os dois testes de placebo, portanto, apontam para o fato de que o RenovaBio teve efeito a partir de 2017 nas emissões de GEE no setor de transporte.

Figura 6 – Teste de placebo no espaço



6 CONCLUSÃO

O trabalho representa um esforço na avaliação de uma política de regulação de emissão de CO₂ mesmo com todos os problemas que a análise ex-post de uma medida implementada recentemente impõe. O resultado encontrado aponta que não houve efeito do RenovaBio nas emissões no setor de transporte no Brasil a partir de 2017, ano de aprovação da política, o que é corroborado pela realização dos testes de placebo. Assim, sugere-se que houve um efeito de antecipação da medida.

A presente pesquisa possui limitações metodológicas devido à indisponibilidade de dados a fim de adicionar outras variáveis de controle que ajudariam explicar as emissões. Como apontado por Andersson (2019), duas séries de dados importantes para explicar as emissões nos transportes são consumo de combustíveis fósseis e número de veículos automotores por habitante. Outra limitação relevante que prejudica a estimação é o fato de não haver uma série de dados mais longa para as emissões setoriais, especialmente no setor de transporte, para o Brasil e outros países selecionados para o controle. Como a política foi implementada em 2019 e os dados de emissões por transporte vão até 2021. Uma possível sugestão é refazer o trabalho em uma oportunidade posterior com uma maior disponibilidade de dados a fim de verificar se o efeito do programa se sustenta ao longo dos anos após sua implementação.

Ademais, tão importante quanto a criação de instrumentos que mitiguem os efeitos da emergência climática, como é o caso de um mercado de carbono, é sua frequente avaliação, especialmente no seu efeito em emissões de GEE. Em especial do Brasil com o RenovaBio, a particularidade de seu funcionamento se dar ao mesmo tempo para desincentivar o consumo de combustíveis fósseis e apoiar a produção de biocombustíveis faz com que o monitoramento do programa seja fundamental para sua operação. Além disso, o desempenho do mercado de carbono implementado de forma setorial pode servir de experiência para a regulamentação de um mercado mais amplo, o que já está sendo discutido pelo parlamento brasileiro.

REFERÊNCIAS

- Abadie A., Diamond, A., Hainmueller, J. (2015). Comparative politics and the synthetic control method. *American Journal of Political Science* 59, 2, 495-510.
- Abadie, A., Gardeazabal, J. (2003). The economic cost of conflict: A case study of the basque country. *American Economic Review* 93, 1 113-132.
- Andresson, J. J. (2019) Carbon taxes and CO₂ emissions: Sweden as a case study. *American Economic Journal: Economic Policy* 11, 4, 1-30.
- Barrage, L. (2019). Optimal Dynamic Carbon Taxes in a Climate–Economy Model with Distortionary Fiscal Policy. *The Review of Economic Studies* 87, 1, 1–39.
- Bovenberg, A. L., Goulder, L. H. (1996). Optimal environmental taxation in the presence of other taxes: general-equilibrium analyses. *The American Economic Review* 86, 4, 985–1000.
- Cavalcanti Pereira, P., Fernandes, B. d. B. (2023). Network and general equilibrium effects of carbon taxes and deforestation, Available at SSRN 44797551.
- Confederação Nacional de Municípios. (2016). Relatório Técnico: Contribuição de Intervenção sobre o Domínio Econômico – CIDE.
- Decreto 9.888, de 27 de julho de 2019 (2019). Dispõe sobre a definição das metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis de que trata a Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, e institui o Comitê da Política Nacional de Biocombustíveis - Comitê RenovaBio. Recuperado em 22 de julho, 2024, de: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/d9888.htm.
- Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Apresentação do RenovaBio. Recuperado em 22 de julho, 2024, de: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/renovabio>.
- Ferman, B. Pinto, C. (2021) Synthetic controls with imperfect pretreatment fit. *Quantitative Economics* 12, 4, 1197-1221.
- Lei nº13.576, de 26 de dezembro de 2017 (2017). Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Recuperado em 22 de julho, 2024, de <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2017/lei-13576-26-dezembro-2017-786013-veto-154632-pl.html>
- Ministério de Minas e Energia. RenovaBio. Recuperado em 22, julho, 2024 de <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/renovabio-1>.
- Moz-Chistofolletti, M. A., Pereda, P. C. (2021). Winners and losers: the distributional impacts of a carbon tax in Brazil. *Ecological Economics* 183, 106945.