

# **Incentivos fiscais são instrumentos adotáveis a partilha de riscos de PPPs na geração de energia eólica no Estado do Ceará e impactam na Cota-parte do ICMS.**

Gerson Ribeiro  
Edward Costa  
Tereza Oliveira  
Sergio Aquino  
Gildemir da Silva

Universidade Federal do Ceará – UFC  
CAEN – Curso de Pós-Graduação em Economia  
PPGER – Programa de Pós-graduação em Economia Rural

## **ÁREA 4 – SETOR PÚBLICO**

### **RESUMO**

O Estado do Ceará já possui uma infraestrutura significativa para energia eólica, com incentivos fiscais públicos e investimentos privados. Nesse sentido, o presente estudo buscou mensurar o impacto da renúncia fiscal na implementação de parques eólicos sobre a receita da cota-parte do ICMS o Estado do Ceará e a possibilidade de usar esse mecanismo como justificativa para a introdução de incentivos fiscais em parcerias público-privadas (PPPs) no estado. Para tanto, empregou-se o modelo de quase experimento de Controle Sintético Generalizado, proposto por Xu (2017). A análise dos impactos baseou-se em dados obtidos pela ANEEL e pelo FINBRA. Os resultados indicaram que a instalação de usinas eólicas teve um impacto positivo significativo na cota-parte de ICMS, o que sugere que a renúncia fiscal teve um efeito positivo na arrecadação de ICMS, o que justificaria para os gestores estaduais o uso de incentivos fiscais em parcerias público-privadas (PPPs) no estado do Ceará.

**Palavras-Chaves:** Energia Eólica, Incentivos Fiscais, Impacto, ICMS, PPPs.

**Classificação-Jel:** C10. H39. H70. Q40.

### **ABSTRACT**

The state of Ceará already boasts significant infrastructure for wind energy, featuring public tax incentives and private investments. In this regard, the current study aimed to measure the impact of tax exemptions on the implementation of wind farms on the ICMS revenue share in the state of Ceará and the potential use of this mechanism as a rationale for introducing tax incentives in public-private partnerships (PPPs) within the state. To do so, the Generalized Synthetic Control quasi-experiment model, as proposed by Xu (2017), was employed. The impact analysis was based on data obtained from ANEEL (the National Electric Energy Agency) and FINBRA. The results indicated that the installation of wind turbines had a significant positive impact on the ICMS revenue share. This suggests that tax exemptions had a positive effect on ICMS collection, justifying the use of tax incentives in public-private partnerships (PPPs) in the state of Ceará for state policymakers.

**Keywords:** Wind Energy, Tax Incentives. Impact, ICMS, PPPs.

**JEL Classification:** C10. H39. H70. Q40.

## 1 INTRODUÇÃO

A energia eólica nos últimos anos se destacou em diversos países do mundo, como China, Estados Unidos, Índia, Espanha, Brasil, pois além do baixo impacto ambiental esse tipo de energia possui uma das melhores relações custo-benefício quando se trata de energias renováveis (ABEEÓLICA, 2019). Ademais, é uma das fontes renováveis mais promissoras, destacando-se por possuir uma tecnologia aprimorada, com progressivo aperfeiçoamento e ampliação do tamanho do Sistema de Geração Eólica (aerogeradores), possibilitando uma maior conversão dos ventos em energia cinética e eletricidade (CASTRO, 2009).

Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no final de 2018, o país possuía 580 parques eólicos distribuídos em 14 estados. O Balanço Energético Nacional de 2022 registrou na matriz elétrica brasileira 10,9% de geração de energia eólica que ocupa o segundo lugar dentre as fontes de energia renováveis mais utilizadas no país, ficando atrás apenas das hidrelétricas que compõem a maior parte da matriz elétrica, 56,8%. A Região Nordeste, pelo seu grande potencial de ventos litorâneos, agrega mais de 80% de todo o potencial eólico brasileiro (ANEEL, 2020).

A instalação de parques eólicos no Brasil está sendo conduzida por empresas privadas com apoio financeiro e incentivos fiscais do poder público. Os principais financiadores do setor de energia eólica incluem instituições como a Caixa Econômica Federal (CEF), o Banco do Nordeste (BNB) através do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE), o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). A atuação da SUDENE abrange não apenas políticas de financiamento, mas também políticas de incentivos fiscais (LIMA, 2022).

Os incentivos fiscais se fazem necessários na implementação da indústria eólica não apenas por esse setor ser visto como mais uma atividade industrial

relevante economicamente, mas também em razão do seu impacto ambiental positivo. Entende-se que os incentivos fiscais podem desempenhar um papel importante no estímulo ao setor privado na instalação das fontes geradoras de energia.

De acordo com Costa et al (2017) o mecanismo da utilização de isenções fiscais se apresenta como uma forma alternativa de atrair investimentos do setor privado por meio de contratos de parcerias público-privadas (PPPs), citando-se inclusive normativa já existente para esse fim. Esse mecanismo já é utilizado por alguns países para a atração de PPPs (Rússia, Bangladesh, Índia, por exemplo para o setor de infraestrutura). As PPPs representam um formato de colaboração e provisão de serviços públicos intermediários entre as entidades governamentais e o setor privado. Essas parcerias têm como base relações cooperativas de longo prazo entre esses dois participantes (THAMER, 2013).

O Estado do Ceará, de acordo com o relatório INFOVENTO, conta com 98 parques eólicos em funcionamento, 2568,3 MW de potência de geração e 1.138 aerogeradores, resultado que posiciona o Estado em 4º no Brasil (ABEEOLICA, agosto de 2023). É importante ressaltar que esse notável esforço em infraestrutura, direcionado para a diversificação da matriz energética cearense, conta com investimentos tanto do setor privado quanto do governo estadual e de instituições federais. Esse comprometimento conjunto firma o Ceará como um dos principais polos de produção de energia eólica no Brasil.

Dentro deste contexto, o objetivo deste artigo é avaliar o efeito da renúncia fiscal em projetos de instalação de parques eólicos sobre a parcela do ICMS no Estado do Ceará e se esse mecanismo de renúncia fiscal pode justificar a implementação de incentivos fiscais em PPPs, no estado. Ou seja, com os resultados obtidos a partir deste estudo empírico envolvendo a implementação de parque Eólicos, projeto de investimento totalmente de origem privada, busca-se investigar se esse mecanismo gera maiores arrecadações da cota-parte de ICMS para o Estado do Ceará, o que irá promover o desenvolvimento econômico e social, através de um maior dinamismo na economia do município, o que justificaria a inclusão de incentivos fiscais em contratos de PPP para esse tipo de estrutura.

Além da presente introdução, a estrutura do trabalho é dividida em mais quatro seções. Na segunda seção é realizada uma revisão de literatura com foco na energia eólica e incentivos fiscais. As seções três e quatro trazem os aspectos

metodológicos e resultados obtidos, respectivamente. A quinta seção encerra o trabalho com as considerações finais.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Energia Eólica no Nordeste: O caso do Ceará**

As necessidades de energia no Brasil ainda têm sido supridas, de forma geral, a partir da fonte hídrica, tendo em vista o seu vasto potencial, um dos mais elevados do planeta. Entretanto, em algumas regiões brasileiras, como, por exemplo, no Nordeste, o potencial hidrelétrico está quase esgotado e, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o consumo de energia elétrica nessa região cresce a um ritmo significativamente superior ao do PIB regional.

Frente a essa situação, a região nordeste do Brasil está acompanhando a tendência global de substituição de fontes de energia não renováveis e mais poluentes por fontes de energia renovável e mais limpa. Dentre essas fontes renováveis e menos prejudiciais ao meio ambiente estão as energias solar e a eólica. A instalação de parques eólicos, em particular, vem aumentando gradativamente no Nordeste, uma vez que essa região favorece à produção desse tipo de energia, dado que condições geográficas e climáticas, principalmente anemométricas (relacionadas à velocidade dos ventos) são fatores primordiais e nessa região, onde os aerogeradores são instalados, a velocidade dos ventos atinge médias anuais a partir de 6m/s. Além disso, esse tipo de energia demanda um mínimo de matéria-prima resumindo-se apenas àquelas utilizadas em suas estruturas e equipamentos.

Considerando somente a energia eólica, o Brasil tem, atualmente, 26GW de capacidade instalada em operação comercial, sendo 916 parques eólicos, 10.178 aerogeradores em operação em 12 estados da federação. Ainda conforme a ABEEÓLICA em termos de representatividade e abastecimento, a geração verificada pela fonte eólica em 2022 foi responsável por 13,52% na média de toda a geração injetada no Sistema Interligado Nacional — SIN. Já no período de melhores ventos, que ocorre no segundo semestre, a representatividade da eólica aumentou e teve seu ápice em setembro, com 19,18% da geração do SIN. Note-se que 120,51% da energia

consumida no subsistema nordeste veio das Eólicas, com fator de capacidade de 71,18% e geração de 14.722 MWmed (dados de 11/10/2022) e em termos de geração e representatividade da fonte eólica o Nordeste apresentou uma geração de 70,48 TWh correspondendo a uma representatividade de 90,3%. O quadro abaixo ilustra esses dados para as regiões do Brasil (ABEEÓLICA, 2023).

Quadro 1 – Geração e Representatividade da Fonte Eólica

REGIÃO	Geração (TWh)	Representatividade	Geração (TWh)	Representatividade	% de crescimento
Sudeste	0,06	0,10%	0,06	0,10%	16%
Sul	6,2	8,70%	5,95	7,60%	-4%
Nordeste	63,2	88,70%	70,48	90,30%	12%
Norte	1,76	2,50%	1,59	2,00%	-10%
Total	71,22	100%	78,08	100%	9,60%

Fonte: Elaboração dos autores a partir da ABEEÓLICA, Boletim Anual, 2022. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/>.

Os quatro estados com maior geração no ano de 2022 foram Bahia (24,17 TWh), Rio Grande do Norte (23,20 TWh), Piauí (10,29 TWh), Ceará (7,06 TWh) e Rio Grande do Sul (5,37 TWh). O montante de geração verificado para cada estado brasileiro com participação eólica encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Geração por Estado - 2022 (MWmed)

REGIÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
RN	1838,2	2157,8	1703,5	1788,9	1998,5	1866,4	3282,6	3815,1	3944,0	3894,6	2652,6	2785,8
BA	1658,0	1828,3	2837,6	2669,9	2826,0	3005,4	3634,0	3755,3	3486,3	3550,0	1981,9	1785,0
PI	568,5	553,8	825,2	913,6	1259,4	1456,9	1638,8	1725,5	1610,2	1654,9	868,2	966,8
RS	636,0	586,6	585,2	486,0	494,1	536,0	641,7	589,0	730,8	735,6	720,4	637,2
CE	616,6	744,7	419,3	357,1	453,8	466,9	672,7	1061,7	1375,9	1412,2	-	1096,0
PE	327,3	327,2	357,5	323,8	345,2	310,3	483,0	510,6	526,9	543,8	1006,1	400,6
MA	146,6	185,8	75,4	83,3	70,4	93,7	113,3	248,5	337,2	342,5	344,9	251,6
PB	142,8	156,3	190,4	191,1	240,6	230,5	370,5	378,1	344,4	341,1	224,3	198,4
SC	50,9	43,4	55,4	60,6	69,6	77,1	94,3	86,5	84,4	63,9	181,2	48,6
SE	5,3	7,8	5,2	5,1	8,0	8,6	11,7	10,9	8,3	9,2	64,7	8,3
RJ	9,0	5,9	8,8	3,7	4,3	3,8	7,6	9,3	7,9	10,5	8,7	9,0
PR	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Elaboração dos autores a partir da ABEEÓLICA, Boletim Anual, 2022. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/>.

## 2.2 Energia eólica, incentivos fiscais e PPPs

A migração de fonte de energias não renováveis e poluentes para renováveis

e mais limpas não se dá rapidamente e necessita de altos investimentos com custos elevados, sendo necessários anos de estudos e planejamento além de investimentos em infraestrutura física e humana. Nesse sentido, a adoção de políticas públicas que auxiliem a gradual alteração dessas fontes de energia é necessária. Entretanto, investimentos desse porte são muito onerosos para os cofres públicos, dessa forma, uma alternativa, é o investimento público e privado em conjunto.

Analisando-se o histórico evolutivo do setor de energia eólica no Brasil e no mundo, observa-se que os programas de incentivo têm sido relevantes no crescimento e competitividade alcançada pela atividade nos últimos anos. E nesse processo há o envolvimento não só do setor privado como também do setor público, sobretudo com a utilização de políticas públicas. Em linhas gerais podem ser classificadas em três categorias as políticas utilizadas para promoção da pesquisa, desenvolvimento e implantação de fontes renováveis: incentivos fiscais; mecanismos estatais de financiamento; e políticas regulatórias. São apontados, ainda, como categorias complementares, o sistema de tarifas *feedin*, os leilões de energia, os certificados verdes, e os sistemas de compensação de energia (*net-metering*) (AGRA NETO, 2015. p. 175).

Os incentivos fiscais analisados nesse estudo dizem respeito àqueles instituídos em relação ao ICMS na geração de energia eólica no Brasil, principalmente, no Ceará, assim como os incentivos federais que também beneficiam o setor eólico, e alguns programas instituídos com vistas ao desenvolvimento da fonte de geração eólica.

O Estado do Ceará aplica a regra de substituição tributária para o recolhimento do ICMS-Energia Elétrica que considerando as alíquotas máximas incidentes sobre o consumo residencial, esta alíquota é de 25% para o ICMS-Energia Elétrica, mas sobre ela incide o acréscimo de 2% ao FECOP, resultando, portanto, numa alíquota de 27%. Na esfera dos incentivos fiscais voltados especificamente para o setor eólico, destaca-se a redução das tarifas de TUST e TUSD estabelecida pela Lei nº 10.762/2003; a alíquota zero do Imposto de Importação sobre aerogeradores, assim como, originalmente, para suas partes e peças; a alíquota zero do IPI para os aerogeradores e para alguns de seus componentes específicos; e a alíquota zero das contribuições ao PIS/PASEP e à COFINS sobre a receita bruta decorrente da venda, no mercado interno, de partes dos aerogeradores, exceto pás eólicas.

O Convênio ICMS 101/97 concede isenção do ICMS nas operações com determinados equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica e está previsto para vigorar até 2028. Em 2017 houve a adesão do Ceará ao Convênio ICMS 109/14 inicialmente autorizava a Paraíba e o Piauí a conceder diferimento do ICMS devido nas operações com máquinas, equipamentos e materiais destinados à captação, geração e transmissão de energia solar ou eólica, incorporados ao ativo imobilizado de estabelecimentos geradores. O Convênio ICMS 16/15 concede isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 o qual o Estado do Ceará internalizou em sua legislação estadual. Há, ainda, entre os programas de incentivo implementados pelo Ceará previsões de diferimento e concessão de crédito presumido do ICMS, autorizados a atividades industriais em geral, dentre as quais o setor eólico.

Convém, entretanto, ver o outro lado desse esforço realizado para a transformação da matriz energética brasileira, em particular a cearense: o setor privado. Dessa forma, ao se falar em incentivos fiscais, presume-se que há o ente privado do outro lado. Os vultuosos investimentos no setor de aproximadamente US\$ 3,12 bilhões de média ano, no período entre 2011 e 2018, conforme a ABEEólica baseada em cálculos da *Bloomberg New Energy Finance*, junto ao constante aumento da participação da energia eólica na Matriz Elétrica Brasileira vêm transformando a realidade econômica, social e ambiental de diferentes formas pelo país. A geração de empregos diretos e indiretos, o empreendedorismo e as indústrias de fabricação de peças, montagem e manutenção dos equipamentos e parques eólicos e o vínculo com demais partes interessadas como prefeituras, demais órgãos governamentais, meio acadêmico e científico vêm mobilizando outras esferas que vão muito além da produção de energia.

Nesse contexto marcado pela necessidade de grandes investimentos em infraestrutura, existência de significativos incentivos fiscais e forte interesse do setor privado em atuar no setor da energia eólica, a Parcerias Público-Privada (PPP) pode ser um modelo capaz de gerar ganhos de eficiência e melhorar os resultados fiscais dos entes públicos. Mesmo que haja algumas variações no conceito de PPP entre os países, uma intersecção é que as PPPs são mecanismos de contratação e prestação de serviços públicos intermediários entre os polos público e privado, baseando-se em relações de cooperação de longo prazo entre as duas partes (THAMER, 2013). Este

mecanismo tem sido largamente utilizado para a realização de contratos de construção de infraestruturas de grande porte, associada à prestação dos serviços relacionados à população por um longo período (GRIMSEY e LEWIS, 2002).

O modelo de investimento misto, público e privado, que está explícito na infraestrutura de transformação da matriz energética brasileira, e por consequência, cearense, tem como intuito levantar a seguinte questão: sendo a renúncia fiscal uma forma de incentivar a participação privada em projetos de energias renováveis, aqui em particular a energia eólica, que possuem características eminentemente privadas, e se esse mecanismo (renúncia fiscal) gera resultados para o desenvolvimento do Estado então justificaria a incorporação de tais mecanismos em contratos de parceria público privadas uma vez que essa parceria traz consigo riscos, entre eles o risco decorrente da renúncia fiscal em si?

### **2.3 Evidências empíricas sobre os efeitos das usinas eólicas**

A relação entre a implantação de parque eólicos e os resultados econômicos locais tem sido objeto de crescente interesse na literatura que analisa o impacto do investimento em fontes de energias renováveis sobre a economia local. Para o caso brasileiro, como pode ser visto em Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020), os resultados obtidos sugerem que o estabelecimento de uma usina eólica em determinado município está relacionado a melhores resultados no crescimento do PIB municipal, bem como no mercado de trabalho da região.

Do ponto de vista metodológico, as abordagens utilizadas são variadas, indo desde o Método Estrutural Diferencial (*Shift Share*) aplicado em Rintzel, Alves e Massuquetti (2017) até métodos quase-experimentais como o Controle Sintético (CS) em Martini, Jordão e Grimaldi (2018), o Pareamento com Escore de Propensão Espacial em Rodrigues, Gonçalves e Chagas (2019) e versões não canônicas do método de Diferenças em Diferenças (DiD), como em Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020) e Sampaio, Costa e Irffi (2023).

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Base de dados**

Para analisar os efeitos da instalação de parques eólicos, utilizam-se informações do Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA) com a quantidade de parques e a potência instalada de cada parque, considerando a data de

implementação, localização das usinas e a capacidade instalada. Vale ressaltar que foram excluídas do tratamento usinas com potência instalada menor ou igual a 100 quilowatts (Kw), pois essas usinas não são construídas com finalidade comercial (GONÇALVES; RODRIGUES; CHAGAS, 2020).

A cota parte do ICMS é extraída do FINBRA, a velocidade dos ventos tem como fonte o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), enquanto algumas características dos municípios como densidade populacional e a tipologia municipal (rural, urbano) são provenientes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O período de análise corresponde aos anos de 2009 a 2019, pois a partir de 2009 houve uma expansão da instalação de usinas eólicas no Brasil.

### **3.2 Controle Sintético Generalizado**

Como descrito na seção anterior, o estabelecimento de usinas eólicas nos municípios cearenses aconteceu em diferentes momentos do tempo. Tal característica motiva a utilização de metodologias que permitam avaliar o efeito de intervenções ocorridas de forma escalonada, como os DiD não canônicos utilizados nos trabalhos acima citados. Entretanto, a identificação do efeito de uma intervenção através do método DiD depende, mesmo em suas versões mais recentes, da validade da suposição de tendências paralelas, que afirma que, na ausência da intervenção, os resultados médios das unidades alvos da intervenção (tratadas) teriam trajetória paralela à observada para as unidades que não sofreram intervenção (controles).

Nesse contexto, o método do Controle Sintético Generalizado (CSG) proposto em Xu (2017) surge como uma alternativa metodológica para identificar o efeito de uma intervenção quando a suposição de tendências paralelas não é verificada. Aplicações da referida metodologia podem ser vistas em trabalhos como: Ibrahim et al. (2020), que avalia políticas de saúde nos EUA; König, Ropers e Buchmann (2020), que analisa reformas no mercado de trabalho do Reino Unido; Zhang et al. (2019), Ge e Lin (2021) e Tran (2022) investigam os efeitos de acordos ambientais internacionais, como o Protocolo de Kyoto; aplicações na área de ciências políticas podem ser vistas em Gilens, Patterson e Haines (2021) e Gorecki e Pierzgalski (2022), que analisam impactos de políticas públicas que tratam de financiamento de campanha e quotas no processo eleitoral, respectivamente. Considerando a literatura nacional, Silva et al.

(2021) avalia políticas de combate à pobreza no Brasil. Assim, o CSG surge como uma alternativa para mensurar as evidências sobre o impacto das usinas eólicas sobre o dinamismo da economia.

Para além de relaxar a suposição de tendências paralelas existente nos modelos DiD, o CSG se caracteriza por combinar o CS proposto em Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010, 2015) com o modelo de efeitos fixos interativos, desenvolvido em Bai (2009). É possível citar algumas vantagens do método desenvolvido por Xu: (i) generaliza o método do CS para o caso de múltiplas unidades tratadas e/ou momentos diferentes de intervenção; (ii) produz medidas de dispersão frequentistas como o desvio-padrão e intervalos de confiança, além de ganhos de eficiência e (iii) possui um esquema de validação cruzada interno, que possibilita a seleção automática do número de fatores a serem incluídos nos modelo de efeitos fixos interativos.

Para fins de formalização do CSG<sup>1</sup>, considere que  $Y_{it}$  represente a variável de interesse da unidade  $i$  no tempo  $t$ . Adicionalmente,  $\tau$  e  $C$  denotam os conjuntos de unidades tratadas e controle respectivamente. O número de unidades na análise é dado por  $N = N_{tr} + N_{co}$  em que  $N_{tr}$  indica o número de unidades em que ocorreu algum tipo de intervenção e  $N_{co}$ , o número de unidades de controle. Todas as unidades são observadas por  $T$  períodos ( $t \in [1, \dots, T]$ ), o que faz com que a estrutura de dados seja um painel balanceado. Seja ainda  $T_{0,i}$  o número de períodos pré-intervenção para a unidade  $i$  e  $T_{0,i} + 1$  o período em que ocorre a intervenção, o número de períodos após o tratamento será dado por  $q_i = T - T_{0,i}$ .

Suponha agora que  $Y_{it}$  assumir a forma funcional, e que esta especificação esteja correta, de um modelo linear de fatores como descrito abaixo:

$$Y_{it} = \delta_{it}D_{it} + x'_{it}\beta + \lambda'_{it}f_t + \epsilon_{it}, (1)$$

onde  $D_{i,t}$  é uma variável binária que indica se a unidade  $i$  sofreu intervenção antes do período  $t$ , ou seja,  $D_{i,t} = 1$  quando  $i \in \tau$  e  $t > T_{0,i}$  e  $D_{i,t} = 0$ , caso contrário.  $\delta_{i,t}$  representa o efeito heterogêneo da intervenção na unidade  $i$  no tempo  $t$ .  $x'_{i,t}$  é um vetor ( $k \times 1$ ) de covariadas observáveis e  $\beta = [\beta_1 \dots, \beta_k]'$  é o vetor de parâmetros

---

<sup>1</sup> Para maiores detalhes do modelo, ver: Xu (2017).

desconhecidos;  $f_t = [f_{1,t} \dots, f_{r,t}]'$  é um vetor ( $r \times 1$ ) de fatores comuns não observados e  $\lambda_i = [\lambda_{i,1} \dots, \lambda_{i,r}]'$  é o vetor de cargas fatoriais desconhecidas.  $\epsilon_{i,t}$  representa o componente de erro com média zero. A ausência do índice  $i$  em  $f_t$  indica que todas as unidades estão sujeitas ao mesmo conjunto de fatores não observados ao longo do tempo, sendo o número de fatores fixos no período observado, indicando a incapacidade do CSG lidar com quebras estruturais nos dados.

Aplicando a notação de resultados potenciais, temos a seguinte configuração:  $Y_{i,t}(1)$  e  $Y_{i,t}(0)$  os resultados esperados para a unidade  $i$  quando  $D_{i,t} = 1$  e  $D_{i,t} = 0$ , respectivamente. Assim,  $Y_{i,t}(0) = x'_{i,t}\beta + \lambda'_i f_t + \epsilon_{i,t}$  e  $Y_{i,t}(1) = \delta_{i,t} D_{i,t} + x'_{i,t}\beta + \lambda'_i f_t + \epsilon_{i,t}$ . Dessa forma, o efeito individual da intervenção sobre a unidade  $i$  no tempo  $t$  pode ser escrito como  $\delta_{i,t} = Y_{i,t}(1) - Y_{i,t}(0) \forall i \in \tau, t > T_{0,i}$ . Portanto, o Efeito Médio do Tratamento (ATT) será dado por:

$$ATT_{t,t>T_{0,i}} = \frac{1}{N_{tr}} \sum_{i \in \tau} [Y_{it}(1) - Y_{it}(0)] = \frac{1}{N_{tr}} \sum_{i \in \tau} \delta_{it}. \quad (2)$$

Considerando que  $Y_{i,t}(1)$  é observado para as unidades tratadas nos períodos pós-intervenção, o principal de métodos quase-experimentais, assim como o CSG, é construir contrafactuais para cada unidade tratada em períodos pós-tratamento, em outras palavras, construir  $Y_{i,t}(0)$  para  $i \in \tau, t > T_{0,i}$ . Logo, o estimador do CSG para o efeito do tratamento sobre a unidade  $i$  no tempo  $t$  será dado por  $\hat{\delta}_{i,t} = Y_{i,t}(1) - \hat{Y}_{i,t}(0)$ , no qual  $\hat{Y}_{i,t}(0)$  será estimado através dos seguintes passos:

1. Estimar o modelo de efeitos fixos interativos somente para as unidades de controle para obter  $\hat{\beta}, \hat{f}_t$  e  $\hat{\lambda}_{co}$ ;
2. Utilizando  $\hat{\beta}$  e  $\hat{f}_t$  calculados no passo anterior, estimar as cargas fatoriais para as unidades tratadas,  $\hat{\lambda}_i \ i \in \tau$ , minimizando o erro quadrático médio da previsão para as unidades tratadas no período pré-tratamento;
3. Calcular os contrafactuais para as unidades tratadas com base em  $\hat{\beta}, \hat{f}_t$  e  $\hat{\lambda}_i$  da seguinte forma:  $\hat{Y}_{i,t}(0) = x'_{i,t}\hat{\beta} + \hat{\lambda}'_i \hat{f}_t$ .

De posse de  $\hat{Y}_{i,t}(0)$  o estimador do da Equação será dado por:

$$\widehat{ATT}_{t,t>T_{0,i}} = \frac{1}{N_{tr}} \sum_{i \in \tau} [Y_{it}(1) - \hat{Y}_{it}(0)]. \quad (3)$$

Conforme reportado por Xu (2017), simulações de Monte Carlo sugerem que o CSG apresenta bom desempenho mesmo com  $T_{0,i}$  e  $N_{co}$  relativamente pequenos. Adicionalmente, o autor aponta vantagens sobre alguns métodos existentes, tais como: (i) menor viés que os estimadores DiD e de efeitos fixos; (ii) corrige o viés do método de efeitos fixos interativos quando o efeito do tratamento é heterogêneo entre as unidades e (iii) é mais eficiente que o método do CS.

### 3.3 Estratégia empírica

Tendo como ponto de partida a Equação 1, a variável de interesse aqui analisada será o  $ICMS_{it}$ , que representa a cota-parte do ICMS recebida por determinado município no tempo  $t$ ; o vetor de covariadas observáveis  $x_{it}$  é composto das seguintes variáveis:  $PIB_{pcit}$ ,  $VELOC_{it}$  e  $DENS_{it}$ , que representam o Produto Interno Bruto *per capita* municipal, a velocidade dos ventos e a densidade populacional, respectivamente. Dessa forma, a regressão base do exercício aqui conduzido toma a forma:

$$ICMS_{it} = \delta_{it}D_{it} + PIB_{pcit}\beta_1 + VELOC_{it}\beta_2 + DENS_{it}\beta_3 + \lambda'_i f_t + \epsilon_{it} \quad (4)$$

Os municípios tratados, i.e., aqueles em que ocorreu a construção de usinas eólicas podem ser vistos no Quadro 2, juntamente com o ano em que ocorreu a intervenção e a região de planejamento<sup>2</sup> a qual pertencem.

Quadro 2 – Municípios tratados por ano.

Ano	Municípios	Região de Planejamento
2009	Amontada; Aracati; Beberibe; Camocim	Litoral Leste; Litoral Oeste; Litoral Norte
2010	Acaraú	Litoral Norte
2012	Paracuru	Grande Fortaleza
2013	Trairi	Grande Fortaleza
2014	São Gonçao do Amarante; Itarema	Grande Fortaleza; Litoral Norte
2016	Ibiapina; Tianguá; Ubajara	Serra da Ibiapaba
2017	Icapuí	Litoral Leste

Fonte: Elaboração dos autores.

<sup>2</sup> Para mais informações acerca das regiões de planejamento do Ceará ver Medeiros et al. (2015).

Inicialmente, optou-se por analisar o painel completo de municípios cearenses<sup>3</sup>, o que nos informou o resultado denominado como ATT agregado para o Ceará. Nesse primeiro cenário, os controles na análise aqui realizada foram os demais municípios do estado que não possuem usina eólica em seu território.

Entretanto, para controlar as heterogeneidades entres os municípios, foi realizado um segundo exercício, que consistiu em estimar a Equação 4 para cada região de planejamento. Nesse segundo momento, os controles foram definidos da seguinte forma: (i) definiu-se uma distância limite de 200 quilômetros para determinar a vizinhança dos municípios tratados; (ii) Para controlar eventuais efeitos de transbordamento<sup>4</sup>, foram excluídos da vizinhança os municípios pertencentes a mesma região de planejamento e a regiões de planejamento em que também existem usinas eólicas. Assim, os controles são municípios que estão da vizinhança do tratado, mas que são menos propensos a receberem algum tipo de *spillover*.

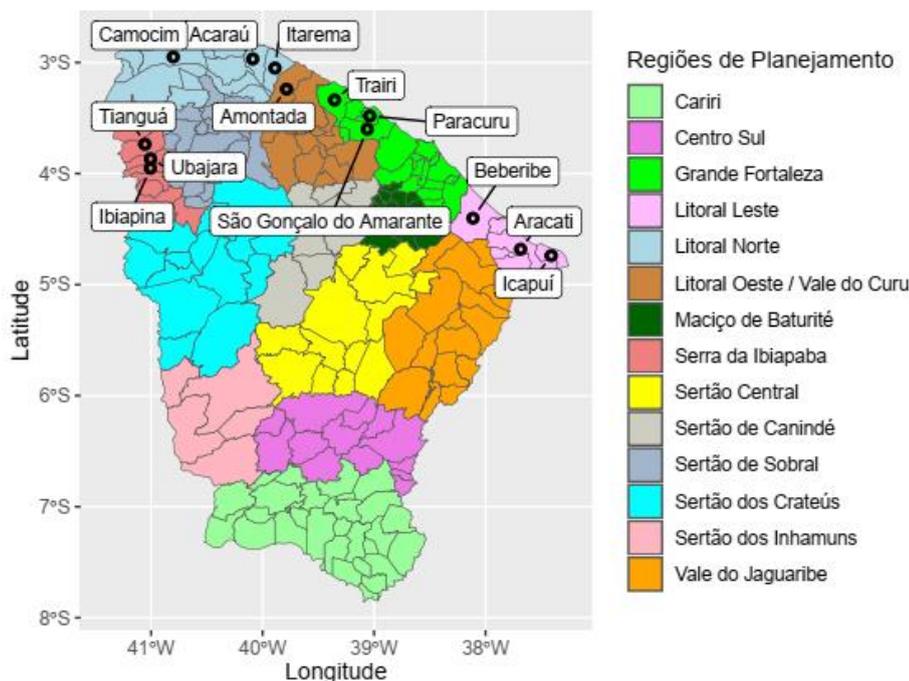
A Figura 1 permite exemplificar o processo de construção do grupo de controle para cada região de planejamento. Tomando como exemplo o Litoral Leste, os controles são os municípios que estão a uma distância de até 200 quilômetros e que não são do próprio Litoral Leste e Grande Fortaleza. Dessa forma, o grupo de controle para a região em questão é formado por municípios das regiões Maciço de Baturité, Vale do Jaguaribe, Sertão Central e Sertão do Canindé, que estejam na distância limite.

### **Figura 1 – Municípios cearenses com Usinas Eólicas**

---

<sup>3</sup> Para evitar a influência da capital do estado, Fortaleza, sobre os resultados, optou-se por retirar a região de planejamento da Grande Fortaleza da análise.

<sup>4</sup> Para uma revisão de literatura sobre interações fiscais entre governos locais ver Revelli e Bracco (2020).



Fonte: Elaborado pelos autores.

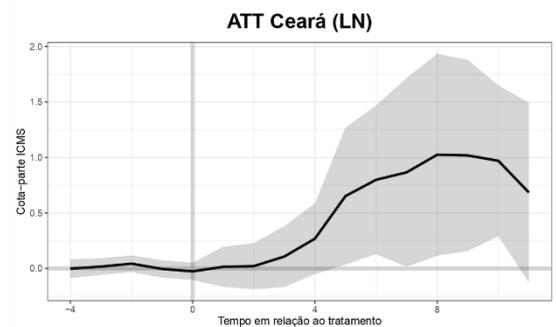
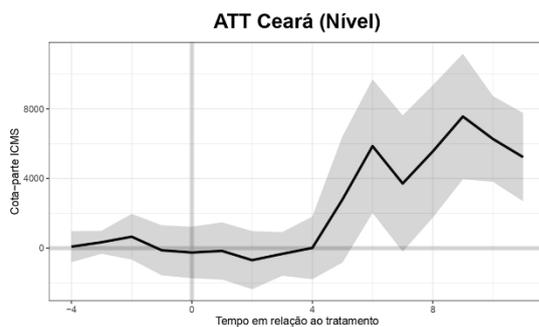
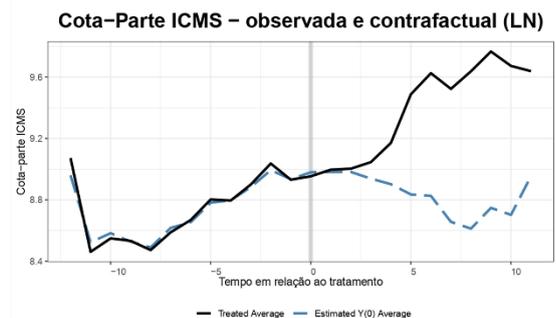
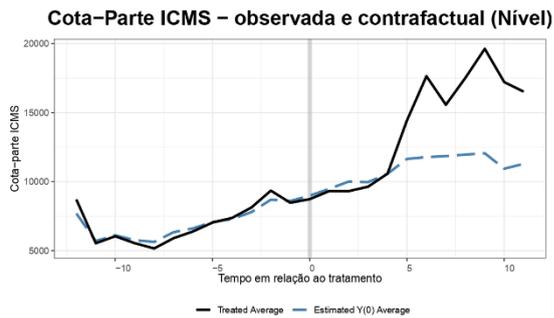
## 4 RESULTADOS

Segue-se a exposição dos resultados obtidos através da execução dos exercícios empíricos delineados anteriormente. A análise estará fundamentada em dois pontos principais: (i) análise gráfica da trajetória da cota-parte do ICMS das unidades tratadas em comparação com a unidade sintética criada pelo método do CSG e (ii) análise do ATT médio estimado e também para os anos após tratamento.

### 4.1 Resultados agregados

A primeira parte dos resultados é dedicada a estimação denominada como ATT agregado para o Ceará. A Figura 2 exibe sem seu painel superior à trajetória da média da variável  $ICMS_{i,t}$  efetivamente observada, para as unidades tratadas (linha sólida preta) em comparação com a média prevista para o controle sintético estimado (linha tracejada azul). A linha vertical representa o momento em que ocorre a intervenção. Para maior robustez, a estimação é realizada com a variável dependente em nível e também em logaritmo natural.

Figura 2 – Trajetória e ATT



Fonte: Elaborado pelos autores

Verifica-se, que em ambas as estimações, até o momento em que ocorre a intervenção, a trajetória do controle sintético estimado se assemelha, com bastante precisão, ao comportamento dos municípios com parques eólicos. Contudo, a partir da intervenção, existe um descolamento entre as trajetórias, com o  $ICMS_{it}$  das unidades tratadas crescendo em um ritmo bem mais forte que o da sua contraparte sintética.

A evidência gráfica apresentada acima é corroborada pelas estimativas do ATT apresentadas na Tabela 2, que indicam um efeito médio sobre as unidades tratadas positivo e com significância estatística ao nível de 5%, independente da forma que  $ICMS_{it}$  assuma.

Tabela 2 – ATT Ceará Agregado

	ATT	P-Valor	Nº Tratados	Nº Controles
ICMS <sub>it</sub> – Nível	2.354,65	0,01	10,00	155,00
ICMS <sub>it</sub> – Ln	0,46	0,04	10,00	155,00

Fonte: Elaborado pelos autores.

De fato, os resultados apontam um adicional médio na cota-parte do ICMS de R\$ 2,35 milhões para os municípios com usinas eólicas, na comparação com o contrafactual em que tais municípios não tivessem recebido a instalação desses equipamentos. A estimacão feita em Ln<sub>13</sub> permite inferir um aumento médio de 46% na

cota-parte do ICMS para as unidades tratadas.

Observado novamente a Figura 2, mas agora em seu painel inferior, temos a trajetória do ATT estimado. Espera-se que o efeito estimado seja zero nos períodos pré- intervenção e positivo nos períodos subsequentes. A evidência gráfica do painel inferior está alinhada com a análise já realizada e aponta a ocorrência de um ATT positivo e como significância estatística 5 após a intervenção.

A Tabela 3 complementa a análise apresentando o ATT médio para os anos após o tratamento. Duas evidências principais podem ser obtidas a partir da análise da referida tabela: (i) A chegada de usinas eólicas só apresenta ganhos na cota-parte do ICMS recebida pelos municípios tratados 5 anos após sua instalação. Tal informação é relevante como indicador do tempo de maturação do investimento público e para ancorar previsões de aumentos na receita municipal. (ii) Após o quinto ano, o ATT cresce a uma taxa anual média de 20,86% (Considerando a variável em nível), sugerindo um efeito positivo consistente no médio/longo prazo.

Tabela 3 – Efeito médio para anos após tratamento

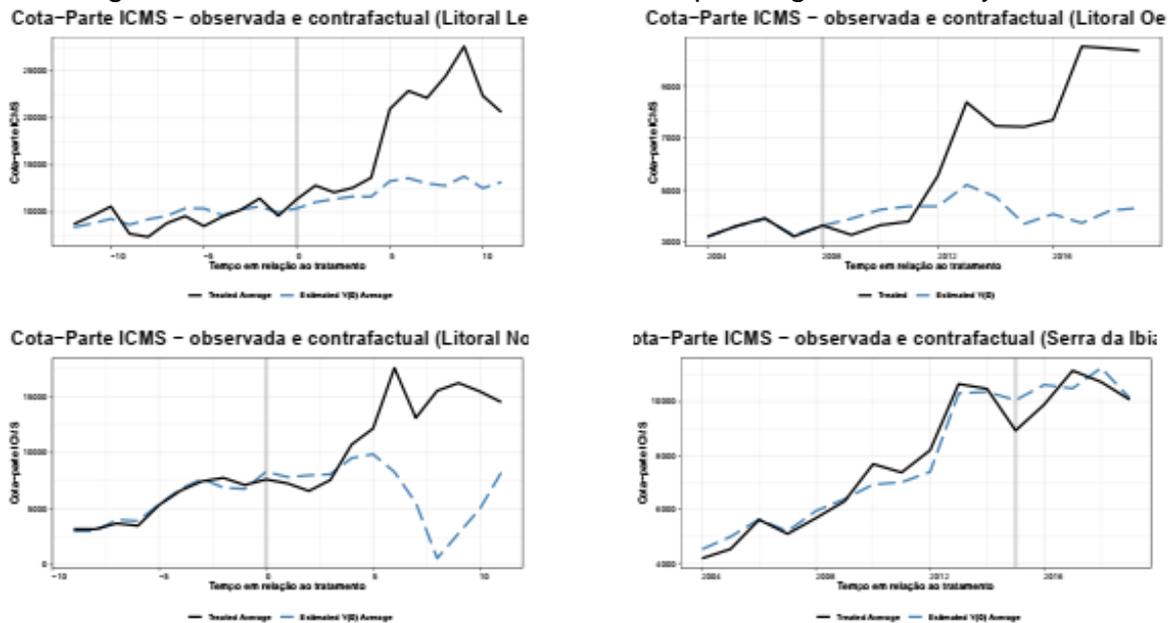
Ano	<i>ICMS<sub>it</sub> - Nível</i>		<i>ICMS<sub>it</sub> - Ln</i>		Nº Tratados
	ATT	P.valor	ATT	P.valor	
1	-162,52	0,79	0,01	0,87	10,00
2	-693,52	0,25	0,02	0,84	10,00
3	-333,40	0,53	0,11	0,41	10,00
4	11,30	0,99	0,27	0,07	9,00
5	2.794,55	0,04	0,65	0,02	6,00
6	5.861,08	0,00	0,80	0,01	6,00
7	3.714,75	0,01	0,87	0,03	5,00
8	5.555,89	0,00	1,02	0,01	5,00
9	7.564,75	0,00	1,02	0,01	5,00
10	6.271,89	0,00	0,97	0,00	5,00
11	5.230,36	0,00	0,68	0,06	4,00

Fonte: Elaboração dos autores.

#### 4.2 Resultados por regiões de planejamento e municípios.

Considerando a existência de diferenças socioeconômicas entre as regiões do Ceará, e conforme detalhado na estratégia empírica, seguem-se os resultados da estimação da Equação 4 para as regiões de planejamento. A Figura 3 compara a trajetória da cota-parte do ICMS observada em relação o contrafactual por região de planejamento. A análise gráfica sugere efeitos positivos para os Litorais Norte, Leste e Oeste e ausência de efeito para a Serra da Ibiapaba.

Figura 3 – Observado versus Contrafactual por Região de Planejamento



Fonte: Elaboração dos autores.

Embora a análise gráfica indique efeitos positivos para ao menos três regiões de planejamento, os dados constantes na Tabela 4 oferecem suporte para um ATT estatisticamente significativo somente para o Litoral Leste, com um efeito adicional médio de R\$ 6,07 milhões sobre a cota-parte do ICMS das unidades tratadas.

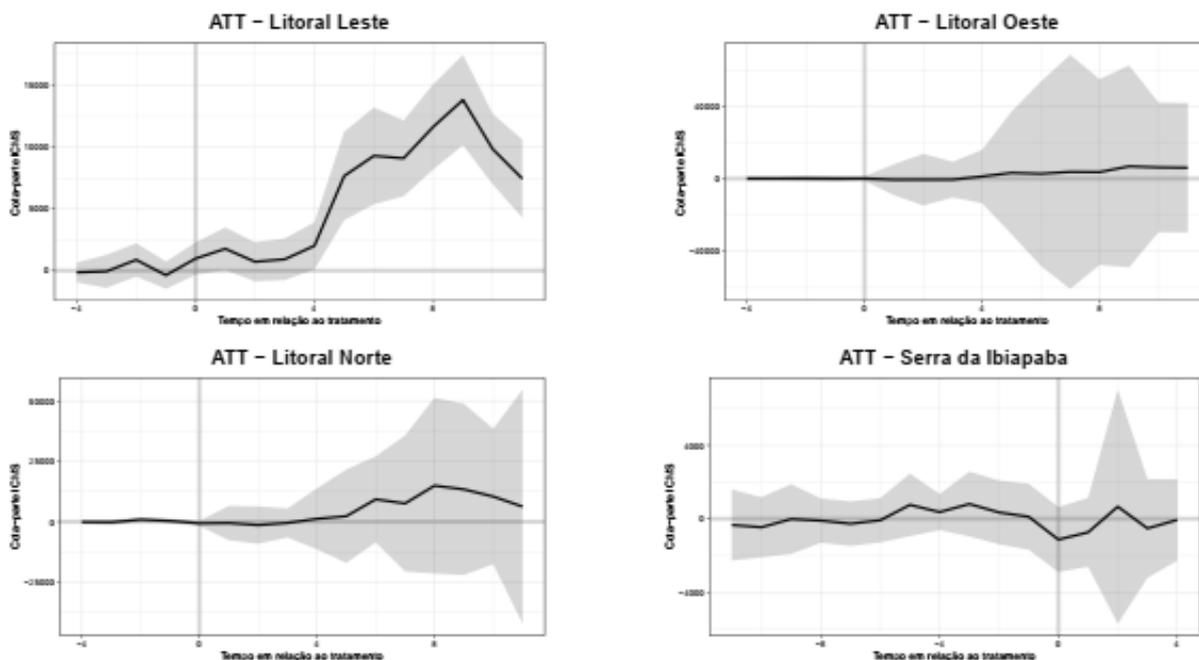
Tabela 4 – ATT por Região de Planejamento

	ATT	P-Valor	Nº Tratados	Nº Controles
Litoral Leste	6.069,77	0,00	3,00	45,00
Litoral Norte	4.808,54	0,46	3,00	47,00
Litoral Oeste	2.876,93	0,83	1,00	54,00
Serra da Ibiapaba	-164,10	0,88	3,00	42,00

Fonte: Elaboração dos autores.

A Figura 4 traz uma evidência adicional, que confirma a análise realizada acima ao mostrar que somente a trajetória temporal do ATT do Litoral Leste alcança significância estatística em um comportamento muito similar ao observado na estimação agregada. Uma das razões que pode motivar a ausência de efeito nas demais regiões de planejamento é a necessidade do período de maturação que ficou evidenciado na Tabela 3.

Figura 4 – ATT por Região de Planejamento



Fonte: Elaboração dos autores.

Por exemplo, municípios da Serra da Ibiapaba, como pode ser visto no Quadro 2, tiveram a implementação de suas usinas apenas em 2016. Assim, na amostra aqui utilizada o ATT ainda não teria atingido o período de cinco após o tratamento verificado. Em contrapartida, o Litoral Leste contou com dois municípios já na primeira leva de usinas (Aracati e Beberibe), ajudando a explicar o impacto encontrado.

## 5 Considerações Finais

O presente estudo buscou avaliar o impacto da renúncia fiscal em projetos de instalação de parques eólicos na receita de ICMS do Estado do Ceará, com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento econômico e social do Estado do Ceará, o que poderia fundamentar a inclusão de incentivos fiscais em contratos de PPPs desse tipo. Para tanto, foi utilizado um modelo de quase experimento de Controle Sintético Generalizado proposto por Xu (2017). Para analisar esses efeitos da instalação de parques eólicos, foram utilizadas informações do Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA) e do FINBRA.

O estudo demonstrou que a instalação de usinas eólicas teve um impacto positivo significativo na cota-parte do ICMS em algumas regiões do Ceará,

especialmente a longo prazo, enquanto outras regiões ainda não experimentaram esse impacto devido ao tempo necessário para maturação do investimento público.

Especificamente, observou-se que após a intervenção houve um aumento significativo na cota-parte do ICMS nos municípios que tem parques de energia eólica instalados, com um aumento médio de R\$ 2,35 milhões na cota-parte do ICMS. O efeito médio para os anos após o tratamento denota que os ganhos na cota-parte do ICMS só são observados 5 anos após a instalação das usinas eólicas. Além disso, após o quinto ano, o efeito médio continua a crescer a uma taxa anual média de 20,86%, indicando um efeito positivo consistente a médio e longo prazo.

As estimativas obtidas para diferentes regiões do Ceará sugerem efeitos positivos em algumas regiões, como Litoral Norte, Leste e Oeste, mas nenhum efeito observado na Serra da Ibiapaba. No entanto, apenas o Litoral Leste apresentou um efeito estatisticamente significativo, com um efeito adicional médio de R\$ 6,07 milhões na cota-parte do ICMS das unidades tratadas. Isso pode ser atribuído à necessidade de um período de maturação, já que alguns municípios tiveram suas usinas instaladas mais recentemente.

Portanto, não somente para o Estado do Ceará, mas também para todas as unidades da federação, esse tipo de parceria pode promover o desenvolvimento econômico e social e conseqüentemente aumentar o dinamismo das regiões onde estão instalados os parques de energia eólica, o que justificaria a inclusão de incentivos fiscais em contratos de PPP para esse tipo de estrutura.

### 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*, Taylor & Francis, v. 105, n. 490, p. 493–505, 2010. Citado na página 6.

ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. Comparative politics and the synthetic control method. *American Journal of Political Science*, Wiley Online Library, v. 59, n. 2, p. 495–510, 2015. Citado na página 6.

ABADIE, A.; GARDEAZABAL, J. The economic costs of conflict: A case study of the basque country. *American economic review*, American Economic Association, v. 93, n.

1, p. 113–132, 2003. Citado na página 6.

BAI, J. Panel data models with interactive fixed effects. *Econometrica*, Wiley Online Library, v. 77, n. 4, p. 1229–1279, 2009. Citado na página 6.

GE, J.; LIN, B. Does the kyoto protocol as an international environmental policy promote forest carbon sinks? *Journal of Global Information Management (JGIM)*, IGI Global, v. 30, n. 6, p. 1–22, 2021. Citado na página 6.

GILENS, M.; PATTERSON, S.; HAINES, P. Campaign finance regulations and public policy. *American Political Science Review*, Cambridge University Press, v. 115, n. 3, p. 1074–1081, 2021. Citado na página 6.

GONÇALVES, S.; RODRIGUES, T. P.; CHAGAS, A. L. S. The impact of wind power on the brazilian labor market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 128, p. 109887, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 10.

GORECKI, M. A.; PIERZGALSKI, M. Legislated candidate quotas and women's descriptive representation in preferential voting systems. *European Journal of Political Research*, Wiley Online Library, v. 61, n. 1, p. 154–174, 2022. Citado na página 6.

IBRAHIM, A. M. et al. Evaluation of us hospital episode spending for acute inpatient conditions after the patient protection and affordable care act. *JAMA Network Open*, American Medical Association, v. 3, n. 11, p. e2023926–e2023926, 2020. Citado na página 6.

KÖNIG, T.; ROPERS, G.; BUCHMANN, A. Comparative politics and causal evaluation of structural reforms: the case of the uk national minimum wage introduction. *Political Science Research and Methods*, Cambridge University Press, v. 8, n. 2, p. 301–314, 2020. Citado na página 6.

COSTA, W. O. S. FILHO, A. C. P.; JUSTINO, D. S. N.; LIVRAMENTO, R. L.  
EXTRAFISCALIDADE NAS PARCERIAS PÚBLICO-PRIVADAS: MECANISMO

ALTERNATIVO DE VIABILIDADE. *Revista Direito UFMS*, v. 3, n. 1, 2017. Citado na página 2.

MARTINI, R.; JORDÃO, M. d. F.; GRIMALDI, D. d. S. Avaliação de efeitos locais da construção de usinas eólicas nos municípios brasileiros: uma abordagem pr controle sintético. In: *Proceedings of the 46th Brazilian Economics Meeting*. [S.l.: s.n.], 2018. Citado na página 5.

MEDEIROS, C. d. et al. As regiões de planejamento do estado do ceará. *Texto para Discussão*, n. 111, p. 2015, 2015. Citado na página 8.

REVELLI, F.; BRACCO, E. *Empirical Fiscal Federalism*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2020. Citado na página 8.

RINTZEL, L. T.; ALVES, T. W.; MASSUQUETTI, A. Análise dos impactos econômicos decorrentes da instalação dos parques eólicos nos municípios da região sul do brasil. *XX ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL. Anais [...] Porto Alegre: Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia (Anpec)*, 2017. Citado na página 5.

RODRIGUES, T. A. P.; GONÇALVES, S. L.; CHAGAS, A. S. Wind power and the labor market in the brazilian northeast: a spatial propensity score matching approach. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, v. 13, n. 3, p. 357–378, 2019. Citado na página 5.

SAMPAIO, M. A. d. S.; COSTA, E. M.; IRFFI, G. A implementação de parques eólicos e seus impactos sobre os municípios brasileiros. 2023. Citado na página 5.

SILVA, V. H. M. C. et al. Avaliação de políticas de combate à pobreza no brasil: aplicação do método de controle sintético generalizado para o fecop no ceará. *Nova Economia*, SciELO Brasil, v. 31, p. 273–302, 2021. Citado na página 6.

TRAN, T. M. International environmental agreement and trade in environmental goods: the case of kyoto protocol. *Environmental and Resource Economics*, Springer, v. 83,

n. 2, p. 341–379, 2022. Citado na página 6.

XU, Y. Generalized synthetic control method: Causal inference with interactive fixed effects models. *Political Analysis*, Cambridge University Press, v. 25, n. 1, p. 57–76, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.

ZHANG, K. et al. Has china's pilot emissions trading scheme influenced the carbon intensity of output? *International journal of environmental research and public health*, MDPI, v. 16, n. 10, p. 1854, 2019. Citado na página 6.