

ENEI2025 fortaleza IX ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA INDUSTRIAL

"Financiamento e Desenvolvimento Brasileiro:
oportunidades e desafios"



Realização: Banco do Nordeste ABEIN | Associação Brasileira de Economia Industrial e Inovação

O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL LOCAL DO SETOR EÓLICO: UMA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO FINANCIAMENTO NO BRASIL

Lindomayara França Ferreira¹

Eduardo Gonçalves²

Danilo Sartorello Spinola³

André Suriane⁴

Resumo: O objetivo consiste em estimar o efeito local do financiamento das atividades de energia eólica sobre o setor industrial, usando como medidas o Valor Adicionado (VA) industrial e o emprego em nível municipal. Para atender esse objetivo, utiliza-se o método econométrico de Diferença em Diferença (DiD) com avanços projetados para abordar os efeitos de tratamentos dinâmicos e heterogêneos, para o período entre 2002 e 2021. Na última década (2010-2020), o Brasil apresentou um crescimento exponencial da capacidade eólica, que pode ser atribuído a disponibilidade de recursos naturais, a maturidade tecnológica e ao desenvolvimento de políticas e instrumentos direcionados para o setor. Com vultosos investimentos do Banco de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em 2017, as atividades eólicas representavam mais da metade do financiamento destinado para o setor de energia, em especial, para a região Nordeste do país. Parte dos empreendimentos de geração têm se concentrado na região Nordeste, enquanto, as montadoras de aerogeradores e fabricação de subcomponentes têm se concentrado na região Sul-Sudeste. O efeito médio do financiamento sobre o VA industrial e o VA total dos municípios é positivo e estatisticamente significativo, em especial, para os períodos subsequentes ao recebimento do recurso. Do mesmo modo, para o emprego total, o efeito é positivo e estatisticamente significativo, na medida que aumenta a distância amostral. Em linhas gerais, as atividades apresentam um efeito dinâmico que se perpetua após o recebimento do financiamento e exercem impactos sobre outros setores, como no caso do setor agropecuário. Esses resultados sinalizam a importância do financiamento destinado para o setor, a fim de promover atividades com maior valor agregado em regiões historicamente mais desiguais. Além disso, uma das características da construção dos parques eólicos é o elevado custo de capital, com longos períodos de amortização, o que destaca o importante papel exercido pelo BNDES.

Palavras-chave: Energia eólica; Estrutura produtiva; Valor adicionado; Emprego; Diferença em Diferença (DiD).

Código JEL: O38; O13; O54.

Área Temática: Padrões de especialização produtiva e desenvolvimento

¹ Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Economia na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF/PPGE). E-mail: lindomayara@hotmail.com

² Doutor em Economia e Professor do Programa de Pós-graduação em Economia na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF/PPGE). E-mail: eduardo.goncalves@ufjf.edu.br

³ Doutor em Economia e Professor da Birmingham City University. E-mail: danilo.spinola@bcu.ac.uk

⁴ Doutor em Economia. E-mail: andresuriane@gmail.com

THE LOCAL INDUSTRIAL DEVELOPMENT OF THE WIND ENERGY SECTOR: AN IMPACT ASSESSMENT OF FINANCING IN BRAZIL

Abstract The objective of this work is to estimate the local effect of wind energy financing on the industrial sector, using industrial Value Added (VA) and employment at the municipal level as measures. To achieve this objective, the Difference-in-Difference (DiD) econometric method is used, with projected advances to address the effects of dynamic and heterogeneous treatments, for the period between 2002 and 2021. In the last decade (2010-2020), Brazil has shown exponential growth in wind capacity, which can be attributed to the availability of natural resources, technological maturity, and the development of policies and instruments aimed at the sector. With large investments from the Economic and Social Development Bank (BNDES), in 2017, wind activities accounted for more than half of the financing destined for the energy sector, particularly for the Northeast region of the country. Part of the generation projects have been concentrated in the Northeast region, while wind turbine assemblers and subcomponent manufacturing have been concentrated in the South-Southeast region. The average effect of financing on industrial VA and total VA of municipalities is positive and statistically significant, especially for the periods following receipt of funds. Similarly, for total employment, the effect is positive and statistically significant, as the sample distance increases. In general terms, the activities have a dynamic effect that continues after the receipt of financing and impacts other sectors, as in the case of the agricultural sector. These results highlight the importance of financial resources allocated to the sector in promoting higher VA in historically more unequal regions. In addition, one of the characteristics of the construction of wind farms is the high cost of capital, with long amortization periods, which highlights the important role played by BNDES.

Keywords: Wind energy; Productive structure; Value-added; Employment; Difference-in-Differences (DiD).

1. INTRODUÇÃO

Nas duas últimas décadas, a capacidade eólica global cresceu exponencialmente, e espera-se que se mantenha em crescimento durante as três próximas décadas, para que se possa auxiliar nas metas de descarbonização estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU) nos acordos de cooperação (IRENA, 2023; REN21, 2023). Com um duplo objetivo, de reduzir os níveis de emissões de carbono (CO₂) e criar benefícios socioeconômicos (segurança energética, geração de emprego e crescimento econômico, por exemplo), muitos fatores têm contribuído para a difusão da tecnologia renovável de fonte eólica (*onshore* e *offshore*), incluindo a redução dos custos nivelados de operação e a disponibilidade de instrumentos direcionados para o setor.

Em 2021, a capacidade eólica global instalada registrou um aumento de 17% e foi o mais alto entre todas as tecnologias renováveis, destes, 93% foram provenientes dos sistemas *onshore* e 7% *offshore*. O Brasil apresenta a maior capacidade de geração eólica entre os países da América Latina e o 6º país com maior capacidade total instalada de energia eólica *onshore* no mundo. Com capacidade em operação superior 30 GW⁵, ficando atrás apenas da China (403,33 GW), Estados Unidos (150,43 GW), Alemanha (61,14 GW), Índia (44,74 GW) e Espanha (30,56 GW), o desenvolvimento da atividade eólica no Brasil somente começou a ganhar fôlego a partir dos anos 2000, com um pacote de instrumentos direcionados para o setor (GOUVÊA; SILVA, 2018; GWEC, 2024).

Com a disponibilidade de recursos naturais/geográficos e a competitividade global tecnológica adquirida com setores adjacentes, como o setor aeroespacial e metalmecânico do país (PODCAMENI, 2014), a criação do *hub* tecnológico eólico brasileiro, em parte, pode ser atribuída à atuação conjunta dos bancos de desenvolvimento estatais e da criação de instrumentos e políticas

⁵ Corresponde à 15% do total da matriz energética (ANEEL, 2024).

tanto do lado da oferta quanto da demanda (GOUVÊA; SILVA, 2018; FABRIS, 2020; ABEEÓLICA, 2023). Assim, preliminarmente, é possível observar que os avanços na cadeia de valor do setor eólico não decorreram de movimentos espontâneos do progresso técnico, mas sim de um movimento de articulação entre as instituições e o Estado (ARAÚJO; WILLCOX, 2018).

Considerada como uma atividade intensiva em capital e dependente de condições favoráveis de vento e disponibilidade de área, a literatura existente sobre os efeitos em nível local do desenvolvimento eólico tem apontado os conflitos sobre o uso e a percepção do espaço. Majoritariamente concentrada em áreas rurais, os investimentos nos parques eólicos nem sempre promoverão impactos diretos e permanentes sobre o bem-estar econômico dos residentes (MAURITZEN, 2020; DONG *et al.*, 2023; BRUNNER *et al.*, 2024). Parte disso pode ser atribuído ao fato de que os proprietários das terras (empresas ou indivíduos) não estão necessariamente localizados no mesmo espaço, ou até mesmo, pelo fato de que algumas atividades ocorrem em grandes cidades, como as atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) ou a fabricação de equipamentos de maior complexidade tecnológica (FABRA *et al.*, 2023). Para Gavard *et al.* (2022), a economia local só poderá beneficiar se parte significativa da demanda for atendida regionalmente, isto é, se houver um fornecimento local tanto de componentes quanto de serviços.

A distribuição ocupacional eólica local está amplamente representada nas atividades de fabricação, construção, instalação e manutenção. Em especial, a manufatura é de longe a indústria com maior oferta de emprego para as atividades eólicas (CURTIS; MARINESCU, 2022). Para Brown *et al.* (2012), o desenvolvimento da energia eólica afeta diretamente o emprego e o rendimento das pessoas que trabalham na indústria. Além disso, as despesas de construção e manutenção podem gerar demanda indireta para bens e serviços produzidos por outras indústrias na economia local, contribuindo para a geração de emprego e renda nessas indústrias. Para Goetzke e Rave (2016), as regiões que enfrentam declínio econômico ou desemprego mais elevado também podem se beneficiar do processo de transição em curso.

Há vários canais de impacto, que podem ser identificados a partir de mecanismos macroeconômicos (mudanças nos custos da tecnologia, aumento nos níveis de exportações/importações tecnológicas) e/ou microeconômicos com efeitos mais relevantes localmente (fabricação e produção de componentes, demanda por serviços de manutenção e operação ou mudanças no mercado de trabalho) (GAVARD *et al.*, 2022), sendo este último o mecanismo central da presente análise.

Embora haja um grande interesse político na temática, poucos estudos empíricos têm investigado o efeito local do financiamento nas atividades de energia eólica sobre a estrutura produtiva, especialmente para economias em desenvolvimento, caracterizadas com baixa dotações de recursos científicos e tecnológicos. O esforço deste trabalho é direcionado para esse sentido, a fim de minimizar as lacunas e apresentar resultados com medições adequadas à problemática. O objetivo consiste em estimar o efeito local do financiamento das atividades de energia eólica sobre o setor industrial, usando como medidas o Valor Adicionado (VA) industrial e o emprego em nível municipal. Para atender esse objetivo, será utilizado o método econométrico de Diferença em Diferença (DiD) com avanços projetados para abordar os efeitos de tratamentos dinâmicos e heterogêneos em um conjunto de dados em painel.

Considerando a revisão bibliográfica já realizada em versões anteriores deste trabalho (FERREIRA; GONÇALVES, 2022a; FERREIRA; GONÇALVES, 2022b), é possível destacar a existências de dois principais polos de produção e geração do setor eólico: um na região Nordeste do país e outro nas regiões Sul-Sudeste. Com vultosos recursos do Banco de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em 2017, as atividades eólicas representavam mais da metade do financiamento destinado para o setor de energia, em especial, para a região Nordeste do país que se caracteriza com uma região com elevada velocidade média do vento. Os principais resultados obtidos com o método DiD apontam um efeito positivo e significativo do financiamento sobre o VA industrial e total dos municípios, em especial, para os períodos subsequentes ao recebimento do recurso. Para o emprego industrial o resultado não foi estatisticamente significativo, porém, o efeito sobre o emprego total foi positivo e significativo, com um aumento do emprego no período corrente e nos

subsequentes. Essas descobertas avançam em relação às versões anteriores⁶ a este trabalho e, de forma empírica, contribuem para uma literatura crescente sobre a necessidade de financiamento e de instrumentos direcionados para a transição energética em grande escala. Além disso, confirmam os estudos da literatura existente sobre o efeito positivo no bem-estar econômico local, bem como, a catalização da renda e oferta de emprego na região.

Este trabalho está estruturado em seis partes, incluindo a presente introdução e as discussões finais. A segunda seção, descreverá às experiências da literatura empírica referente a presente temática. A terceira seção, apresentará em perspectiva teórica e descritiva o desenvolvimento das atividades do setor eólico no Brasil, bem como, o detalhamento sobre os programas/instrumentos existentes e o desenvolvimento espacial da geração de energia e produção industrial eólica no país. A quarta seção, descreverá os dados e suas estatísticas, a abordagem metodológica do método de Diferença em Diferença (DiD) e a estratégia empírica adotada. A quinta seção, apresentará os resultados estimados com o método DiD, as análises para robustez do modelo e as principais discussões pertinentes a temática.

2. **BACKGROUND EMPÍRICO DO FINANCIAMENTO PARA ENERGIA EÓLICA**

O desenvolvimento de políticas e instrumentos direcionados para fontes de energias renováveis são cruciais para um processo de transição energética justa e equitativa. Embora muitos estudos utilizem da abordagem econométrica para investigar os efeitos desses recursos sobre a produtividade, o desenvolvimento e o crescimento econômico, apenas alguns se concentram no impacto causal do financiamento nas atividades de energia eólica sobre a estrutura produtiva local, em especial, para a oferta de emprego e atividade econômica, em que ambos não são totalmente conclusivos. Alguns encontram efeitos positivos sobre a oferta de emprego e renda local, identificados, principalmente nas fases de fabricação e construção. Outros apontam efeitos negativos sobre o aumento dos custos em nível local, na redução da demanda por emprego nas fases de operação e manutenção e na redução de atividades em outros setores – como o setor agrícola, por exemplo, que embora não seja substituto ainda assim pode apresentar redução nos níveis de atividade.

Brunner e Schwegman (2022) examinaram o impacto da instalação de energia eólica nas economias locais dos condados dos Estados Unidos, a partir do método de diferença em diferença (DiD). Os autores identificaram que a instalação de energia eólica levou a aumentos no PIB *per capita* do condado, no rendimento *per capita*, no rendimento familiar médio e nos valores residenciais médios. Com pouco efeito no emprego total, também identificaram um deslocamento do emprego agrícola para o emprego não agrícola, em especial do emprego de construção e indústria de transformação. Brunner *et al.* (2024), a partir do DiD, examinaram o impacto da proximidade dos parques eólicos nos valores residenciais dos Estados Unidos, identificaram que as casas localizadas a menos de 1,6 km de uma turbina eólica comercial experimentam um declínio de aproximadamente 11% no seu valor, esse efeito é maior durante o período de anúncio e reduz após o período de construção, além disso, as casas localizadas em 1 a 2 milhas de distância sofrem impactos muito menores, enquanto as com mais de 3 quilômetros de distância não são afetadas. Do mesmo modo, Dong *et al.* (2023) identificaram um efeito negativo sobre os valores das propriedades na Nova Inglaterra, em especial para propriedade em um raio de 1 km de distância de uma turbina. Esses resultados sugerem uma reação negativa do mercado imobiliário à expectativa de impactos prováveis.

Gilbert *et al.* (2023) avaliaram o impacto do desenvolvimento da energia eólica nos rendimentos e nos empregos em nível local nos Estados Unidos, por raça, etnia, sexo e nível de escolaridade, a partir do procedimento DiD. De acordo com os autores o desenvolvimento de um polo em um raio de 20 milhas de um determinado trabalhador provoca um aumento estatisticamente significativo nos rendimentos e no emprego deste. Os resultados são proporcionalmente maiores para os trabalhadores sem ensino médio completo e ensino superior completo, trabalhadores de gênero masculino e trabalhadores negros, além disso, no geral, os impactos apresentaram uma persistência durante anos após o término da fase de construção do polo eólico.

⁶ Ver Ferreira e Gonçalves (2022a) e Ferreira e Gonçalves (2022b).

Gavard *et al.* (2022), analisam os impactos econômicos da implantação da energia eólica, a partir da renda pessoal, do orçamento público e do emprego no nível municipal. Com receitas geradas já no primeiro ano de ligação das novas turbinas, os autores identificaram um efeito positivo sobre o rendimento total, que se mantém nos anos subsequentes, porém não necessariamente crescente. Durante os dois primeiros anos após a ligação das turbinas para a rede também ocorre um aumento dos gastos municipais com despesas correntes, em especial com cuidados de saúde, administração e atividades educativas e culturais. A implantação de eólica induz um aumento na renda pessoal no nível local, em especial, no rendimento empresarial e em algumas receitas de pensões. O impacto para o emprego total é positivo, mas não significativo, de modo que a criação de emprego em alguns setores pode ser compensada pela perda em outros.

Fabra *et al.* (2023), identificaram que para mais de 3.900 municípios espanhóis ao longo de 13 anos a geração de novos empregos eólicos nem sempre permanecem nos municípios onde os empreendimentos são construídos. Para os autores, algumas atividades envolvidas (criação de P&D, concepção e planejamento do projeto, fabricação de equipamentos, entre outros) ocorrem em grandes cidades, distantes de onde acontecem os investimentos. E, neste contexto, os efeitos multiplicadores tendem a ser pequeno nos municípios dos empreendimentos.

Nos Estados Unidos, a política de padrões de *portfólio* renovável (RPS) é considerada uma das políticas mais proeminentes implementadas para incentivar a descarbonização do setor elétrico em nível estadual. Deschenes *et al.* (2023) discutem sobre as evidências do efeito causal de impacto dos investimentos da RPS sobre a capacidade e produção renovável no período entre 1990 e 2019, a partir do DiD. Os autores identificaram que houve um aumento estatisticamente significativo para a expansão da capacidade e produção eólica, porém não houve um efeito significativo nos investimentos em capacidade e produção solar. Além disso, identificou-se a ocorrência de um efeito dinâmico lento para a maturação do investimento, na medida que a maioria das adições de capacidade ocorreram 5 anos após a implementação dos RPS.

No Brasil, o interesse em investigar o impacto dos investimentos eólico também é compartilhado com uma literatura mais ampla, com maior atenção para os efeitos do Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) para o mercado de trabalho. Rodrigues *et al.* (2019), identificaram um impacto positivo da presença de usinas de energia eólica sobre o aumento dos salários totais nos municípios que fazem parte do PROINFA – especialmente nos setores de construção, transporte e logística – e um aumento na transferência de recursos para o setor agrícola, impulsionando esta atividade na economia local. Gonçalves *et al.* (2020), observaram um efeito positivo e estatisticamente significativo da energia eólica nos níveis de emprego e salário dos trabalhadores, em especial para a indústria, agricultura e construção. De acordo com os autores, para o período de 2004 a 2016, os impactos nos níveis de emprego e salário são maiores para os trabalhadores menos qualificados e para as pequenas e médias empresas, tanto no momento da intervenção quanto dois anos anteriores a implementação. Nunes *et al.* (2022), apontaram um impacto positivo do PROINFA em 10% sobre a renda *per capita* dos municípios que participaram do programa, entre 2002 e 2018. Além disso, os resultados indicaram um impacto de 13,82% no número de trabalhadores formais e 0,39% nas despesas de capital dos municípios, o que sinaliza um desenvolvimento social e econômico promovido pelo PROINFA.

Esta revisão da literatura empírica mostra que até agora, às evidências para as atividades industriais eólica têm sido limitadas, especialmente no contexto brasileiro. À luz das lacunas existentes e a fim de atender ao objetivo proposto, este trabalho contribui de diferentes formas para a literatura. Primeiro, utiliza uma estratégia de identificação que leva em conta explicitamente os vieses que podem surgir devido à seleção não aleatória do tratamento, bem como, modelos com tempo escalonado e efeitos heterogêneos do tratamento. Segundo, a análise não se restringe apenas ao efeito da oferta de emprego, como ocorre em parte da literatura, mas especialmente fornece evidências do efeito do financiamento eólico sobre a dinâmica industrial dos municípios (*proxy* valor adicionado). Finalmente, este trabalho contribui para a literatura sobre a importância das características físicas e produtivas em determinadas localidades para que se possa promover um ambiente compatível com o potencial do mercado eólico e absorver os benefícios associados a expansão do setor.

3. O SETOR EÓLICO NO BRASIL: FINANCIAMENTO E POLÍTICAS DE INCENTIVOS

Apontada como uma “janela verde de oportunidade”, o processo de transição, além de garantir a segurança energética, também tem como finalidade promover a recuperação do atraso econômico das economias em desenvolvimento (processo de *catch up*) e auxiliar nos desafios contemporâneos de mudanças climática antropogênicas (MAZZUCATO, 2014; IRFAN *et al.*, 2019; UN, 2023). No entanto, para atender à crescente demanda e conseguir dar saltos tecnológicos (*leapfrogging*) faz-se primordial o desenvolvimento de uma cadeia produtiva doméstica, eficiente e de alto valor agregado (RODRIK, 2014), bem como, a ampliação de investimentos no setor e a concepção de um ambiente capaz de impulsionar essa transformação, incluindo a criação de políticas dirigidas tanto para o lado da demanda quanto da oferta (MAZZUCATO, 2014; REN21, 2023; IRENA, 2023).

Portanto, esta seção apresenta na perspectiva teórica e descritiva o desenvolvimento das atividades do setor eólico no Brasil. No primeiro momento, aborda sobre programas e instrumentos destinados para o setor após os anos 2000 no país. Posteriormente, explora o desenvolvimento espacial da geração e da produção industrial eólica, a partir do mapeamento descritivo dos dados e da aplicação de indicadores de localização e especialização.

3.1. Financiamento e Políticas de Incentivos para o setor eólico

Com uma expressiva expansão nas duas últimas décadas (2000-2020), as atividades do setor eólico têm sido promovidas por diferentes tipos de políticas de apoio direto (incentivos financeiros) e indireto (acordos de cooperação, normas e regulamentos) em diferentes economias (China, Índia, Estados Unidos, Dinamarca, Reino Unido, Espanha e outros) (REN21, 2023). No caso brasileiro, em ritmo análogo ao cenário mundial, após os anos 2000, a produção eólica apresentou uma expansão na capacidade de geração energética e teve como pano de fundo a articulação de incentivos e programas em resposta à crise do petróleo da década de 1970. Nesse período, algumas iniciativas foram ganhando espaço, entretanto, só após os anos 2000 que o governo brasileiro passou a adotar medidas mais incisivas para o desenvolvimento de capacitações científicas e tecnológicas, a partir do fornecimento de incentivos financeiros direcionados à indústria eólica (PODCAMENI, 2014; GOUVÊA; SILVA, 2018). Ao longo dos anos, primordiais programas e mecanismos de apoio para o desenvolvimento da indústria no Brasil foram criados, sendo alguns instrumentos voltados para a demanda e outros para a oferta da energia (PODCAMENI, 2014; ARAÚJO; WILLCOX, 2018; FABRIS, 2020).

Em 2001, por meio de Medida Provisória – nº 2.198-3, de junho de 2001 –, foi lançado o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA) e criado a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, com a finalidade principal de estabelecer diretrizes para o enfrentamento à crise energética (BRASIL, 2021). Coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e gerenciado pela Eletrobras, a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) – Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002 –, teve como finalidade ampliar a participação de fontes alternativas na matriz energética brasileira, dentre elas: a eólica, a biomassa e as pequenas centrais hidrelétricas (PCH); privilegiando empreendedores sem vínculos societários com concessionárias de geração, transmissão ou distribuição, ou seja, estabelecendo contratos de longo prazo com tarifa de compra de energia (*feed-in*) para pequenos produtores (BRASIL, 2021).

Ao final da década de 2000, ocorreu um amadurecimento dos instrumentos regulatórios, com o primeiro leilão público⁷ incentivado para a compra de energia (GOUVÊA; SILVA, 2018). O programa foi considerado como um marco para a consolidação de investimentos na indústria eólica por incentivar a concorrência por tarifas menores e acarretar uma inovação para o sistema de contratação de tarifa fixa estabelecido no PROINFA (ARAÚJO; WILLCOX, 2018). Embora esse modelo tenha apresentado benefícios para o desenvolvimento do setor e a adesão dos empreendedores, os mecanismos de leilões apresentaram também algumas dificuldades,

⁷ Em 2009.

especialmente com a oscilação no ritmo das contratações (ABDI, 2014).

Paralelamente a esses instrumentos, foram desenvolvidos um pacote de incentivos financeiros, tal como o financiamento público aos parques de geração, ofertados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) e o Banco do Nordeste do Brasil (BNB) – Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003 (BRASIL, 2021)⁸; o regime tributário para aquisição de geradores e o incentivo do mercado de capitais no setor de geração via bancos públicos (FABRIS, 2020). Em outras palavras, instrumentos direcionados para demanda, cujo objetivo consistia na criação de um mercado doméstico eólico (PODCAMENI, 2014). Nessa perspectiva, os avanços da indústria eólica decorrem de um movimento articulado entre as instituições e o Estado, com o desenvolvimento de programas e incentivos direcionados ao setor. E, embora o desenvolvimento da demanda tenha sido primordial para a expansão da capacidade doméstica eólica, por si só, não foi suficiente para o adensamento produtivo (ARAÚJO; WILLCOX, 2018).

Quanto aos instrumentos direcionados para oferta de energia eólica, no Brasil foram criados linhas de crédito, normas e regulamentos, dentre estes: o financiamento para a cadeia produtiva via bancos públicos; o apoio legal para a pesquisa e desenvolvimento (P&D) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); o regime fiscal tributário aos fabricantes e, o incentivo do mercado de capitais para a cadeia produtiva via bancos públicos (FABRIS, 2020). Em linhas gerais, esses instrumentos estabeleceram o “pontapé” inicial para uma indústria de geração eólica nascente (HOCHSTETLER; KOSTKA, 2015). Além disso, a atuação conjunta do BNDES com o MME na estruturação do PROINFA foi aspecto fundamental para o sucesso do programa (ARAÚJO; WILLCOX, 2018).

Em 2012, a fim de ampliar o conteúdo tecnológico envolvido na cadeia de produção, o BNDES realizou alterações em suas regras de financiamento e a partir dessas alterações induziu-se uma maior participação da quantidade de componentes nacionais nos equipamentos industriais do setor eólico (PODCAMENI, 2014). Assim, a disponibilidade do financiamento público, aliado às exigências da política de conteúdo local, apontou um caminho para a articulação da política energética com a política industrial (ARAÚJO; WILLCOX, 2018).

O Brasil teve uma série de políticas industriais aos longos das duas últimas décadas, a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) em 2004, a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) em 2008, o Plano Brasil Maior (PBM) em 2011 e, a mais recente, Política de Neoindustrialização em 2023. Denominada como a Nova Indústria Brasil (NIB) com foco sistêmico e de longo prazo, a política tem como objetivo impulsionar a transformação estrutural da economia até 2033, cujo setor de energia ganhou novamente destaque entre as metas estabelecidas na política industrial. Dentre os instrumentos estabelecidos destacam-se as compras públicas e os requisitos de conteúdo local, além de um pacote de instrumentos financeiros reembolsáveis – BNDES e FINEP⁹ – e não reembolsáveis – EMBRAPPI e FINEP (CNI, 2024). No entanto, embora seja uma política promissora para responder aos desafios apresentados pela desindustrialização precoce (FEIJÓ *et al.*, 2024) ainda assim consiste em uma política abrangente com poucos instrumentos direcionados (GUERRA *et al.*, 2025).

3.2. O desenvolvimento espacial da geração eólica e produção industrial

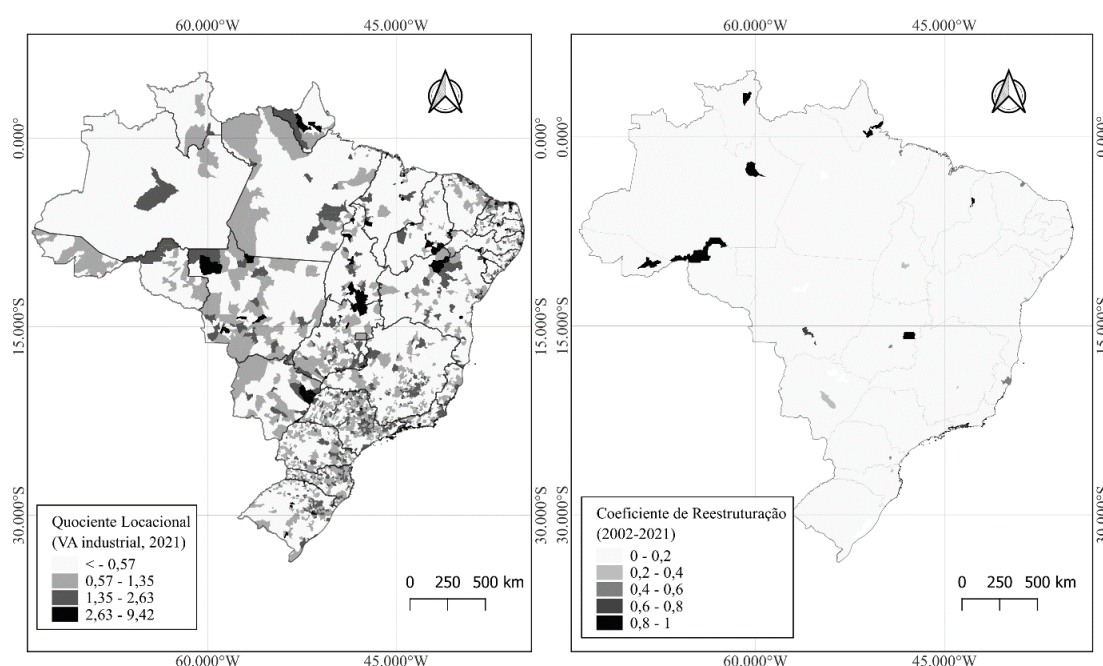
Considerando a revisão bibliográfica já realizada em versões anteriores deste trabalho (FERREIRA; GONÇALVES, 2022a; FERREIRA; GONÇALVES, 2022b) é perceptível dois grandes polos produtivos: um concentrado na região Nordeste e o outro no Sul-Sudeste do país. Explicado pelas teorias de localização e aglomeração (KRUGMAN, 1993), parte dessa distribuição tem como pano de fundo os seguintes fatores: i) proximidade aos parques eólicos e condições de infraestrutura de portos e rodovias; ii) proximidade da cadeia produtiva e, iii) aproveitamento de instalação fabril existente (ABDI, 2014; 2018).

⁸ Banco do Brasil e Caixa Econômica Federal foram também agentes repassadores dos recursos do BNDES (BRASIL, 2021).

⁹ Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

A tecnologia de fonte eólica é composta, normalmente, por três pás e uma torre, os principais componentes são: cubo, eixo, presença ou não de caixa de engrenagem, gerador e a nacele (ABDI, 2018). Dentre esses, a nacele é o item de maior complexidade tecnológica e predominantemente importada da China (FABRIS, 2020). Após 2014, com a política de conteúdo local regulada pelo BNDES exigia-se que 60% dos aerogeradores fossem fabricados internamente. Inicialmente, apenas onze montadoras passaram a adotar as exigências da política, dentre elas: Wobben, Gamesa, GE, Vestas, Impsa, WEG, Alstom, Siemens, Acciona, Suzlon e Führländer (ARAÚJO; WILLCOX, 2018; ABDI, 2018). Em parte, essa estratégia de conteúdo local foi exitosa devido à existência de fabricantes locais aptos a participarem da cadeia produtiva (GOUVÊA; SILVA, 2018). No entanto, o mercado se manteve com elevada concentração na produção de torres (baixa barreira à entrada) e um número menor na produção de pás (elevadas barreiras à entrada), o que levou para uma redução de 30% da produção interna, nos anos posteriores (GUERRA *et al.*, 2025).

Figura 1 – Quociente Locacional do Valor Adicionado Industrial (2021) e Coeficiente de Reestruturação para as atividades do setor eólico (2002-2021)



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do IBGE (2024) e RAIS (2024).

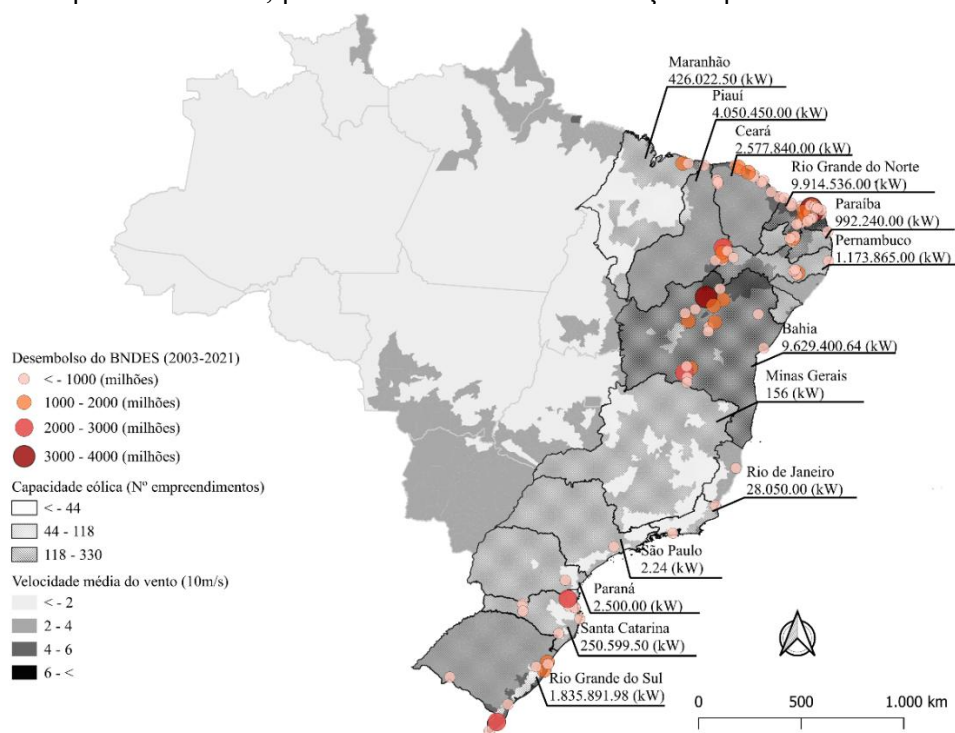
Cabe destacar que a produção de subcomponentes, como os insumos e elementos internos das torres (aço, concreto), pás, cubo, rotor, nacele, sistema de yaw, geradores, sistemas de travamento, conversor, transformador, eixo principal e demais acessórios, são majoritariamente produzidos no estado de São Paulo, com um total de 157 empresas (incluindo 2 montadoras de aerogeradores, 3 fabricantes de pás e 2 fabricantes de torres). Seguido por Santa Catarina, com um total de 20 empresas, Minas Gerais com um total de 12 empresas, Bahia e Ceará com um total de 11 empresas cada, e Rio Grande do Sul com um total de 10 empresas (ABDI, 2014; 2018). Assim, para medir o grau de especialização dos municípios nas atividades eólicas utiliza-se a construção do indicador de Quociente Locacional (QL)¹⁰. A partir do Valor Adicionado (VA) da indústria total o QL aponta alguns municípios da região Sul-Sudeste e, em proporções menores, os municípios nas regiões Centro Oeste-Nordeste com potencialidades industriais, o que indica a importância da atividade industrial para essas regiões, conforme ilustra a Figura 1.

¹⁰ Calculado pela razão entre VA industrial total e o VA total do município em relação ao VA industrial total e o VA total da região. Do mesmo modo, calculado a partir da razão entre o Emprego na atividade eólica e o Emprego industrial total do município em relação ao Emprego na atividade eólica e o Emprego industrial total da região. Os resultados com QL > 1 indicam uma atividade importante para a economia (MONASTERIO, 2011).

A fim de identificar o grau de mudança da estrutura produtiva nessas localidades, a Figura 1 ainda ilustra os resultados obtidos com o indicador de Coeficiente de Reestruturação (CR)¹¹. Esse indicador relaciona a estrutura setorial dos municípios brasileiros entre dois períodos (2002-2021), a partir da distribuição do emprego para um conjunto de atividades industriais desenvolvidas no setor eólico¹². Os resultados apontam que poucos municípios tiveram uma mudança na sua estrutura produtiva nas duas últimas décadas, dentre esses destacam-se Brasília (DF), Boa Vista (RR), Manaus (AM), Rio Branco (AC), Macapá (AP), Porto Velho (RO), Teresina (PI), Cuiabá (MT), Natal (RN) e Rio de Janeiro (RJ), com indicadores de reestruturação $0,62 \geq CR \leq 1$.

Atualmente, no Brasil, há um total de 1.053 empreendimentos de geração de energia eólica *onshore* em operação, parte desses empreendimentos se concentram na região Nordeste do país, que se caracteriza como uma região de elevado potencial devido a velocidade média de ventos (10m/s), conforme ilustra a Figura 2. Dentre os principais estados com capacidade eólica instalada, destacam-se o Rio Grande do Norte com 302 empreendimentos e uma potência outorgada em operação de 9,9 (GW), seguido da Bahia com 330 empreendimentos e uma potência de 9,06 (GW). Ambos os estados, também apresentam o maior número de empreendimentos nas fases de construção e de construção não iniciada, em especial, a Bahia (ANEEL, 2024).

Figura 2 – Capacidade eólica, potencial do vento e distribuição espacial do financiamento



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados da ANEEL (2024), COPERNICUS (2024) e BNDES (2024).
Nota¹: Potência outorgada (kW).

No que se refere ao financiamento do BNDES (Finame, Finem, debêntures e empréstimos ponte) destinado para as atividades eólicas, a região Nordeste do Brasil também apresenta o maior volume de desembolsos obtidos entre 2002 e 2021. Novamente, liderados pelo Rio Grande do Norte e Bahia, com destinação para a atividade de geração de energia elétrica. Cabe ressaltar que além da atividade de geração de energia, parte dos recursos nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina

¹¹ Calculado a partir da diferença entre a razão da atividade industrial eólica do município e a atividade industrial total da região, para dois períodos t_1 e t_0 . Os resultados com $CR = 0$, indicam que não ocorreu modificações na estrutura setorial do município e $CR \geq 1$, indicam que ocorreu uma reestruturação substancial na composição setorial dos municípios (MATTEI; MATTEI, 2017).

¹² A partir dos dados obtidos na RAIS (2024): vínculo empregatícios de 2002 e 2021.

são destinados para as atividades de fabricação de geradores, peças e equipamentos eólicos, sendo estes os principais polos de fabricação do país.

Embora seja um setor com elevado potencial de crescimento, no Brasil ainda há alguns desafios, dentre eles: os custos (impostos, mão de obra e transporte), a falta e/ou a limitação da capacidade produtiva local, a capacidade ociosa em outros países, a preferência por fornecedores globais, a dificuldade logística promovida pelo tamanho/peso dos componentes e a concentração dos fornecedores de insumos e subcomponentes na região Sudeste (ABDI, 2014; GOUVÊA; SILVA, 2018; TOSTA *et al.*, 2019). Esses são alguns gargalos que precisam ser superados e encarados como oportunidades, a fim de promover um ambiente compatível as projeções de potencial crescimento do setor. Para Aiginger e Rodrik (2020), nos países retardatários são necessários avanços para segmentos com um grau maior de sofisticação da atividade econômica, tanto no âmbito industrial quanto na disponibilidade de serviços.

Nessa perspectiva, a fim de intensificar sua competitividade em relação às tecnologias tradicionais de energia, destaca-se a importância do fomento e incentivo destinado ao desenvolvimento das capacitações científicas e tecnológicas do Brasil, bem como, investimentos em infraestruturas de pesquisa e a intensificação da articulação universidade e empresa. Além disso, dado que as tecnologias de fontes renováveis apresentam um certo grau de incerteza intrínseca (MAZZUCATO, 2014), entende-se que a articulação entre as políticas – energética, industrial e C&T – e a participação das instituições de fomento são essenciais para a maturidade e competitividade dessas tecnologias, a fim de conduzir e atrair a atuação do setor privado.

4. DADOS E MÉTODO

Esta seção apresenta a descrição dos dados e o arcabouço metodológico utilizados para atender ao objetivo proposto do presente trabalho. No primeiro momento, descreve as fontes dos dados, as respectivas estatísticas descritivas das variáveis e a estratégia de seleção para a definição dos grupos e amostras. Posteriormente, apresenta o método de avaliação de impacto com avanços recentes da literatura para o tratamento de dados escalonados e heterogêneos, bem como, a estratégia empírica adotada no presente trabalho.

4.1. Descrição e estatísticas dos dados

Para modelar o efeito causal do financiamento para as atividades de energia eólica sobre a estrutura produtiva dos municípios contemplados pelos investimentos, no presente trabalho é compilado um conjunto de dados de painel em nível municipal. Cabe ressaltar que o uso de dados em painel permite acompanhar a mesma unidade ao longo do tempo, isto é investigar às relações dinâmicas, diferentemente do uso de dados transversal, além disso, permite também controlar heterogeneidade não observada.

As variáveis do modelo apresentam as características de natureza socioeconômica e física/natural para uma amostra de 5160 observações¹³, durante o período de 2002-2021, conforme apresentada na Tabela 1. Os dados advêm a partir de fontes oficiais, a saber: i) Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2024); ii) Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2024); iii) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024); iv) Relação Anual de Informações Sociais (RAIS, 2024); e v) Copernicus (2024).

Cabe destacar que, a partir da matriz de correlação entre as variáveis do modelo, é possível identificar que tanto o Valor Adicionado Industrial (VAI) quanto o Emprego Industrial apresentam uma relação negativa com o desembolso financeiro do BNDES, o capital humano de média qualificação (participação relativa de trabalhadores com ensino fundamental e médio completo), a velocidade média do vento e a localização na região Nordeste do país. Em relação ao desembolso do BNDES a relação entre essas variáveis (capital humano, velocidade média do vento e localização na região Nordeste) são positivas, do mesmo modo, para o Valor Adicionado Agropecuário (VAA) e os

¹³ Com base na matriz de vizinhança dos primeiros k-vizinhos, detalhado posteriormente.

indicadores de Quociente Locacional (QL).

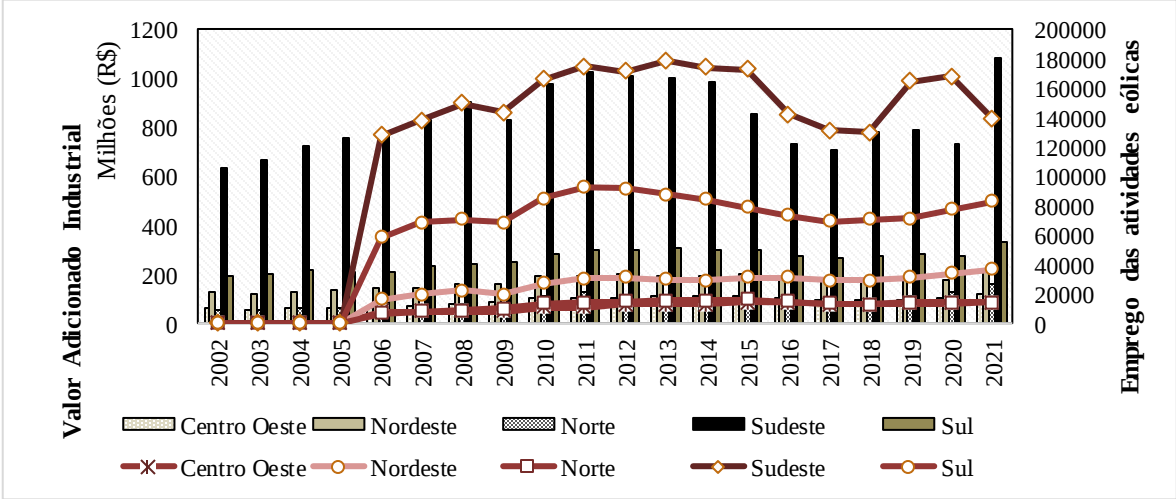
Tabela 1 – Descrição das variáveis do modelo

Variável	Natureza	Unidade	Fonte
Financiamento para atividade eólica ¹	Econômica	Monetária (R\$)	BNDES
Valor Adicionado da Indústria ¹ , Agropecuária ¹ , Serviços, Administração e outros, Total ¹	Econômica	Monetária (R\$)	IBGE
Emprego Industrial, Agropecuária, Construção, Comércio e Serviços, Administração e outros, Total	Social	Numeral (quant.)	RAIS
Emprego por escolaridade			
Densidade Populacional		Numeral (quant.)	
Macroregiões	Social	Numeral (Dummy)	IBGE
Região Metropolitana			
Velocidade do Vento	Física	Metros por segundo (m/s)	Copernicus
Potência Instalada	Física	Giga watt (kW)	ANEEL
Área	Física	Quilômetro (km)	IBGE

Fonte: Elaboração própria, 2024. Nota: Deflacionado pelo Índice de Preço do Consumidor (IPCA) com ano base de 2023.

O Brasil é um país marcado com intensas disparidades regionais, com elevada concentração econômica nas regiões Sul e Sudeste, parte disso, pode ser atribuído ao processo de industrialização do país (SUZIGAN *et al.*, 2020). Ao longo dos anos houve um crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*, especialmente, nessas regiões. Embora o Nordeste seja a 2ª região com o maior volume populacional, ainda assim, se mantém economicamente abaixo das regiões mencionadas anteriormente e com a maior taxa de desocupação do Brasil (IBGE, 2024). A trajetória regional do VAI segue a mesma tendência mencionada para a atividade econômica (PIB *per capita*) nas regiões. Com elevada concentração na região Sudeste do país, nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, respectivamente; seguido pela região Sudeste, nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sendo estas, regiões com o maior volume de emprego nas atividades de energia eólica, com picos de oferta no período entre 2010-2015. Conforme ilustra o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Trajetória do VAI e oferta de emprego eólico, Brasil (2002-2021)

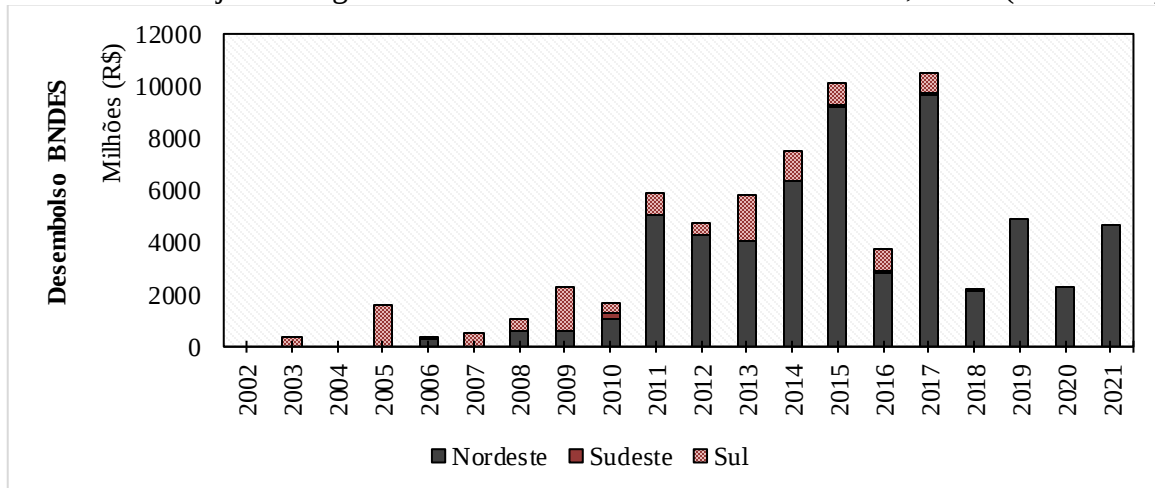


Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do IBGE e RAIS (2024).

A partir da visualização da trajetória do desembolso do BNDES destinado para o setor eólico, é possível identificar um *boom* nos investimentos entre o período 2011-2017, majoritariamente para a região Nordeste, conforme ilustra o Gráfico 2. Além disso, nos últimos três anos da amostra (2019-2021) os recursos foram destinados exclusivamente para a atividade de geração de energia eólica no Nordeste. O que pode sugerir um desinvestimento nas atividades industriais eólicas por parte da

instituição, sendo está concentrada espacialmente nas regiões Sul-Sudeste.

Gráfico 2 – Trajetória regional do desembolso financeiro do BNDES, Brasil (2002-2021)



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BNDES (2024).

Devido às preferências de localização, a disponibilidade de financiamento pode ser endógena no que diz respeito aos determinantes do desenvolvimento local da energia eólica. Portanto, é necessário a construção de uma estratégia de identificação cuidadosa para recuperar o efeito causal do financiamento eólico nos resultados das atividades industriais em nível local. Além da atenção com essa possível endogeneidade, a abordagem empírica também requer atenção para a definição dos grupos de “tratamento” *versus* “controle”, devido às repercussões dessas atividades.

Para estimar os parâmetros do efeito médio do tratamento (antes e depois do início dos investimentos) construiu-se dois grupos e duas amostras: i) Grupo 1, refere-se aos municípios que receberam o financiamento em algum momento do tempo no período analisado (tratamento); e ii) Grupo 2, refere-se aos municípios vizinhos que não receberam o financiamento em nenhum momento durante o período analisado, construído a partir da matriz de ponderação espacial (W) de contiguidade do tipo rainha (*queen*) de primeira ordem (controle) (amostra 1), de segunda ordem (amostra 2) e terceira ordem (amostra 3). Cabe ressaltar que para as especificações do modelo base será utilizado a amostra 1 com os vizinhos de primeira ordem que apresentam potencial para receber o financiamento, isto é, municípios que possuem características semelhantes da velocidade média do vento ou do potencial produtivo indicado pelo Quociente Locacional (QL). Além disso, para fazer comparativos as amostras 2 e 3 também serão construídas com a matriz de vizinhança (municípios de segunda e terceira ordem), que possuem as mesmas características mencionadas.

Cabe destacar que embora o PROINFA (instituído em 2002) e o sistema de leilões (instituído em 2009) tenham iniciado as atividades do setor eólico durante a primeira década dos anos 2000, foi a política de conteúdo local – colocada em vigor em 2012 pelo BNDES – o principal instrumento propulsor de política industrial destinado para o desenvolvimento da cadeia de produção eólica, no qual viabilizou a internalização de atividades tecnológicas de maior complexidade – até então inexistentes –, e a gradativa incorporação de novos componentes da atividade eólica no mercado doméstico. De acordo com IEDI (2018), em 2017, os empréstimos já registravam recordes e representavam mais da metade do total destinado pelo BNDES para a área de energia, com um valor aproximado de 7 bilhões de reais.

4.2. Estratégia empírica

O objetivo deste trabalho é estimar o efeito local do financiamento nas atividades de energia eólica sobre o setor industrial dos municípios contemplados pelos investimentos. A abordagem base consiste em estimar os efeitos do Valor Adicionado Industrial (VAI) e do Emprego Industrial (EI) em nível municipal, porém também se investiga os efeitos sobre o valor adicionado de outros setores

e do mercado de trabalho, como por exemplo, agropecuária, construção, comércio e serviços e outros. Parte dos estudos anteriores de efeito causal utilizaram o método de diferença em diferença (DiD) com um estimador efeitos fixos bidirecionais (TWFE), de estado/região e ano (ver NUNES *et al.*, 2022; FABRA *et al.*, 2023 e GILBERT *et al.*, 2023). A equação de regressão canônica para tais modelos é representada pela Equação 1:

$$Y_{it} = \alpha + \beta Fin_{it} + X'_{it}\theta + \gamma_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Onde, Y_{it} denota o logaritmo natural de VAI – ou Valor Adicionado Agropecuária (VAA), Valor Adicionado Serviços (VAS), Valor Adicionado Administração, saúde e outros (VAAdm), Valor Adicionado Total (VAT), Emprego Industrial (EI), Emprego Agropecuária (EA), Emprego Construção (EC), Emprego Comércio e Serviços (ECS), Emprego Administração, saúde e outros (EAdm) e Emprego Total (ET) – no município i e ano t , Fin_{it} é a variável binária que assume valor 1 (um) para todos os anos após o desembolso do BNDES, X'_{it} é um vetor de variáveis de controle específicas para o município i e ano t , os efeitos fixo de município γ_i capturam as características invariantes no tempo, enquanto os efeitos fixo δ_t controlam os choques anuais que são comuns a todos os municípios e podem estar correlacionados com a probabilidade de obter o financiamento do BNDES e o VA (ou emprego). Nesse contexto, o coeficiente de interesse β mensura o efeito médio do tratamento sobre o tratado (ATT) do financiamento do BNDES sobre os seus principais resultados de interesse (VAI, VAT, EI e ET).

Do mesmo modo, a Equação 1 pode ser aplicada nas estimações em Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) de forma direta. No entanto, na presença de heterogeneidade do efeito do tratamento – em que β pode variar ao longo do tempo ou entre as unidades transversais – o estimador TWFE pode identificar uma média ponderada dos efeitos que não corresponde ao verdadeiro ATT (ROTH *et al.*, 2022; DESCHENES *et al.*, 2023).

Para que se possa obter resultados robustos a heterogeneidade do ATT, utiliza-se o estimador proposto por Callaway e Sant'Anna (2021), de adoção escalonada com indicador de tratamento binário, expressa na Equação 2. Onde G_g é uma variável indicadora igual a um se um município recebeu o financiamento pela primeira vez no período g , Y_t denota o resultado potencial no período do evento t , e Y_{g-1} denota o resultado potencial no período $g - 1$. Portanto, o $ATT_{g,t}$ compara os resultados diferenciais dos municípios na *coorte* de adoção g entre o período t e o período anterior $t-1$ à implementação e os municípios que ainda não são tratados pelo período g .

$$ATT_{g,t} = \mathbb{E} \left[\frac{G_g}{\mathbb{E}(G_g)} (Y_t - Y_{g-1} - \mathbb{E}[Y_t - Y_{g-1} | X, G_g = 0]) \right] \quad (2)$$

Cabe ressaltar que a natureza do financiamento para as atividades eólicas são implementadas nos municípios em momentos distintos (escalonados) e uma vez que recebe o financiamento esse município permanecerá exposto ao tratamento (irreversibilidade do tratamento). Portanto, a importância de utilizar os estimadores de DiD, com múltiplos períodos e variações no tempo de tratamento (sobreposição) proposto por Callaway e Sant'Anna (2021), Sant'Anna e Zhao (2020), Sun e Abraham (2021) e Callaway *et al.* (2024). A Equação 3 descreve o estudo de evento, no qual permite identificar o efeito pré-tratamento e pós-tratamento a partir do ATT.

$$Y_{it} = \alpha + \sum_{i=1}^I \beta_{pre,i} WFin_{i,t+1} + \sum_{i'=0}^{I'} \beta_{i'} WFin_{i',t-1} + X'_{it}\theta + \gamma_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Onde, $WFin_{i,t+1}$ denota se o município i recebeu o financiamento implementado no período t e em períodos futuros, enquanto $WFin_{i,t-1}$ denota se o município i recebeu o financiamento no período $t-1$. Além disso, muitos fatores podem influenciar a difusão das atividades nos municípios, assim faz-se imprescindível controlar a influência desses outros fatores e, para tal, é incluído efeito fixo de municípios $Z_{h,i}$, efeito fixo de ano $Y_{h,t}$ e um vetor de covariáveis $X_{i,t}$ para dois conjuntos de controles: variáveis socioeconômicas e variáveis de dotações físicas/naturais, conforme a Equação 4.

$$x_{i,t} = \begin{cases} \text{Densidade populacional} \\ \text{Escolaridade} \\ \text{Região Metropolitana} \\ \text{Quociente Locacional} \end{cases} \quad (4)$$

Onde, a densidade populacional é mensurada pela razão entre a população e a área de cada município (km²); a força de trabalho por escolaridade é mensurada pela razão de trabalhadores com nível de escolaridade superior completo, mestrado e doutorado em relação ao número total de trabalhadores; a identificação para municípios localizados em regiões metropolitanas consiste em uma variável *dummy*, que corresponde a 1 se localizado na área, 0 caso contrário; a densidade média do vento corresponde a velocidade média por segundo (m/s); e o Quociente Locacional (QL) corresponde à produção das atividades de energia eólica¹⁴.

Em linhas gerais, é imprescindível verificar os aspectos de natureza social, pois áreas com uma maior densidade populacional ou áreas de regiões metropolitanas, por exemplo, podem apresentar uma economia local forte, com elevada renda e oferta de emprego, portanto, atrair mais investimentos do setor (MAURITZEN, 2020). Do mesmo modo, é essencial controlar o modelo a partir de variáveis de dotações física/naturais, pois a geração eólica a partir dos moinhos de vento ocorre no local onde os recursos serão extraídos – diferentemente de outras tecnologias, como combustíveis fósseis e energia nuclear –, isto é, em áreas determinadas pela velocidade média do vento, latitude e/ou condições de relevo (MAURITZEN, 2020; CURTIS; MARINESCU, 2022; FABRA *et al.*, 2023). E, portanto, justifica a importância dessas variáveis para o modelo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados estimados e as principais discussões da presente temática. No primeiro momento, analisa os resultados obtidos com as especificações no modelo de Diferença em Diferença (DiD) escalonado, com um grupo de controle obtido a partir da matriz de vizinhança de primeira ordem dos municípios financiados (amostra 1). Posteriormente, para robustez das análises, utiliza como grupo de controle a matriz de vizinhança de segunda ordem (amostra 2) e de terceira ordem (amostra 3), respectivamente. Além disso, apresenta algumas especificações adicionais e seus resultados.

5.1. O efeito do financiamento com modelos DiD

A Tabela 2 apresenta a diferença de médias das variáveis do grupo de controle e de tratamento acompanhadas de suas respectivas significâncias estatísticas (Teste T de *Student*). Esse teste avalia se as médias das variáveis são estatisticamente diferentes entre os dois grupos (tratamento *versus* controle), cuja Hipótese nula (H0) supõe que os grupos não apresentam diferença na média. Percebe-se que embora o número de municípios no grupo de controle seja superior ao número de municípios no grupo de tratamento, as médias das variáveis são estatisticamente significativas e mais elevadas para o grupo de tratamento, sendo este o grupo com maior densidade populacional e maior Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*.

Portanto, preliminarmente, é possível identificar que a dinâmica (social e econômica) dos municípios financiados são maiores que a dinâmica dos seus municípios vizinhos de primeira ordem. Percebe-se que até 2005 as médias de emprego industrial, agropecuária, construção, comércio e serviços eram 0 (zero) para os grupos de controle e tratamento, parte da média do emprego total nesse período pode ser atribuída aos setores: transporte, alojamento, atividades financeiras, administração pública, serviços domésticos e outros serviços¹⁵. Cabe destacar que embora a investigação do setor industrial é o objetivo do presente trabalho, ainda assim o financiamento destinado para as atividades

¹⁴ Para os modelos de Valor Adicionado utiliza-se o QL de emprego, enquanto para os modelos de Emprego utiliza-se o QL de Valor Adicionado.

¹⁵ Cabe ressaltar que a falta de informações no período mencionado não significa necessariamente a inexistência das atividades.

eólicas pode impulsionar outros setores e/ou atividades, portanto, investiga-se também os efeitos sobre os respectivos setores: agropecuária, administração, saúde, comércio e serviços, por exemplo¹⁶.

A partir da Equação 2 estima-se o efeito local do financiamento nas atividades de energia eólica, para um painel com 258 municípios, entre 2002 e 2021. O efeito médio do tratamento sobre os tratados (ATT) aponta um resultado positivo e estatisticamente significativo sobre o Valor Adicionado Industrial (VAI), o Valor Adicionado da Agropecuária e suas atividades relacionadas (VAA), o Valor Adicionado Total (VAT) dos municípios, conforme descritos na Tabela 3. Enquanto para as variáveis de emprego, embora o efeito seja positivo para o setor da Indústria (EI), da Agropecuária e suas atividades relacionadas (EA), de Construção (EC), da Administração pública, saúde, educação e outras atividades relacionadas (EAdm), ainda assim, não apresentam resultados estatisticamente significativos. O coeficiente positivo e estatisticamente significativo do ATT sinaliza um aumento de aproximadamente 74% do VAI em comparação aos municípios que não receberam o financiamento. O erro padrão de 0,15 associado ao coeficiente reforça a precisão da estimativa, isto é, os resultados apontam uma baixa variabilidade do coeficiente estimado. O coeficiente do VAI para o efeito médio do tratamento com controle de efeitos fixos e características observáveis (ATTC) também se mantém positivo e estatisticamente significativo, com um aumento de aproximadamente 39% do VAI.

Tabela 2 – Diferença de médias entre grupos e significância do Teste T (Amostra 1)

		Grupo		(T-C)	Teste T
		(T)	(C)		
Valor Adicionado	Industrial	10,77	9,80	-0,98	-13,93***
	Agropecuária	10,02	9,68	-0,34	-8,79***
	Serviços	11,66	11,02	-0,63	-10,38***
	Administração, saúde e out,	11,72	11,31	-0,41	-10,27***
	Total	12,90	12,27	-0,63	-12,33***
Emprego	Industrial	5,50	4,80	-0,70	-7,67***
	Agropecuária	4,39	3,77	-0,62	-7,50***
	Construção	4,63	3,85	-0,77	-7,47***
	Comércio e Serviços	5,80	5,09	-0,69	-0,54***
	Administração, saúde e out,	7,16	6,74	-0,42	-8,37***
	Total	7,83	7,32	-0,50	-9,31***

Fonte: Elaboração própria, 2024. Nota: Com estatísticas significativas a ***99% ao nível de confiança e todos os valores transformados em logaritmo natural.

Com relação aos efeitos dinâmicos do tratamento, a Tabela 3 ainda apresenta o antes e depois para cada grupo da amostra, totalizando 14 (quatorze) períodos posteriores e 14 (quatorze) anteriores. Os resultados para o VAI sinalizam que embora no período corrente o efeito seja positivo, não é estatisticamente significativo. No entanto, até o 10º (décimo) período subsequente o efeito é positivo e estatisticamente significativo. Esses resultados apontam que o financiamento não teve um efeito imediato sobre o VAI, porém começa a ser percebido após o 1º (primeiro) período e aumenta progressivamente até o 6º (sexto) período, conforme ilustra o Gráfico 3. Nos períodos posteriores esse efeito desacelera e chega ser negativo no 14º (décimo quarto), porém não apresenta um coeficiente estatisticamente significativo. Em magnitudes menores, o ATT sinaliza um aumento de aproximadamente 8,4% do VAA e de 3,4% no ATTC quando controlados por efeitos fixos e variáveis observáveis. O efeito positivo do financiamento é percebido a partir do 1º (primeiro) período sobre o setor, porém estatisticamente significativo apenas entre o 3º (terceiro) e 7º (sétimo) período. Do mesmo modo, os resultados para o VAT são semelhantes aos identificados no VAI, com um efeito positivo do ATT de aproximadamente 20% e do ATTC de 9% quando controlados por efeitos fixos e variáveis observadas.

¹⁶ De acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) 2.0.

Tabela 3 – Efeito do financiamento e estudos de evento, Amostra 1 (2002-2021)

	Logaritmo Natural do Valor Adicionado					Logaritmo Natural do Emprego					
	Industrial	Agrop. e outros	Adm. e outros	Serviços	Total	Industrial	Agrop. e outros	Construção	Comér. e Serv.	Adm. e outros	Total
ATT	0,74*** (0,157)	0,084* (0,046)	0,011 (0,021)	0,052 (0,036)	0,204*** (0,062)	0,063 (0,087)	0,024 (0,097)	0,088 (0,162)	-0,024 (0,047)	0,039 (0,037)	0,042* (0,030)
ATTC	0,392*** (0,105)	0,034** (0,037)	0,007 (0,010)	0,050* (0,026)	0,091*** (0,035)	0,056 (0,068)	0,053 (0,062)	0,000 (0,175)	0,004 (0,029)	-0,003 (0,044)	-0,012 (0,031)
T-14	-0,037 (0,134)	0,035 (0,100)	-0,015 (0,046)	-0,067 (0,052)	-0,001 (0,033)	-0,113 (0,179)	0,100 (0,322)	0,510 (0,395)	-0,140 (0,149)	0,101 (0,065)	0,059 (0,050)
T-13	0,043 (0,222)	-0,048 (0,132)	0,008 (0,043)	0,040 (0,037)	-0,005 (0,040)	-0,136 (0,214)	-0,185 (0,155)	-3,427 (3,419)	-0,013 (0,069)	-0,049 (0,050)	-0,064 (0,052)
T-12	0,110 (0,078)	-0,004 (0,061)	0,019 (0,038)	-0,004 (0,035)	0,026 (0,027)	0,132 (0,137)	-0,485 (0,280)	1,397 (0,871)	-0,053 (0,145)	0,049 (0,060)	0,099 (0,075)
T-11	0,163 (0,282)	-0,033 (0,070)	-0,035* (0,021)	-0,026 (0,040)	0,016 (0,059)	-0,260 (0,133)	0,067 (0,270)	-0,632 (1,155)	0,031 (0,141)	0,139 (0,188)	0,150 (0,168)
T-10	-0,210*** (0,073)	-0,019 (0,044)	-0,012 (0,015)	0,034 (0,024)	-0,010 (0,019)	0,173 (0,177)	0,211 (0,101)	-0,750 (0,450)	0,148 (0,095)	-0,341 (0,345)	-0,175 (0,156)
T-9	-0,012 (0,089)	0,059 (0,061)	0,007 (0,009)	0,031 (0,020)	0,003 (0,020)	-0,105 (0,161)	-0,086 (0,101)	-0,328 (0,395)	-0,060 (0,070)	0,040 (0,355)	-0,072 (0,202)
T-8	0,015 (0,063)	-0,022 (0,051)	-0,013 (0,013)	-0,011 (0,017)	-0,009 (0,013)	0,003 (0,073)	0,011 (0,101)	0,118 (0,359)	-0,033 (0,055)	0,166 (0,144)	0,079 (0,119)
T-7	0,072 (0,067)	-0,015 (0,044)	0,004 (0,009)	0,020 (0,017)	0,018 (0,013)	-0,088 (0,096)	-0,035 (0,094)	0,360 (0,313)	0,033 (0,087)	0,002 (0,028)	0,025 (0,025)
T-6	-0,091* (0,048)	-0,035 (0,036)	-0,020*** (0,007)	0,010 (0,014)	-0,003 (0,012)	-0,089 (0,110)	-0,002 (0,075)	-0,089 (0,286)	0,008 (0,040)	-0,005 (0,056)	0,019 (0,049)
T-5	-0,001 (0,04)	-0,005 (0,041)	-0,010 (0,007)	-0,012 (0,016)	-0,019 (0,012)	-0,067 (0,079)	0,032 (0,084)	0,012 (0,189)	0,010 (0,044)	-0,107 (0,119)	-0,074 (0,066)
T-4	0,062 (0,043)	-0,017 (0,025)	-0,011* (0,007)	0,009 (0,013)	-0,007 (0,013)	-0,081 (0,066)	-0,022 (0,065)	-0,200 (0,219)	0,037 (0,036)	0,013 (0,091)	-0,003 (0,047)
T-3	0,019 (0,064)	0,015 (0,029)	0,008 (0,006)	0,002 (0,011)	-0,002 (0,013)	0,018 (0,081)	-0,006 (0,060)	0,294 (0,179)	-0,072 (0,070)	0,047 (0,066)	0,056 (0,036)
T-2	0,035 (0,070)	-0,026 (0,034)	0,000 (0,005)	0,020 (0,014)	0,012 (0,014)	-0,098* (0,053)	-0,033 (0,072)	0,264 (0,196)	-0,026 (0,037)	-0,138 (0,098)	-0,046 (0,038)
T-1	-0,018 (0,046)	0,014 (0,035)	-0,004 (0,006)	0,020 (0,020)	0,005 (0,023)	0,022 (0,050)	-0,117* (0,065)	0,110 (0,187)	-0,044** (0,022)	0,065 (0,101)	0,034 (0,039)

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA.

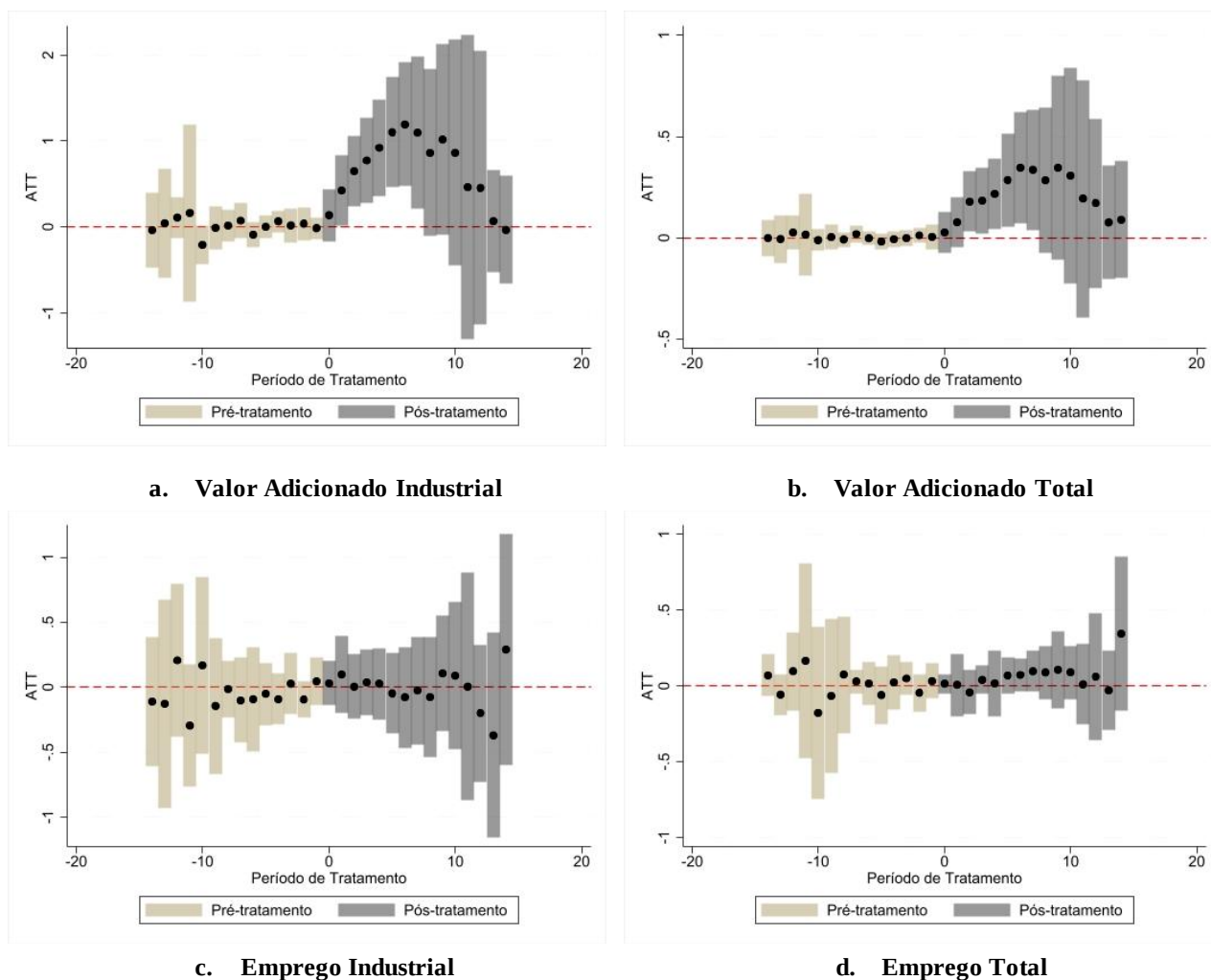
Tabela 3 – Efeito do financiamento e estudos de evento, Amostra 1 (2002-2021) (Continuação)

	Logaritmo Natural do Valor Adicionado					Logaritmo Natural do Emprego					
	Industrial	Agrop. e outros	Adm. e outros	Serviços	Total	Industrial	Agrop. e outros	Construção	Comér. e Serv.	Adm. e outros	Total
T	0,138 (0,095)	-0,016 (0,039)	0,004 (0,008)	0,027 (0,031)	0,026 (0,033)	0,048 (0,057)	0,052 (0,062)	-0,101 (0,167)	0,024 (0,023)	0,031 (0,043)	0,010 (0,023)
T+1	0,423*** (0,143)	0,043 (0,039)	0,007 (0,012)	0,028 (0,031)	0,077* (0,043)	0,085 (0,097)	0,092 (0,068)	0,092 (0,195)	0,006 (0,039)	-0,016 (0,078)	-0,004 (0,057)
T+2	0,648*** (0,143)	0,083 (0,046)	0,010 (0,011)	0,098* (0,039)	0,179*** (0,051)	0,035 (0,081)	0,012 (0,093)	0,017 (0,263)	-0,022 (0,044)	-0,028 (0,058)	-0,046 (0,048)
T+3	0,774*** (0,166)	0,076* (0,045)	0,007 (0,016)	0,063 (0,039)	0,183*** (0,056)	0,055 (0,095)	0,040 (0,092)	0,041 (0,220)	0,022 (0,059)	0,078 (0,062)	0,047 (0,032)
T+4	0,920*** (0,191)	0,086* (0,047)	0,006 (0,016)	0,040 (0,035)	0,217*** (0,059)	0,059 (0,098)	0,153 (0,095)	0,198 (0,268)	0,031 (0,055)	-0,027 (0,121)	0,025 (0,071)
T+5	1,104*** (0,218)	0,165** (0,071)	0,010 (0,019)	0,083* (0,050)	0,286*** (0,080)	0,027 (0,117)	0,026 (0,100)	0,171 (0,253)	-0,028 (0,061)	0,050 (0,039)	0,088** (0,041)
T+6	1,193*** (0,242)	0,144** (0,073)	0,015 (0,021)	0,108** (0,053)	0,346*** (0,094)	0,036 (0,132)	0,059 (0,115)	0,195 (0,252)	-0,030 (0,060)	0,074 (0,046)	0,087** (0,036)
T+7	1,096*** (0,294)	0,152** (0,072)	0,014 (0,027)	0,055 (0,059)	0,337*** (0,106)	0,128 (0,160)	0,074 (0,142)	0,137 (0,212)	-0,085 (0,071)	0,077 (0,065)	0,112** (0,048)
T+8	0,862** (0,320)	0,070 (0,071)	0,015 (0,027)	0,043 (0,065)	0,284** (0,123)	0,093 (0,164)	0,002 (0,171)	-0,006 (0,230)	-0,059 (0,090)	0,041 (0,079)	0,093* (0,056)
T+9	1,015*** (0,367)	0,031 (0,090)	0,023 (0,045)	0,028 (0,089)	0,346** (0,160)	0,212 (0,185)	-0,123 (0,197)	0,116 (0,251)	-0,063 (0,104)	0,104* (0,060)	0,140* (0,081)
T+10	0,864* (0,447)	0,071 (0,169)	0,025 (0,069)	0,036 (0,098)	0,307 (0,191)	0,121 (0,169)	-0,210 (0,242)	0,135 (0,284)	-0,096 (0,114)	0,158*** (0,060)	0,086* (0,049)
T+11	0,462 (0,500)	0,174 (0,189)	0,000 (0,111)	-0,077 (0,106)	0,194 (0,170)	0,043 (0,227)	-0,188 (0,298)	-0,103 (0,360)	-0,196 (0,120)	0,086 (0,067)	0,001 (0,060)
T+12	0,455 (0,643)	0,198 (0,204)	0,030 (0,171)	-0,017 (0,105)	0,171 (0,132)	-0,120 (0,189)	-0,110 (0,450)	0,450 (0,404)	-0,252 (0,135)	0,130 (0,118)	0,042 (0,082)
T+13	0,065 (0,225)	0,268 (0,076)	0,029 (0,049)	-0,070 (0,114)	0,075 (0,100)	-0,273 (0,265)	-0,450* (0,235)	0,464 (0,397)	-0,267 (0,186)	0,123 (0,131)	-0,043 (0,098)
T+14	-0,034 (0,198)	0,201 (0,104)	0,282 (0,031)	0,033 (0,096)	0,090 (0,097)	0,590** (0,294)	-0,238* (0,128)	0,329 (0,341)	-0,335 (0,225)	0,576** (0,283)	0,415*** (0,139)
Controles	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pré-tendência	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Obs.	5160	5160	5160	5160	5160	3617	3296	2840	4057	4124	5159

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA

Com relação aos efeitos dinâmicos, o efeito positivo e estatisticamente significativo se mantém do 1º (primeiro) até o 9º (nono) período posterior ao tratamento. Os resultados para o Valor Adicionado da Administração, saúde e outros (VAdm) e Valor Adicionado de Serviços (VAS) não apresentam valores estatisticamente significativos, porém são positivos no ATT, ATTC e efeitos dinâmicos, cujo coeficientes são positivos entre o período corrente e o 10º (décimo) período posterior. Em linhas gerais, os resultados encontrados para o VA sinalizam a expansão da renda local com o desenvolvimento das atividades do setor eólico, o que mostra seu potencial para promover o desenvolvimento econômico nessas localidades.

Gráfico 3 – Efeito Médio do Tratamento para o Valor Adicionado, Amostra 1 (2002-2021)



Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Para a oferta de emprego local, ainda na Tabela 3, os resultados do ATT são inconclusivos, pois embora positivos – com exceção para empregos no setor de comércio e serviços –, ainda assim não apresentam coeficientes estatisticamente significativos. No setor da indústria o efeito é de aproximadamente 6,3% no ATT e de 5,6% no ATTC, no efeito dinâmico os coeficientes são positivos do período anterior (T-1) até o 11º (décimo primeiro) período posterior, no entanto apenas no 14º (décimo quarto) período esse efeito é estatisticamente significativo. Para os setores de agropecuária e de construção, o efeito ATT foi positivo, porém ambos não apresentam estatísticas significativas. Do mesmo modo, para emprego no setor de administração, saúde e outros o ATT foi de aproximadamente 3,9% e no emprego total o ATT foi de aproximadamente 4,2%, ambos apresentam positivos e estatisticamente significativos apenas no efeito dinâmico do 14º (décimo quarto) período após o financiamento. Cabe mencionar que esses resultados do mercado de trabalho se mantêm mesmo com a participação do emprego no setor em relação ao total, embora em magnitudes menores. O efeito para o EI é de aproximadamente 1,3% no ATT e 7,1% no ATTC, ambos não são

estatisticamente significativos. Do mesmo modo, para as variáveis de participação no emprego total dos setores agropecuária, construção, comércio e serviços.

Portanto, de acordo com os resultados obtidos é possível concluir um efeito positivo do financiamento para as atividades eólicas sobre o VA industrial dos municípios por, em média, dez períodos subsequentes (T+10). Esse efeito positivo da renda local é semelhante aos resultados encontrados por Brunner e Schwegman (2022), ao identificar aumentos do PIB *per capita* nas economias locais. Do mesmo modo, similares aos impactos econômicos (renda pessoal, do orçamento público e do emprego no nível municipal) positivos encontrados por Gavard *et al.* (2022) que se mantém nos anos subsequentes.

Embora não seja claro o efeito sobre o emprego industrial, os resultados são similares aos encontrados por Mauritzen (2020), em especial por não saber até que ponto o aumento da demanda do setor levaria a um aumento líquido no emprego local. De todo modo, compreende-se que as condições geográficas necessárias para a instalação de um polo eólico são, geralmente, peculiares (altos relevos, com extensão de áreas e baixa densidade populacional), além disso, alguns componentes são fabricados ou montados localmente devido à dificuldade logística promovida pelo peso e/ou tamanho (ABDI, 2014; 2018). Nessa perspectiva, municípios próximos podem apresentar um impacto maior do que os municípios contemplados pelo financiamento, especialmente, para contextos com dotações produtivas pré-existentes, pois segundo Fabra *et al.* (2023) os efeitos multiplicadores tendem a serem pequenos nos municípios dos empreendimentos. Portanto, como robustez dos resultados apresentados verifica-se a alteração na magnitude do efeito, se este aumenta, diminui ou se mantém com maiores distâncias do local do empreendimento.

5.2. Análises de Robustez

A fim de investigar o efeito do financiamento com outros grupos de controle, realiza-se as estimações com municípios de segunda (amostra 2) e terceira (amostra 3) ordem, respectivamente, obtidos a partir da matriz de contiguidade do tipo rainha (*Queen*). Os resultados para as amostras 2 e 3 seguem apontando uma diferença entre as médias, mesmo com um número superior de observações para as unidades de controle. Percebe-se que à medida que aumenta a amostra e a distância entre os municípios as diferenças médias também aumentam. Em linhas gerais, os municípios da unidade de tratamento apresentam maior densidade populacional e maior PIB *per capita* em relação aos municípios da unidade de controle, na média. Cabe destacar que do total de 8100 observações na amostra 2 (2002-2021), apenas 85 pertencem as regiões metropolitanas, destes 26 são da unidade de tratamento e 59 da unidade de controle. Para a amostra 3, do total de 10400 observações (2002-2021), apenas 110 pertencem as regiões metropolitanas, destes 26 são da unidade de tratamento e 84 da unidade de controle. Isto é, em ambas as amostras há mais municípios do grupo de controle pertencentes as áreas de regiões metropolitanas.

Os resultados para o ATT, tanto para a amostra 2 quanto amostra 3, apontam um efeito positivo e estatisticamente significativo do financiamento para as atividades eólicas sobre o VAI, o VAA, o VAAdm, e o VAT dos municípios. O coeficiente positivo e estatisticamente significativo do ATT sinaliza um aumento de aproximadamente 75% do VAI em comparação aos municípios que não receberam o financiamento, na amostra 2. Do mesmo modo, o ATT para o VAI com a amostra 3 sinaliza um aumento de aproximadamente 76%, em relação aos municípios que não receberam o financiamento. Em ambos os casos o efeito positivo e estatisticamente significativo se mantém quando controlados por variáveis observadas e os efeitos fixos, o ATTc.

Com relação aos efeitos dinâmicos do tratamento, os resultados para o VAI sinalizam que embora no período corrente o efeito seja positivo, não é estatisticamente significativo, na amostra 2. No entanto, do 1º (primeiro) período até o 7º (sétimo) período subsequente os efeitos são positivos e estatisticamente significativos. Do mesmo modo, os resultados dinâmicos para VAT sinalizam um efeito positivo e estatisticamente significativos do 1º (primeiro) período ao 9º (nono) período. Para a amostra 3, os municípios que obtiveram o financiamento apresentam um efeito positivo e significativo no VAI desde o período corrente quando comparados aos seus vizinhos de 3º (terceira)

ordem, esse efeito se perpetua até o 10º (décimo) período posterior ao tratamento, com um ápice de efeito no 6º (sexto) período posterior. Esse ápice também pode ser percebido para o VAT e ET, com um crescimento do efeito entre o 5º (quinto) e o 7º (sétimo) período após o financiamento, sendo estas, estatísticas positivas e significativas. Quando comparados os resultados da amostra 1, 2 e 3, percebe-se um acréscimo na magnitude dos resultados, isto é, um maior efeito do financiamento no âmbito local.

Enquanto para as variáveis de emprego, embora o efeito seja positivo para o EI, o EA, o EC, o EAdm e o ET, ainda assim, não apresentam resultados estatisticamente significativos, em ambas as amostras. No entanto, para o nível de emprego na atividade industrial e total, na amostra 2, há efeitos positivos e estatisticamente significativos após o 14º (décimo quarto) período do recebimento do recurso, enquanto na amostra 3, esse efeito é positivo e estatisticamente significativo 5º (quinto) período após.

Desse modo, é possível concluir um efeito local do financiamento nas atividades de energia eólica sobre a estrutura produtiva industrial investigada no âmbito do valor adicionado e da oferta de emprego setorial. Além disso, conclui-se que as atividades apresentam um efeito dinâmico que se perpetua após o recebimento do financiamento e exercem impactos sobre outros setores, como no caso do setor agropecuário que apresentou estatísticas positivas e significativas no ATT para todas as amostras analisadas. Por fim, este trabalho contribui para a literatura sobre a importância das características físicas e produtivas em determinadas localidades para que se possa promover um ambiente compatível com o potencial do mercado eólico e absorver os benefícios associados as políticas de financiamento para o processo de transição energética em curso.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerada como uma atividade relativamente nova, intensiva em capital, com longos períodos de amortização e dependente de condições geográficas favoráveis (velocidade do vento e disponibilidade de área), a capacidade de geração eólica global tem apresentado um crescimento exponencial nas duas últimas décadas. Atualmente, o Brasil apresenta a maior capacidade de geração eólica entre os países da América Latina e a 6ª economia em nível global. O desenvolvimento da atividade eólica no país começou a ganhar fôlego a partir dos anos 2000, com um pacote de instrumentos direcionados para o setor, tanto no lado da demanda, quanto do lado da oferta. Em 2023, o setor registrou um total de 1.053 empreendimentos de geração de energia eólica *onshore* em operação, destes, 93% são provenientes dos sistemas *onshore* e 7% *offshore*, com parte significativa desses empreendimentos concentrados na região Nordeste do país, sendo está uma região marcada por baixo desenvolvimento econômico.

A partir de versões anteriores a este estudo é possível identificar dois principais polos produtivos da atividade eólica, um concentrado na região Nordeste e outro na região Sul-Sudeste do país. A produção de subcomponentes – incluindo os insumos e elementos internos das torres, pás, cubo, rotor, nacele, geradores e demais acessórios –, é majoritariamente concentrada no estado de São Paulo, com um total de 157 empresas, seguido por Santa Catarina, Minas Gerais, Bahia, Ceará e Rio Grande do Sul. Essa distribuição, em parte, pode ser explicada pelas teorias de localização e aglomeração, que tem como pano de fundo a proximidade aos parques eólicos e condições de infraestrutura de portos e rodovias, bem como, a proximidade da cadeia produtiva e o aproveitamento de instalação fabril existente.

Entre 2011 e 2017, o setor registrou um *boom* dos investimentos. Com vultosos recursos do BNDES, em 2017, as atividades eólicas representavam mais da metade do financiamento destinado para o setor de energia, em especial, para a região Nordeste do país. Contudo, no ano subsequente foi registrado uma abrupta redução dos investimentos do banco no setor, com recursos destinados apenas para a atividade de geração de energia eólica no Nordeste, o que sugere um desinvestimento nas atividades industriais eólicas por parte da instituição, espacialmente concentrada nas regiões Sul-Sudeste.

Embora haja um grande interesse político na temática, poucos estudos empíricos têm

investigado o efeito local do financiamento nas atividades de energia eólica sobre a estrutura produtiva, sendo esta a principal contribuição do presente trabalho, cujo objetivo consiste em estimar o efeito local do financiamento para o VA setorial e a oferta de emprego em nível municipal, a partir do modelo de Diferença em Diferença (DiD) para o período entre 2002 e 2021. Além da análise do setor industrial, a identificação estatística permitiu investigar repercussões sobre demais setores da economia, como os setores agrícola, construção, comércio e serviços.

Os resultados encontrados sinalizaram um efeito positivo dos investimentos em atividades de energia eólica sobre o logaritmo do VA industrial e total dos municípios, tanto no efeito médio do tratamento quanto no efeito agregado. Ao analisar o efeito dinâmico dessas variáveis, apenas o efeito do VA industrial foi estatisticamente significativo no período corrente, em ambos, nos períodos subsequentes ao recebimento do financiamento ocorreu um efeito positivo e estatisticamente significativo. Em relação ao efeito sobre o mercado de trabalho, os resultados não foram estatisticamente significativos para o logaritmo do EI. Além disso, apresentaram um efeito negativo do financiamento em quase todos os períodos pré-tratamento (T-14) e pós-tratamento (T+14). Enquanto para o logaritmo do ET, o efeito do financiamento foi positivo e estatisticamente significativo no ATT, no estudo de eventos uma atenção especial se deve ao efeito negativo e estatisticamente significativo nos três últimos períodos da amostra, ressaltando uma redução na oferta de emprego total no longo prazo.

Diante do exposto, conclui-se que no período analisado o financiamento para as atividades de energia eólica aumentou o VA industrial e o VA total dos municípios, promovendo, portanto, o desenvolvimento econômico local. Além disso, o financiamento também apresentou um efeito positivo sobre o emprego total dos municípios com atividade eólica, estimulando o desenvolvimento social local. Esses resultados sinalizam a importância do recurso destinado para o setor, a fim de promover atividades com maior valor agregado em regiões com elevado potencial, mas historicamente desiguais, como a região Nordeste do país.

Nessa linha, sugere-se que os municípios apresentaram capacidades locais físicas (velocidade média do vento) e produtivas (potencial produtivo industrial) que foram essenciais para absorver a demanda das atividades fomentadas pelos instrumentos e políticas do setor. No entanto, os abruptos desinvestimentos do BNDES sobre essas atividades podem sinalizar alguns gargalos adicionais em cenários futuros, especialmente devido à crescente demanda da capacidade de geração eólica e pela necessidade de revitalização de algumas infraestruturas com vida útil encerrando. O que sugere, portanto, a importância da oferta de recurso continuado para o setor e o importante papel exercido pelo BNDES para essas atividades.

Além disso, com o recente desenvolvimento da nova Política Industrial, a Nova Indústria Brasil (NIB), espera-se que o país possa recuperar seu protagonismo e reduzir a dependência externa nas atividades relacionadas a transição energética em curso. Contudo, para promover o novo ciclo de desenvolvimento com metas alinhadas a sustentabilidade entende-se como imprescindível a concentração em algumas atividades-chave, capazes de criar uma cadeia produtiva doméstica, eficiente e de alto valor agregado. E, nesse sentido, a NIB ainda apresenta inúmeros desafios, especialmente por se caracterizar, até o presente momento, com metas abrangentes e de baixa articulação entre os *stakeholders* (público, privado e cívico).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEECOLICA – Associação brasileira de energia eólica e novas tecnologias. **Boletim anual 2022**. ABEEOLICA, 2023.
- ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Mapeamento da cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil**. Brasília: ABDI, 2014.
- ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Atualização do Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil**. Brasília: ABDI, 2018.
- ADAMI, Vivian; *et al.* Regional industrial policy in the wind energy sector: The case of the State of Rio Grande do Sul, Brazil. **Energy Policy**, n. 111, p.18–27, 2017.
- ALTENBURG, Karl; RODRIK, Dani. Green industrial policy: accelerating structural change towards wealthy green economies. In: **Green industrial policy: concept, policies, country experiences**, UN Environment,

2017.

- ARAÚJO, Bruno; WILLCOX, Luiz. Reflexões críticas sobre a experiência brasileira de política industrial no setor eólico. **BNDES Setorial**, v. 47, p. 163-220, 2018.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Sistema de informações de geração da ANEEL - SIGA**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br>> Acesso em janeiro de 2023.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Conjunto de Dados**. Disponível em: <<https://dadosabertos.bndes.gov.br/dataset>>. Acesso em fevereiro de 2024.
- BRASIL. **Medida Provisória nº 2.198-4 de 27 de julho de 2001**. Disponível em: <<https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=MPV&numero=2198-4&ano=2001&ato=01fEzZ610MNpWTb04>>. Acesso em: 12/06/2024.
- BRASIL. **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm>. Acesso em junho de 2024.
- BRASIL. **Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2003/L10.762.htm>. Acesso em junho de 2024.
- BROWN, Jason; *et al.* Ex post analysis of economic impacts from wind power development in U.S. counties. **Energy Economics**, v. 34, p. 1743–1754, 2012.
- BRUNNER, Eric; SCHWEGMA, David. Commercial wind energy installations and local economic development: Evidence from U.S. counties. **Energy Policy**, v. 165, 112993, 2022.
- BRUNNER, Eric; *et al.* Commercial wind turbines and residential home values: New evidence from the universe of land-based wind projects in the United States. **Energy Policy**, v. 185, p. 113837, 2024.
- CALLAWAY, Brantly; SANT'ANNA, Pedro. Difference-in-Differences with multiple time periods. **Journal of Econometrics**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.12.001>
- CALLAWAY, Brantly; ZHAO, Jun. Doubly robust difference-in-differences estimators. **Journal of Econometrics**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.06.003>.
- CORPENICUS. **Datasets**. Disponível em: <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>>. Acesso em março de 2024.
- CURTIS, Mark; MARINESCU, Ioana. Green energy jobs in the us: what are they, and where are they? **NBER Working Paper**, 30332, 2022.
- CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Plano de ação para a Neoindustrialização**. CNI, 2024.
- DESCHENES, Olivier; *et al.* Causal effects of renewable portfolio standards on renewable investments and generation: the role of heterogeneity and dynamics. **NBER Working Paper**, 31568, 2023.
- DONG, Luran; *et al.* Property value impacts of onshore wind energy in New England: The importance of spatial heterogeneity and temporal dynamics. **Energy Policy**, v. 179, p. 113643, 2023.
- FABRA, Natalia; *et al.* **Do renewable energies create local jobs?** Banco de España, Madrid, 2023. DOI: <https://doi.org/10.53479/29475>.
- FABRIS, Leonardo. Instituições e Redes na Indústria de Aerogeradores: O Caso da Empresa WEG. **Revista Contraponto**, v. 7, n. 2, 2020.
- FURTADO, André; PERROT, Radhika. Innovation dynamics of the wind energy industry in South Africa and Brazil: technological and institutional lock-ins. **Innovation and Development**, v. 5, n. 2, p. 263-278, 2015.
- FERREIRA, Lindomayara; GONÇALVES, Eduardo. Capacidade tecnológica do setor eólico brasileiro: oportunidades e desafios à luz do papel das instituições e da política industrial. **VI Encontro Nacional de Economia Industrial**, 2022a.
- FERREIRA, Lindomayara; GONÇALVES, Eduardo. Capacidade tecnológica do setor eólico brasileiro: oportunidades e desafios à luz do papel das instituições e da política industrial. **II Encontro Nacional de Jovens Pesquisadores**, 2022b.
- GAVARD, Claire; *et al.* Local Economic Impacts of Wind Power Deployment in Denmark. **Discussion paper: ZEW – Leibniz Centre for European Economic Research**, v. 22, n. 058, 2022.
- GOUVÊA, Renato; SILVA, Paulo. Desenvolvimento do setor eólico no Brasil: Wind power sector development in Brazil. **Revista BNDES**, v. 25, n. 49, p. 81-118, 2018.
- GONÇALVES, Solange; *et al.* The impact of wind power on the Brazilian labor market. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 128, n. 109887, 2020.
- GOETZKE, Frank; RAVE, Tilmann. Exploring heterogeneous growth of wind energy across Germany. **Utilities Policy**, p. 1-13, 2016.
- GILBERT, Ben; *et al.* Distributional equity in the employment and wage impacts of energy transitions. **NBER Working Paper**, 31608, 2023.
- GUERRA, Adriana; *et al.* New industrial policy for a new world: Seizing Brazil's opportunities in the energy transition. **Geopolitical BRIEF**, n. 3, 2025.

- GWEC – Global Wind Energy Council. **Global Wind Report 2024**. GWEC, 2024.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Desemprego**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/desemprego.php>>. Acesso em junho de 2024.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados Abertos**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>>. Acesso em junho de 2024.
- IEDI – Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. **Políticas de conteúdo local: a experiência brasileira**. IEDI, 2018.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **7. Energia Acessível e Limpa**. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/ods/ods7.html>>. Acesso em novembro de 2023.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Global landscape of renewable energy finance**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2023.
- IRFAN, Muhammad; *et al.* Critical factors influencing wind power industry: A diamond model-based study of India. **Energy Reports**, v. 5, p. 1222-1235, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.08.068>.
- KRUGMAN, Paul. First nature, second nature, and metropolitan location. **Journal of Regional Science**, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.1993.tb00217.x>.
- LI, Cun-Bin; *et al.* Comprehensive assessment of flexibility of the wind power industry chain. **Renewable Energy**, v. 74, p.18-26, 2015.
- MATTEI, Taise; MATTEI, Tatiane. Métodos de Análise Regional: um estudo de localização e especialização para a Região Sul do Brasil. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, v. 38, n. 133, p. 227-243, 2017.
- MAURITZEN, Johannes. Will the locals benefit? The effect of wind power investments on rural wages. **Energy Policy**, v. 142, n. 111489, 2020.
- MAZZUCATO, Mariana. **O Estado Empreendedor: Desmascarando o Mito do Setor Público vs. Setor Privado**. São Paulo: Portfolio Perquin, 2014.
- MONASTERIO, Leonardo. Indicadores de análise regional e espacial. Economia regional e urbana: teorias e métodos com ênfase no Brasil. In: CRUZ, Bruno et al., (Org.). **Economia Regional e Urbana: Teorias e métodos com ênfase no Brasil**. Brasília: Ipea, 2011.
- NUNES, Anna; *et al.* Impact assessment of public policy in the municipalities covered by the incentive program for alternative energy sources – PROINFA. **Product & Services**, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4147125>.
- OECD – **Organisation for Economic Co-operation and Development**. Disponível em: <<https://www.oecd.org/>>. Acesso em novembro de 2023.
- PODCAMENI, Gabriella. Elementos para uma análise da inserção da energia eólica no Brasil a partir de uma perspectiva da política industrial. **Revista Econômica**, v.16, n.2, p. 51-76, 2014.
- RAIS – Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). **Dados Abertos**. Disponível em: <<http://pdet.mte.gov.br/aceso-online-as-bases-de-dados>>. Acesso em fevereiro de 2023.
- REN21 – Renewables Now. **Renewables 2023: Global Status Report Collection, Global Overview**. REN21, 2023. Disponível em: <www.ren21.net/gsr-2023>. Acesso em novembro de 2023.
- RODRIK, Dani. Green Industrial Policy. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 30, n. 3, p. 469–49, 2014.
- RODRIGUES, Thiago; *et al.* 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.
- ROTH, Jonathan; *et al.* What’s Trending in Difference-in-Differences? A Synthesis of the Recent Econometrics Literature. **Cornell University**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.01194>.
- SANT’ANNA, Pedro; ZHAO, Jun. Doubly robust difference-in-differences estimators. **Journal of Econometrics**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.06.003>.
- SUZIGAN, Wilson; *et al.* Institutions and industrial policy in Brazil after two decades: have we built the needed institutions? **Economics of Innovation and New Technology**, 2020.
- SUN, Liyang; ABRAHAM, Sarah. Estimating dynamic treatment effects in event studies with heterogeneous treatment effects. **Journal of Econometrics**, v. 225, n. 2, p. 175-199, 2021.
- UYARRA, Elvira; *et al.* Exploring the normative turn in regional innovation policy: responsibility and the quest for public value. **European Planning Studies**, v. 27, n. 12, p. 2359–2375, 2019.