

# VI ENEI Encontro Nacional de Economia Industrial

Indústria e pesquisa para inovação: novos desafios ao desenvolvimento sustentável

30 de maio a 3 de junho 2022

## CAPACIDADE TECNOLÓGICA DO SETOR EÓLICO BRASILEIRO: OPORTUNIDADES E DESAFIOS À LUZ DO PAPEL DAS INSTITUIÇÕES E DA POLÍTICA INDUSTRIAL

Lindomayara França Ferreira<sup>1</sup>;  
Eduardo Gonçalves<sup>2</sup>

**Resumo:** Este trabalho propõe uma discussão sobre as oportunidades e os desafios do setor eólico brasileiro, à luz do papel das instituições e da política industrial. Desde os anos 2000, em ritmo análogo ao contexto mundial, o Brasil tem apresentado uma expansão do setor eólico, concomitante, ao desenvolvimento doméstico industrial do setor. Parte desse sucesso pode ser atribuído: i) a atuação das instituições e da criação de primordiais programas e mecanismos de apoio para o desenvolvimento da indústria e, ii) as pré-condições existentes do setor produtivo no Brasil. Entretanto, o baixo número de patentes e a elevada instabilidade de recurso disponibilizado para P&D e inovação, apresentam desafios para o setor. E, neste sentido, assume-se como fator predominante os mecanismos de coordenação entre a política energética, industrial e C&T, a fim minimizar os custos das tecnologias mais disruptivas, identificar as "janelas de oportunidades", promover o desenvolvimento de atividade inovativas de maior complexidade e estimular um cenário condizente com as potencialidades sinalizadas pelo setor no contexto mundial.

**Palavras-Chave:** Política industrial; Instituições; Setor eólico; Brasil.

**Código JEL:** O25; O13; O38.

**Área Temática:** Políticas Industriais e Comerciais.

**Abstract:** This work proposes a discussion about the opportunities and challenges of the Brazilian wind sector, in the light of the role of institutions and industrial policy. Since the 2000s, at a pace similar to the global context, Brazil has shown an expansion of the wind sector, concomitant with the domestic industrial development of the sector. Part of this success can be attributed to: i) the performance of institutions and the creation of key programs and support mechanisms for the development of the industry and, ii) the existing pre-conditions of the productive sector in Brazil. However, the low number of patents and the high instability of resources available for R&D and innovation, present challenges for the sector. And, in this sense, the mechanisms of coordination between energy, industrial and S&T policy are assumed to be the predominant factor, in order to minimize the costs of the most disruptive technologies, identify "windows of opportunity", promote the development of innovative activities of greater complexity and stimulate a scenario consistent with the potential signaled by the sector in the global context.

**Keywords:** Industrial policy; Institutions; Wind sector; Brazil.

**JEL CODES:** O25; O13; O38.

<sup>1</sup> Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Economia na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF/PPGE). E-mail: <lindomayara.franca@estudante.ufjf.br>.

<sup>2</sup> 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>.

## 1. INTRODUÇÃO

As tecnologias renováveis do setor energético têm apresentado um elevado potencial para o desenvolvimento econômico e regional. Além disso, nos últimos anos a preocupação com a segurança energética e as mudanças climáticas antropogênicas destacam as fontes renováveis de energias como tecnologias-chave para um novo paradigma (Kern, et al. 2014).

No contexto geopolítico, os esforços em energia renovável têm sido cada vez mais viabilizados por diversos países. Recentemente, em abril de 2021, na Cúpula do Clima o presidente dos Estados Unidos<sup>3</sup> firmou seu compromisso para uma transição energética de baixo carbono, anunciando um investimento de US\$ 2 trilhões nos próximos quatro anos, de modo a diminuir drasticamente o consumo de combustíveis fósseis (Mathias, et al., 2021). Na China, o 14º Plano de Desenvolvimento Quinquenal<sup>4</sup> apresentou como proposta o aumento da participação de fontes renováveis em sua matriz energética para cerca de 20% (Gonçalves, 2021).

De acordo com dados do relatório [REN21 \(2019\)](#), tem sido crescente o investimento global em ERs, chegando a um total de US\$ 288,9 bilhões de dólares em 2018 – superior ao total de investimento em combustíveis fósseis e energia nuclear no mesmo ano. Não tão favorável quanto no contexto internacional, no cenário brasileiro o investimento apresentou uma redução de 47% em 2018<sup>5</sup>, com uma participação significativa de investimentos em fontes não renováveis de energia, sobretudo, em usinas termoelétricas.

A atual matriz energética brasileira é majoritariamente de fonte hídrica (59,91%), seguido das fontes não renováveis<sup>6</sup> (17,01%), eólica (11,81%), biomassa (8,65%) e solar (2,62%). No que se refere à fase de “construção”, a fonte mais representativa é a de energia eólica com 37,05%, seguida de fonte termoelétrica com 26,97% e solar com 23,93% ([Aneel, 2022](#)).

Com vantagem comparativa no potencial eólico ([Gouvêa; Silva, 2018](#)), no Brasil dos 811 empreendimentos em operação de fonte eólica, destes, 708 estão localizados na região Nordeste ([Aneel, 2022](#)). Parte desse cenário se deve à presença das jazidas de vento na região ([Bezerra, 2019](#)), tal que, apresenta as melhores condições de geração de energia elétrica. Os motivos para a inserção da fonte eólica na matriz energética variam em cada país e de acordo com as suas características regionais ([Araújo; Willcox, 2018](#)). Destacado como o país de maior capacidade de geração eólica na América Latina, o desenvolvimento do setor no Brasil somente começou a ganhar fôlego a partir dos anos 2000, com a crise energética ([Gouvêa; Silva, 2018](#)).

Cabe ressaltar que um dos fatores propulsores para a rápida expansão do setor produtivo eólico brasileiro consiste na capacitação científica e produtiva adquirida aos longos dos anos, sobretudo, com o setor aeroespacial – ao qual o país apresenta competitividade mundial promovida pela maturidade tecnológica da Embraer ([Podcameni, 2014; Gouvêa; Silva, 2018](#)).

Embora o Brasil apresente uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, a falta de um planejamento estratégico – como tem sido desenvolvido no EUA e na China, por exemplo –, tem conduzido o país a um cenário de instabilidade energética, com atuações de curto prazo em “nome da urgência”<sup>7</sup>. E, nesta perspectiva, assume-se ser imprescindível a articulação da política energética, industrial e de ciência e tecnologia (C&T), a fim de conduzir um cenário condizente com as potencialidades do setor no Brasil.

Assumindo que a atuação do Estado é indispensável no processo de desenvolvimento de inovações tecnológicas ([Mazzucato, 2013](#)), a política industrial é entendida como um instrumento direcionado às “indústrias específicas para alcançar os resultados que são percebidos pelo Estado como sendo eficientes para a economia como um todo”, de modo que, seus resultados gerem um ciclo virtuoso capaz de promover eficiência no ambiente econômico, não apenas de setores específicos ([Chang, 1994, p.7](#)). Segundo [Grillitsch e Asheim \(2018\)](#), os países devem identificar os setores estratégicos que apresentem capacidades existentes – ou com potencial de adquiri-las –, a fim de se especializar e criar ambientes de diversificação em comparação com outros países e/ou regiões.

<sup>3</sup> Joe Biden e Kamala Harris foram empossados no dia 20 de janeiro de 2021.

<sup>4</sup> Engloba o período de 2021 a 2025.

<sup>5</sup>Totalizando um montante de US\$3,3 bilhões.

<sup>6</sup> Petróleo, gás natural, carvão mineral e energia nuclear.

<sup>7</sup> Implementação de termelétricas na crise energética no estado do Amapá em 2020, por exemplo.

A redução da dependência de importação e as potencialidades da geração de emprego são pontos que justificam a importância da política industrial no setor eólico ([Podcameni, 2014](#)). Portanto, os investimentos no setor produtivo em energia eólica surgem “como uma oportunidade para o adensamento industrial e para o desenvolvimento de cadeias produtivas de bens e serviços sofisticados” ([Araújo; Willcox, 2018, p.167](#)).

Abordagens anteriores apontam evidências para um efeito positivo na indústria local dos países que viabilizaram o setor eólico em maior escala ([Fornahl, 2012](#); [Zhang, et al., 2013](#); [Pegels; Lütkenhorst, 2014](#); [Nahm, 2017](#)). No cenário brasileiro, a literatura têm enfatizado em dois principais contextos: i) na percepção das empresas sobre os principais programas de apoio a indústria eólica brasileira; e ii) no efeito do financiamento para o desenvolvimento tecnológico do setor.

[Podcameni \(2014\)](#) discute sobre um efeito significativo nos processos de capacitação da cadeia de fornecedores, que desencadearam o desenvolvimento de diversas atividades inovadoras – embora concentradas em processos de menor complexidade – a partir da disponibilidade de financiamento. Ainda no que se refere a atuação institucional do BNDES, [Fabris \(2020\)](#) destaca a existência de uma forte relação entre a expansão do setor e a participação do financiamento do BNDES a partir de 2012 com o Plano de Nacionalização Progressiva (PNP). Os autores [Araújo e Willcox \(2018\)](#), apresentam reflexões sobre a política industrial no contexto eólico brasileiro em comparação com as experiências dos Estados Unidos e da China. Ainda nessa perspectiva comparativa entre países, [Hochstetler e Kostka \(2015\)](#) examinam o desenvolvimento do setor eólico e solar no Brasil e na China, ao qual abordam as diferenças nas relações Estado-empresa, bem como a trajetória do setor nesses países. Realizando um estudo de caso do estado do Rio Grande do Sul, os autores [Adami et al. \(2017\)](#) discutem sobre a implementação de uma política industrial regional e os seus resultados sobre a competitividade do setor em relação aos demais estados brasileiros com alto potencial eólico. Em linhas gerais, as evidências têm sinalizado um avanço no mercado eólico a partir das estratégias de nacionalização atrelado ao financiamento do BNDES e da atuação do Estado enquanto formulador de políticas e de instrumentos para o setor energético.

Assim, caracterizado como um setor em expansão, este trabalho propõe expandir o debate sobre as oportunidades e os desafios do setor eólico brasileiro, à luz do papel das instituições e da política industrial. Em específico, reunir evidências no contexto geopolítico para fins comparativos, apresentando dados brasileiros e de países líderes no mercado eólico, bem como, seus principais instrumentos políticos e de incentivos para o desenvolvimento do setor. Para tal, faz-se uso do método exploratório e descritivo, com enfoque na literatura teórica que fundamenta essa discussão.

Organizado em quatro seções, incluindo essa introdução e as considerações finais. A segunda seção apresenta uma discussão inicial do arcabouço teórico do papel das instituições e dos principais fundamentos da política industrial. A seção três se subdivide em três subseções: i) setor eólico no contexto mundial; ii) o contexto político, institucional, os aspectos regulatórios, as oportunidades e desafios do setor eólico, na perspectiva brasileira e, iii) análise comparativa entre os dados brasileiro e os principais países líderes do mercado eólico, em relação aos principais instrumentos de incentivos e a magnitude do financiamento direcionado para o desenvolvimento do setor.

## 2. INSTITUIÇÕES E POLÍTICA INDUSTRIAL: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A política industrial moderna, também denominada como política de inovação ([Schot; Steinmueller, 2018](#)), apresenta contribuições que vão além da atuação em falhas ou imperfeições de mercado, direcionando seus esforços para o fomento do desenvolvimento da inovação e de novos mercados. Com uma visão neoschumpeteriana e evolucionária, a política industrial apresenta uma área de abrangência ampla, ao qual a organização institucional exerce um papel relevante em sua implementação e coordenação ([Suzigan; Furtado, 2006](#)).

Há um extenso debate sobre o papel das instituições. Em linhas gerais, a literatura apresenta duas perspectivas: i) Nova economia institucional ([North, 1991](#); [Acemoglu, et al., 2005](#)) e, ii) Estado desenvolvimentista ([Chang, 2008](#); [Mazzucato, 2013](#)); sendo essa última, a abordagem adotada no presente trabalho, uma vez que enfatiza a atuação do Estado de forma mais incisiva, tanto no desenvolvimento de

políticas que possam se articular, quanto no fornecimento de estímulos ao setor privado, sobretudo, em tecnologias disruptivas.

Coordenar mudanças, estruturar e/ou reestruturar, estimular negociações privadas e preservar a diversidade, são algumas das ações primordiais desempenhadas pela política industrial ([Chang, 1994](#)). Caracterizada por sua complexidade, a política industrial apresenta extensões que ultrapassam o ambiente industrial ([Suzigan; Furtado, 2006](#)). Contudo, assim como qualquer outra política, a política industrial apresenta diversas limitações no seu desenvolvimento, dentre elas, a articulação com o ambiente institucional – público e privado –, a disponibilidade de financiamento e, sobretudo, o comando político e a capacidade de coordenação ([Chang, 1994](#); [Suzigan e Furtado, 2006](#)).

A política industrial não pode ser desenvolvida como uma política isolada, de modo que comumente a política industrial entra em conflito com outras políticas, por exemplo, conflitos com as políticas macroeconômicas ([Suzigan; Furtado, 2006](#)) e as políticas regionais ([Aigner; Rodrik, 2020](#)). Além disso, a política industrial deve propor instrumentos capazes de afetar o sistema de regras que moldam o comportamento do agente inovador, em outras palavras, a política industrial deve transformar padrões vigentes – baixo P&D e gastos com inovação, por exemplo – de forma a condicionar os agentes para o desenvolvimento da inovação e mudança estrutural ([Suzigan, et al., 2020](#)), minimizando as percepções de risco e incerteza envolvidas no processo de inovação.

No que se refere ao desenvolvimento das tecnologias sociais focadas em resolver desafios importantes, o elevado grau de incerteza muitas vezes torna mais difícil a evolução das instituições que as apoiam e a mensuração dos resultados, em relação aos de tecnologias físicas, conforme apontado por [Nelson \(2008\)](#). Ainda segundo o autor, o desenvolvimento da biotecnologia no EUA, por exemplo, foi claramente impulsionado por ações públicas e privadas. E, nesta perspectiva, [Mazzucato \(2013\)](#) destaca a importância do Estado empreendedor em setores estratégicos para o desenvolvimento do país, dado que inovações com elevado grau de incerteza tendem a ter uma atuação mais tímida do setor privado.

Com justificativas teóricas relacionadas a iminente crise climática e ao bem-estar social, a política industrial verde apresenta inúmeros desafios políticos, “incluindo considerações sobre a direção da mudança, a necessidade de experimentação e ênfase crescente na adoção da inovação e coordenação de políticas”<sup>8</sup> ([Grillitsch; Hansen, 2019, p. 2164](#)). Contudo, o debate útil a ser realizado não é se a política deve ser promovida ou não, mas como deve ser projetada, identificando os principais atores da cadeia de produção e a existência e localização de *spillovers* tecnológicos, por exemplo ([Rodrik, 2014](#)).

No contexto de países e/ou regiões periféricas, o desenvolvimento da indústria verde pode apresentar um grau maior incerteza, sobretudo pela falta de especialização local e existência de um Sistema de Inovação imaturo. E, nesta perspectiva, sugerem-se instrumentos que estimulem a atualização e o surgimento de trajetórias nesses cenários. Enquanto para o desenvolvimento da indústria verde em regiões com especializações existentes propõem-se estimular a diversificação de caminhos com base no conhecimento existente ([Grillitsch; Hansen, 2019](#)). Uma contribuição fundamental para o desenho da política de inovação refere-se a variedade relacionada, ao qual promove maior capacidade de absorção e difusão do conhecimento nos setores complementares, transformando o processo de inovação nas indústrias e regiões ([Serra, et al., 2021](#)).

Identificada a partir do seu potencial estratégico e de vantagens competitivas, a especialização inteligente propõe o desenvolvimento de atividades específicas, ao qual apresenta em sua essência a especialização diversificada e a identificação de futuras capacidades domésticas ([Serra, et al., 2021](#)), baseada em localização ([Grillitsch, 2015](#)). Esse tipo de abordagem posiciona as regiões e o contexto local como fator relevante para o arcabouço da política industrial, na medida em que são identificados. Cabe destacar que a seleção de prioridades no desenvolvimento da política deve ir além do nível setorial, promovendo atividades capaz de transformar esses setores e criar novos ([Foray, 2018](#)).

No contexto europeu, as estratégias de especialização inteligente configuram-se como pré-requisito para acessar o financiamento ([Grillitsch, 2015](#)), sendo possível identificar as vantagens competitivas, evitando a duplicação dos esforços entre as regiões e países no setor energético, destacando-se como

---

<sup>8</sup> Tradução livre.

prioridade de especialização a bioenergia, energias renováveis marinhas, redes inteligentes, edifícios sustentáveis e energia solar, por exemplo ([Cebolla; Navas, 2019](#)).

Segundo [Foray \(2018\)](#), as políticas devem apresentar não-neutralidade, fazendo escolhas compatíveis com suas competências tecnológicas estabelecidas, reconhecendo o papel da complementariedade, coordenação e conexão entre inovação e difusão – em contraste da política de setor neutro (horizontal). Assim, a fim de minimizar os gargalos do setor – elevada dependência de combustíveis, metais e outros materiais de baixa disponibilidade – fatores relacionados a capacidade de inovar, de desenvolver e comercializar tecnologias são indicadores importantes para usufruir as potencialidades existentes no processo de transição, bem como, alavancar as capacidades domésticas dos países ([IRENA, 2020](#)).

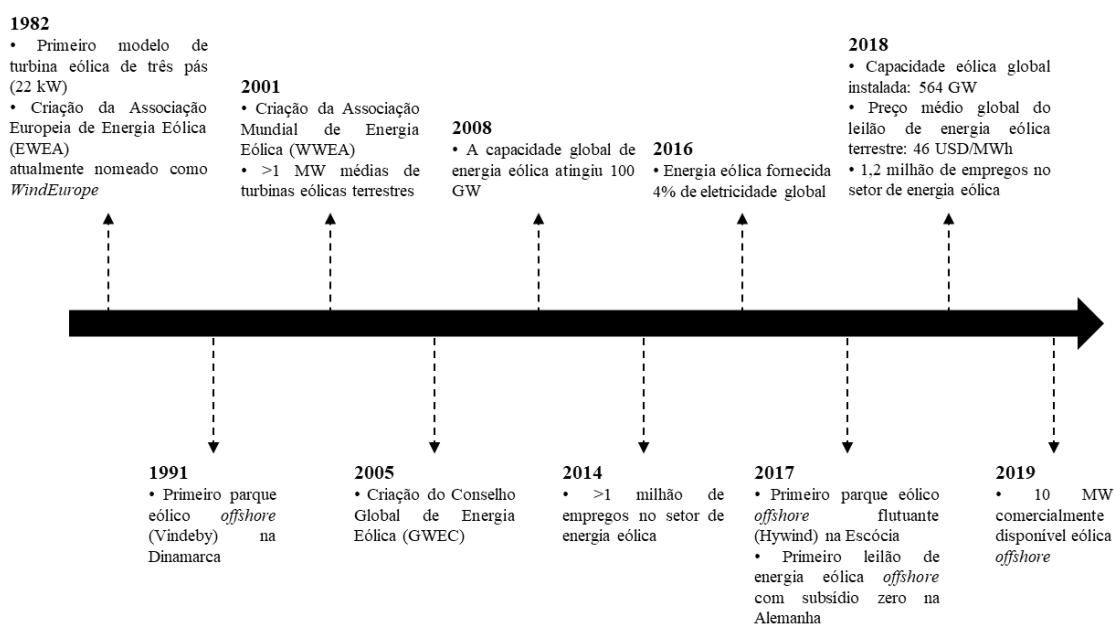
Em linhas gerais, a especialização inteligente tem como objetivo criar massa crítica e competitividade em temáticas emergentes, visando estimular a mudança estrutural ([Grillitsch, 2015](#)), bem como, alcançar metas de natureza tecnológica, social, ambiental ou industrial específicas, cuja efetividade exige *clusters* de inovação orientadas na direção estabelecida ([Foray, 2018](#)).

Diante dessa contextualização inicial e tendo objetivo principal discutir sobre as oportunidades e os desafios do setor eólico brasileiro, à luz do papel das instituições e da política industrial, esta seção é composta por duas subseções. Inicialmente faz-se uma breve discussão sobre o cenário do setor eólico no contexto mundial. Posteriormente propõe-se discutir sobre o contexto político, institucional e os aspectos regulatórios no Brasil, seguido de reflexões em torno das oportunidades e os desafios.

### **3. INSTITUIÇÕES E POLÍTICA INDUSTRIAL NO SETOR EÓLICO**

Historicamente, a indústria eólica apresentou significativa evolução nas quatro últimas décadas, com marcos regulatórios, criação de órgãos, criação de instituições normativas, ampliação de instalações e avanços tecnológicos, conforme ilustra a Figura 1.

Um dos aspectos relevantes nessa trajetória se concentra na redução do custo de instalação eólica *onshore*, que até 2010 era em torno da média de 1913 USD/kw e em menos de uma década reduziu para 1497 USD/kw, com projeções de redução para 800 USD/kw em 2030 ([IRENA, 2019](#)). Isso implica no aumento da competitividade tecnológica em relação às tecnologias convencionais, sobretudo, ao considerar cenários com ampla disponibilidade de recursos e potencial de mercado. Além disso, na medida em que as barreiras vão sendo superadas novas trajetórias tecnológicas vão sendo viabilizadas, por exemplo, o caso da tecnologia *offshore* que em 2019 já ofertava 10 MW no mercado global.



**Figura 1 – Trajetória da indústria eólica no contexto mundial**

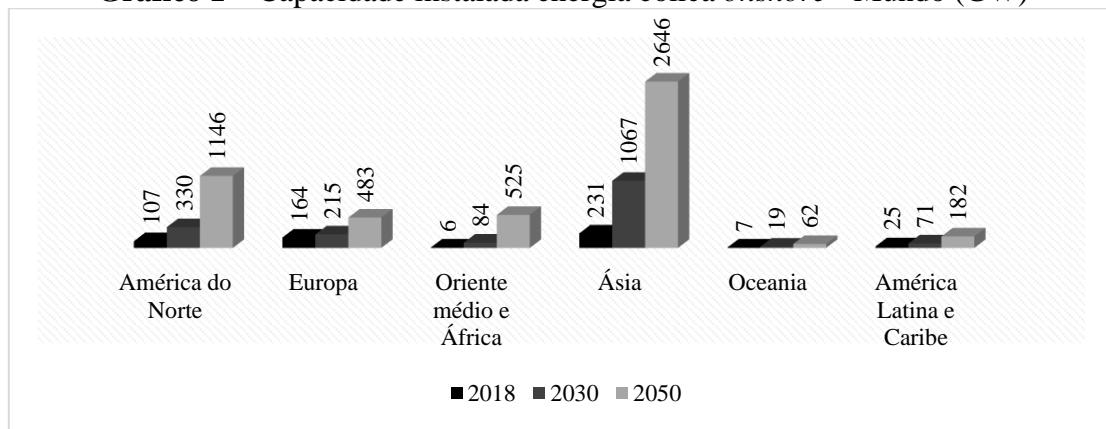
Fonte: Elaboração dos autores, adaptado IRENA (2019).

Nesse sentido, conforme o processo de transição energética avança, os diferentes contextos estruturais e socioeconômicos existentes expõem os desafios e as oportunidades de cada país. Nas últimas décadas, o setor eólico *onshore* tem apresentado um exponencial crescimento da capacidade instalada global, ficando atrás apenas das tecnologias de fonte hídrica ([Araújo; Willcox, 2018](#)), com uma capacidade instalada de 564 GW em 2018 e mais de 1 milhão de geração de empregos no setor ([IRENA, 2019](#)), o que destaca o seu potencial.

### 3.1. Setor Eólico no Contexto Mundial

Atualmente o mercado mais relevante do setor eólico se concentra na Ásia, principalmente China e Índia, com um expressivo financiamento para o setor até 2050, conforme ilustra o Gráfico 1. Seguido da América do Norte, com uma capacidade instalada significativa no Estado Unidos, ao qual apresenta uma projeção para 2050 de dez vezes superior aos níveis de 2018 ([IRENA, 2019](#)).

**Gráfico 1 – Capacidade instalada energia eólica *onshore* - Mundo (GW)**



Fonte: Elaboração dos autores, adaptado IRENA (2019).

Cabe destacar que por volta de 2010 a Europa liderava o setor, porém foi ultrapassado pela China com quase um terço da capacidade instalada global. Em 2011, quatro das 10 maiores fabricantes de turbinas eólicas do mundo foram para a China, no ano seguinte a capacidade instalada da China já representava cerca de 26,7% da capacidade mundial ([Zhang, et al., 2013](#)). Segundo [Hochstetler e Kostka \(2015\)](#), as empresas internacionais do setor transferiram não só tecnologia, mas também o know-how para as fábricas de montagem e fábricas locais do mercado chinês.

Parte do sucesso do caso Chinês pode ser atribuído a dois principais fatores: i) a maturidade do Sistema de Inovação juntamente com seus vínculos internacionais e; ii) uma série de políticas industriais e energéticas, implementadas a partir de 2005, incluindo a Lei de Energia Renovável. Dentre os instrumentos de política industrial direcionados ao setor, destacam-se: i) apoio financeiro para inovação e P&D; ii) apoio financeiro para a fabricação de tecnologia de energia e, iii) os requisitos de conteúdo local, ao qual obrigava os desenvolvedores a adquirir equipamentos de fornecedores locais, possibilitando reduzir nos custos de fabricação e acelerar a sua comercialização ([Zhang, et al., 2013](#); [Nahm, 2017](#)).

A combinação do conhecimento, das competências, das habilidades e das rotinas são fatores decisivos para se obter sucesso no mercado eólico. Como a instalação de *offshore* na Alemanha, por exemplo, que contou com a experiência adquirida ao longo dos anos com a indústria de construção naval, assim como, a existência de atores-chave nas regiões e a disponibilidade de uma infraestrutura existente ([Fornahl, 2012](#)). Exibindo maior intensidade de patente verde *per capita*, além de um conjunto diversificado de instituições de pesquisas, o cenário alemão tem apresentado uma combinação de instrumento legal e política robusta, com disponibilidade de financiamento sustentado e ênfase em incentivos baseados em preços ([Pegels; Lütkenhorst, 2014](#)).

Embora a China, EUA e Alemanha apresentem diferenças na implementação política e na magnitude do apoio financeiro, os três governos têm apontado elementos convergentes em relação as

abordagens tecnológicas e os condicionantes de demanda, a fim de incentivar a criação de indústrias no âmbito local e verticalmente integradas ([Nahm, 2017](#)). O setor eólico espanhol é um outro caso Europeu de sucesso, ao qual apresenta em sua estrutura política uma interseção entre as políticas industrial, de energia e de C&T, com a coordenação de instituições europeias, nacionais e regionais. Essa articulação associada aos instrumentos legal proporcionam condições favoráveis para o ambiente tecnológico e a expansão da infraestrutura eólica ([Consoli; Uyarrá; 2016](#)).

Dado que o desenvolvimento do setor requer um elevado investimento inicial com um longo período de retorno, na Índia foi perceptível uma relutância inicial para os investimentos em novos projetos eólicos, ressaltando a importância da atuação do governo na criação de valor da indústria, com políticas de apoio, legislação e incentivos fiscais ([Irfan, et al., 2019](#)). Embora nos últimos anos tenha ocorrido um avanço no processo de transição energética da Índia, em comparação com a China, sua intervenção estatal ainda é limitada e menos eficaz no apoio para a capacidade de inovação, apresentando no designer da sua política energética e industrial características pró-negócios e não pró-mercado ([Hayashi, 2020](#)).

No que se refere a América Latina e o Caribe, segundo as projeções do [IRENA \(2019\)](#) para 2050, tem-se um mercado mais tímido em comparação aos demais continentes – não só em relação a capacidade instalada, mas também em relação ao valor total de investimentos no setor – ficando à frente apenas da Oceania, ao qual apresenta condições climáticas desfavoráveis. Na Argentina, por exemplo, a partir de 2016 com o início do programa RenovAr houve uma ampliação da diversificação tecnológica, com uma participação relevante de energia eólica (54% da potência outorgada de energias renováveis). Em linhas gerais, as condições de contratação do programa reduziu o custo de financiamento e ampliou sua disponibilidade, entretanto, “o setor tem exigido níveis de competitividade que a indústria local ainda não desenvolveu e que só poderá alcançar se conseguir reduzir a distância cognitiva e tecnológica entre *players* internacionais e empresas locais”<sup>9</sup> ([Caruana, 2019, p. 150](#)).

Ainda no contexto de retardatário, o caso da tecnologia *offshore* no Reino Unido mostra que mudanças substanciais podem ocorrer, na medida em que se desenvolvem políticas com metas ambiciosas e em articulação com os interesses dos agentes do setor produtivo e usuários da tecnologia, levando em consideração os aspectos de natureza econômica sobre o crescimento, oferta de emprego e segurança energética, por exemplo ([Kern, 2014](#)). Em contraste, motivada por visões de curto prazo, na retardatária Noruega as políticas têm sido mais frágeis em relação as estabelecidas na Dinamarca, por apresentar instabilidade ao longo do tempo e estímulos direcionados apenas para o lado da demanda ([Buen, 2006](#)). No caso da Dinamarca, após a crise do petróleo em 1970, o país passou a adotar medidas extremamente radicais em sua matriz energética, com medidas políticas e instrumentos de incentivos para programas de P&D para o setor ([CGEE, 2012](#)). Justificando-se, portanto, a importância de um Sistema de Inovação maduro, concomitante ao estímulo articulado entre a política energética e industrial.

## 3.2. Setor Eólico no Contexto Brasileiro

### 3.2.1. Principais Políticas, Instituições e os Aspectos Regulatórios

Inicialmente, faz-se imprescindível destacar o avanço da tecnologia eólica no Brasil a partir dos anos 2000, em ritmo análogo ao cenário mundial. Com uma participação de 11,81% na matriz energética ([Aneel, 2022](#)), o desenvolvimento da tecnologia eólica no Brasil teve como pano de fundo a articulação de incentivos e programas em resposta à crise do petróleo da década de 1970.

Cabe destacar que nesse período algumas iniciativas foram iniciadas ([Gouvêa; Silva, 2018](#)), entretanto, só após os anos 2000 que o governo brasileiro passou a adotar medidas mais incisivas para o desenvolvimento de capacitações científicas e tecnológicas, bem como, incentivos direcionados à indústria eólica ([Podcameni, 2014](#)).

Ao longo dos anos, primordiais programas e mecanismos de apoio para o desenvolvimento da indústria eólica no Brasil foram criados, sendo alguns instrumentos voltados para a demanda e outros para a oferta da energia eólica ([Podcameni, 2014](#); [Araújo e Willcox, 2018](#); [Fabris, 2020](#)).

---

<sup>9</sup> Tradução livre.

No contexto de instrumentos de demanda, 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, houve um amadurecimento dos instrumentos regulatórios, com o primeiro leilão público<sup>10</sup> incentivado para a compra de energia ([Gouvêa; Silva, 2018](#)), o qual foi considerado como um marco para a consolidação de investimentos na indústria eólica. De acordo com [Araújo e Willcox, \(2018, p. 45\)](#), “o modelo de leilões incentivou a concorrência por menores tarifas, uma inovação relevante em relação ao modelo de contratação por tarifa fixa do PROINFA”. Embora apresente benefícios para o desenvolvimento do setor e a adesão dos empreendedores, os mecanismos de leilões apresentaram também algumas dificuldades, sobretudo em relação 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](#))<sup>11</sup>; 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, visando a criação de um mercado eólico ([Podcameni, 2014](#)).

Quanto aos instrumentos direcionados para oferta de energia eólica, o financiamento à cadeia produtiva via bancos públicos; apoio legal à 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, destacam-se como fontes essenciais para o setor ([Fabris, 2020](#)). De acordo com [Araújo e Willcox, \(2018, p. 43\)](#), “a existência de contratos de longo prazo e a centralização da contratação na Eletrobras reduziram a percepção de risco desses empreendimentos e alavancaram a capacidade de financiamento”. Estabelecendo o “pontapé” inicial para uma indústria de geração eólica nascente ([Hochstetler; Kostka, 2015](#)), 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, de modo que, essas alterações induziram a uma maior participação da quantidade de componentes nacionais nos equipamentos industriais do setor eólico ([Podcameni, 2014](#)). Em concordância, [Araújo e Willcox \(2018\)](#) destacam que a disponibilidade do financiamento público, aliado às exigências de conteúdo local, mostrou o caminho para a articulação da política energética com a política industrial.

Nesta 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. Contudo, [Araújo e Willcox, \(2018, p. 37\)](#) destacam que “a criação da demanda foi uma condição necessária para a expansão da geração eólica, porém não suficiente para o adensamento produtivo”. Para promover a competitividade e produtividade da indústria no longo prazo, faz-se necessário o desenvolvimento de uma política industrial mais ampla, com ênfase na inovação e no desenvolvimento tecnológico ([ABDI, 2014](#)). E, nesse contexto, torna-se relevante a discussão em torno do desenvolvimento de estratégias para a indústria local que possam gerar a articulação entre a política energética, a industrial e a de C&T.

### 3.2.2. Oportunidades e Desafios do Setor Eólico

<sup>10</sup> Em 2009.

<sup>11</sup> Banco do Brasil e Caixa Econômica Federal foram também agentes repassadores dos recursos do BNDES ([Brasil, 2021](#)).

Além da atuação das instituições e do desenvolvimento de políticas, um outro fator favorável ao crescimento do setor eólico no Brasil consiste nas pré-condições existentes do setor produtivo no país, ou seja, da capacidade tecnológica adquirida ao longo dos anos.

A dinâmica tecnológica de um setor é criada a partir de cinco fundamentais fatores: i) conhecimento; ii) habilidades; iii) inovação; iv) finanças e, v) instituições. Além disso, nos países em estágios iniciais de desenvolvimento faz-se necessário avanços para segmentos com um grau maior de sofisticação da atividade econômica, tanto no âmbito industrial quanto na disponibilidade de serviços ([Aiginger e Rodrik, 2020](#)).

No setor eólico brasileiro, a lógica do Plano de Nacionalização Progressiva (PNP-Finame) estruturado pelo BNDES em 2013 teve como pano de fundo o desenvolvimento interno de itens de maior complexidade, “definidos com base em um diagnóstico do setor e da base industrial já estabelecida” ([Araújo; Willcox, 2018, p. 46](#)), atrair empresas estrangeiras e nacionais e gerar um maior número de empregos na indústria ([Gouvêa; Silva, 2018](#)). Caracterizado como uma regra de nacionalização do BNDES, exigia-se que 60% dos aerogeradores fossem fabricados internamente ([ABDI, 2014](#)), inicialmente, onze fornecedores de aerogeradores (montadoras) passaram a adotar as exigências do BNDES, dentre elas: Wobben, Gamesa, GE, Vestas, Impsa, WEG, Alstom, Siemens, Acciona, Suzlon e Führlander ([Araújo; Willcox, 2018](#)). Cabe destacar que o aerogerador representa mais de 60% do investimento de um parque eólico, composto normalmente por três pás, os principais componentes são: cubo, eixo, presença ou não de caixa multiplicadora, gerador e a nacelle ([ABDI, 2014](#)).

Em partes, essa estratégia foi exitosa devido a existência de fabricantes locais aptos a participarem da cadeia produtiva ([Gouvêa; Silva, 2018](#)). Com exceção da WEG, as demais empresas<sup>12</sup> tinham um histórico no setor. Embora a WEG inicialmente não possuísse experiência na fabricação de aerogeradores, o acordo de transferência tecnológica com o Grupo M. Torres Olvega Industrial (MTOI) em 2011, possibilitou que a empresa tornasse a única fabricante de aerogeradores nacionais ([Podcameni, 2014](#)).

Segundo [Fabris \(2020, p. 15\)](#), a PNP “condicionou as redes de interação da empresa WEG, pois estabeleceu um espaço de atuação econômica que ensejou a formação de vínculos pela empresa com outras organizações para atender as metas estabelecidas”. De modo que, parte do sucesso foi provocado pelo domínio tecnológico em produtos correlatos adquiridos pela empresa, facilitando a absorção do conhecimento transferido.

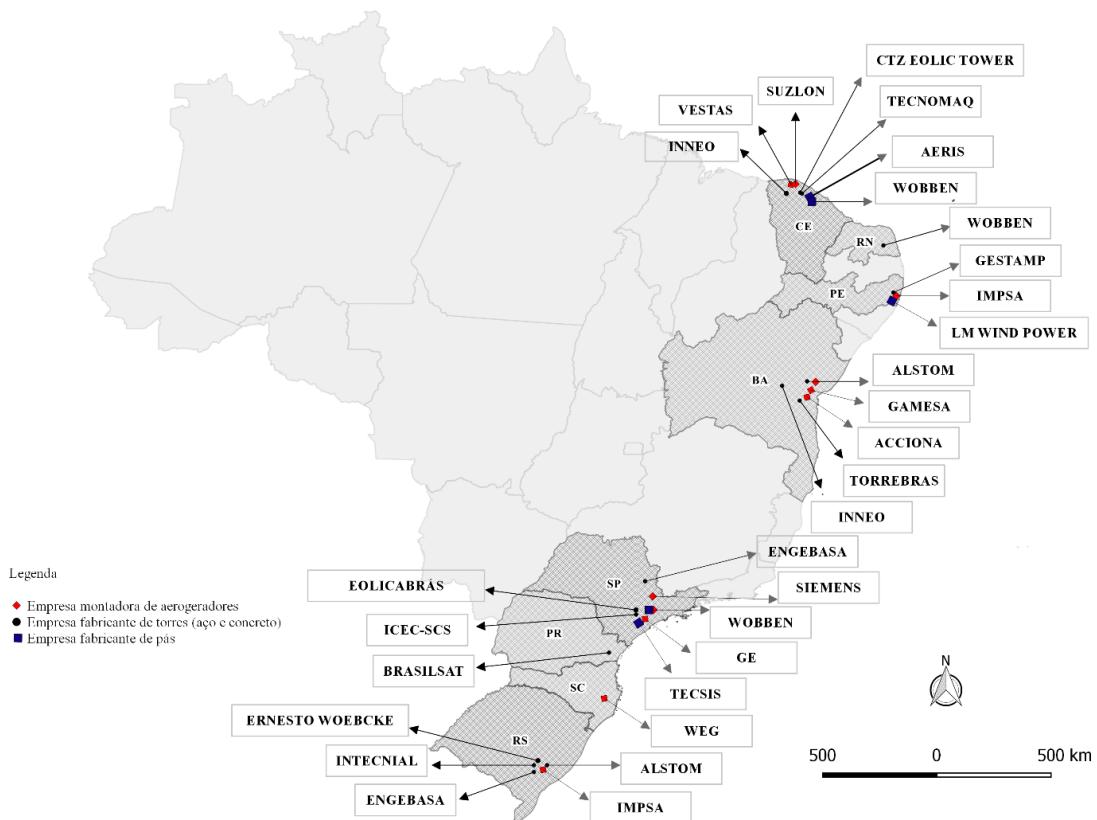
Além do caso da WEG, a Tecsis – empresa brasileira, produtora de pás eólicas – herdou à capacitação tecnológica do Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) e se tornou a segunda maior fornecedora de pás no mundo, tal que, 70% das pás eólicas produzidas pela empresa são para exportação ([Tosta; et al., 2019](#)). Do mesmo modo, a Aeris fundada por três engenheiros da EMBRAER, também apresenta vestígios da capacitação acumulada no setor aeroespacial ([Podcameni, 2014](#)).

A capacidade inovativa acumulada, ao longo dos anos, foi primordial para alinhar as estratégias das empresas com os objetivos do programa. Entretanto, produtos com maior intensidade tecnológica – como a nacelle, predominantemente importada da China, por exemplo – ainda apresentam entraves para as empresas brasileiras, destacando elevada concentração na produção de torres (baixa barreira à entrada) e um número menor na produção de pás (elevadas barreiras à entrada).

A partir da localização espacial das empresas montadoras de aerogeradores e as fabricantes de pás e torres, conforme ilustra a Figura 2, é perceptível dois grandes polos produtivos, um concentrado na região Nordeste e o outro no Sul-Sudeste do país. 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](#)). No caso do Rio Grande do Sul, por exemplo, o desenvolvimento do setor de energia eólica foi motivado pelas vantagens comparativas do estado, ao qual apresentava uma fase madura de industrialização (metalmecânico, eletroeletrônico e de automação) e disponibilidade de empresas capacitadas (consultorias, engenharia e construção). Além disso, o estado se destaca pelas conexões com regiões de maior potencial eólico e disponibilidade de uma infraestrutura adequada de estradas, portos, aeroportos e telecomunicações ([Adami, et al., 2017](#)).

---

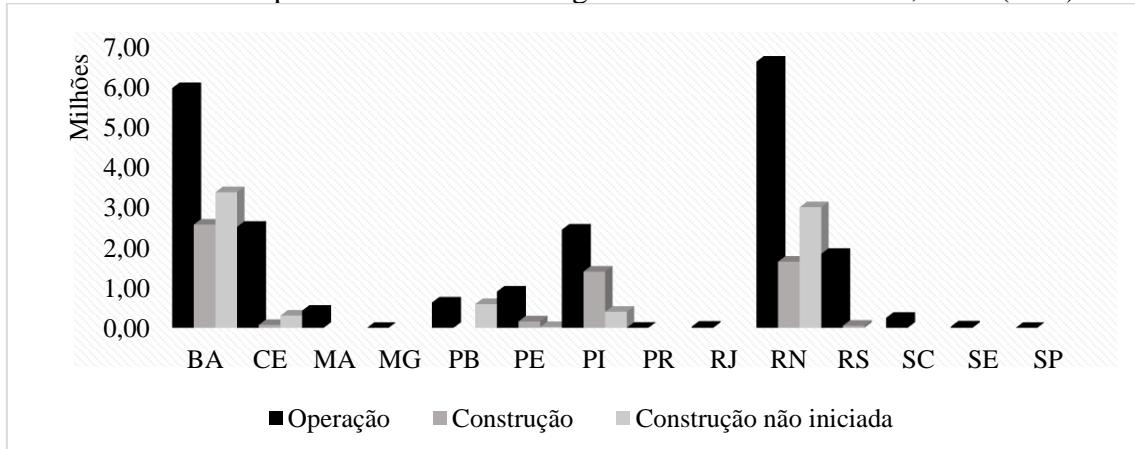
<sup>12</sup> Wobben, Gamesa, GE, Vestas, Impsa, WEG, Alstom, Siemens, Acciona, Suzlon e Führlander.



**Figura 2 – Localização espacial das empresas montadoras e fabricantes do setor eólico**  
Fonte: Elaboração dos autores, adaptado ABDI (2014).

Atualmente o Nordeste apresenta a maior capacidade de geração eólica *onshore*, conforme ilustra o Gráfico 2, com um total de 708 empreendimentos em operação localizados na região. Entre os principais estados, destaca-se a Bahia com 226 empreendimentos e uma potência outorgada em fase de operação de 5.948.045,64 (kW), seguido do Rio Grande do Norte com 216 empreendimentos e uma potência de 6.604.881,00 (kW). Ambos os estados, Bahia e Rio Grande do Norte, apresentam o maior número de empreendimentos nas fases de construção e de construção não iniciada ([Aneel, 2022](#)).

**Gráfico 2 – Capacidade instalada energia eólica *onshore* - Brasil, 2022 (kW<sup>1</sup>)**



Fonte: Elaboração dos autores, com dados da ANEEL (2022).

Nota<sup>1</sup>: Potência outorgada (kW).

Embora seja um setor com elevado potencial de crescimento, no Brasil evidenciam-se alguns desafios, dentre eles: os custos de impostos, o custo da mão de obra, os custos de transporte – com estradas precárias e características inadequadas ([Gouvêa; Silva, 2018](#)); a falta de capacidade ou capacidade produtiva local limitada, capacidade ociosa em outros países e preferência por fornecedores globais ([Tosta;](#)

[et al., 2019](#)); a dificuldade logística promovida pelo tamanho/peso dos componentes e a concentração dos fornecedores de insumos e subcomponentes na região Sudeste ([ABDI, 2014](#)). Esses são alguns dos gargalos que precisam ser superados e encarados como oportunidades condicionantes a um ambiente compatível as projeções de crescimento do setor.

Nessa perspectiva, a fim de intensificar sua competitividade em relação as tecnologias tradicionais de energia, destaca-se a importância do fomento e incentivos ao desenvolvimento da capacitação científica e tecnológica do Brasil, bem como, investimentos em infraestruturas de pesquisa e a intensificação da articulação universidade e empresa, por meio de programas como a de P&D da Aneel com recursos direcionados ao Fundo Setorial no âmbito na Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Além disso, dado que são tecnologias que apresentam um grau de incerteza intrinsecamente ([Mazzucato, 2013](#)), entende-se que a articulação entre as políticas – energética, industrial e C&T – e as instituições são essenciais para a maturidade das fontes renováveis de energia, a fim de conduzir e atrair o setor privado. Em outras palavras, para ampliar sua competitividade sugerem-se políticas públicas mais incisivas, com uma coordenação estatal estabelecida *ex-ante* e uma demanda interna sustentada ao longo dos anos.

### 3.3. Financiamento e Instrumentos de Incentivos para o Desenvolvimento do Setor Eólico: Mundo versus Brasil

Conforme discutido anteriormente, há uma vasta literatura que enfatiza a importância das políticas regulatórias, dos incentivos fiscais e dos instrumentos de financiamento para a expansão e o desenvolvimento das tecnologias renováveis de energia, sobretudo, em tecnologias emergentes. O Quadro 1 apresenta principais políticas e instrumentos adotados entre os países, cabe ressaltar que a escolha da amostra desses países se deve à representatividade e relevância dos mercados, para fins comparativos.

**Quadro 1** – Principais incentivos fiscais e fontes de financiamento público para energias renováveis

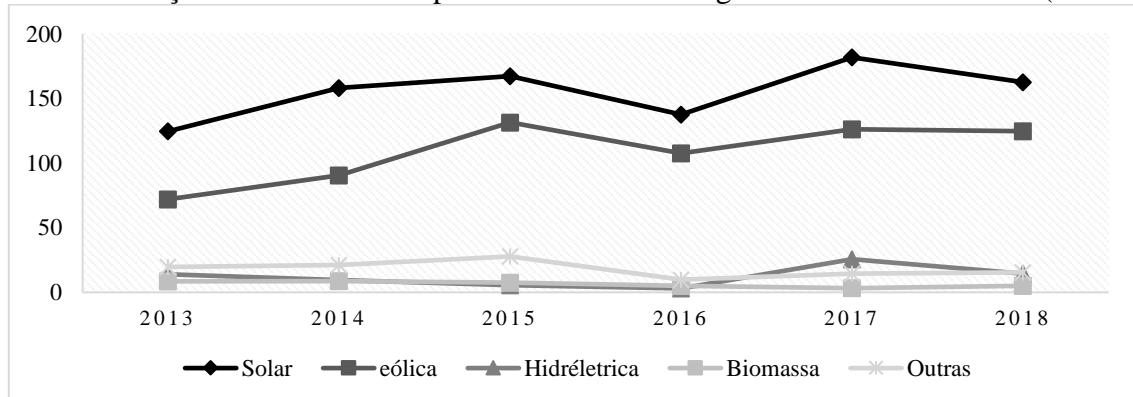
Políticas/Instrumentos	Canadá	Uruguai	Índia	China	Brasil	Argentina	EUA	Reino Unido	Espanha	Noruega	Japão	Alemanha	Dinamarca
Feed-in/pagamento de prêmio	•		•	•		•	•	•			•	•	•
Cota de concessionária de energia elétrica	•		•	•		•	•	•				•	
Licitação	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Redução imposto de vendas, energia, CO <sub>2</sub> , IVA e outros impostos	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Investimento ou créditos fiscais de produção	•		•	•	•	•	•		•			•	•
Produção de energia como forma de pagamento		•	•	•		•		•	•		•		
Investimento público, empréstimos, doações, subsídios ou descontos	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Fonte: Elaboração dos autores, adaptado de REN21 (2021).

De acordo com [o IRENA \(2022\)](#), em 2016 mais de 90% dos investimentos em energia renovável a nível global foi promovido a partir de fontes privadas. Entretanto, a atuação do Estado desempenha um papel relevante nos condicionantes de um ambiente atrativo capaz de encorajam investidores e

financiadores privados, seja por meio de medidas políticas ou de programas e incentivos direcionados ao setor. A partir dos dados do relatório [REN21 \(2021\)](#) foi possível identificar que os instrumentos de licitação, redução de impostos (de vendas, energia, valor adicionado, entre outros), investimento público, empréstimos, doações, subsídios e descontos, apresentaram relevância em todos os mercados da amostra. Esses mecanismos de incentivos associados ao desenvolvimento e a difusão das tecnologias renováveis minimizam os riscos e as incertezas intrínsecas ao mercado, em outras palavras, melhoram os perfis de risco-retorno dos projetos.

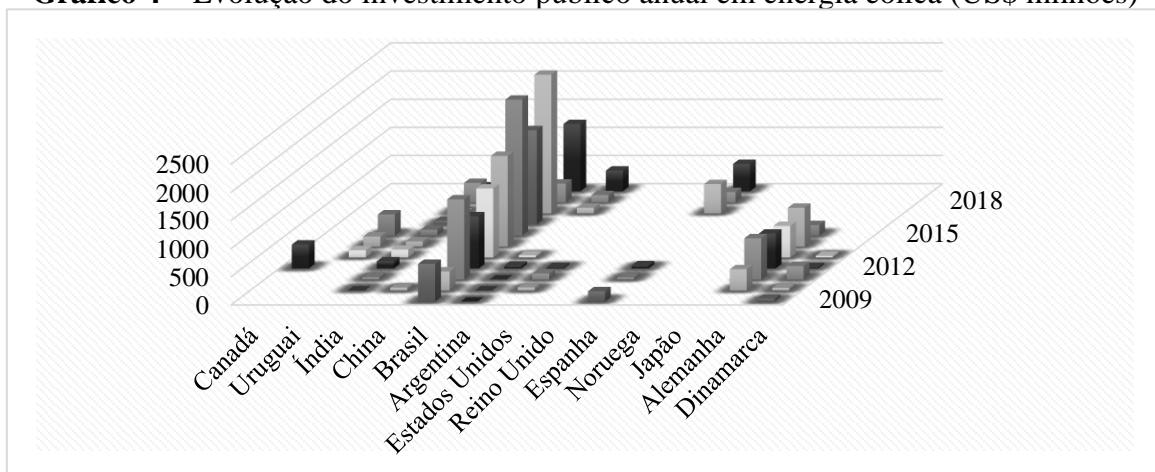
**Gráfico 3 – Evolução do investimento público anual em energias renováveis - Mundo (US\$ bilhões)**



Fonte: Elaboração dos autores, com dados da IRENA (2022).

No que se refere à evolução dos investimentos públicos, entre o período de 2013 e 2018, houve um aumento do dispêndio anual em energias renováveis no contexto mundial, com destaque para a magnitude do investimento das tecnologias solar e eólica, conforme ilustra o Gráfico 3. De acordo com os dados, as três principais instituições de fomento para as energias renováveis foram o BNDES, o European Investment Bank (EIB) e o Ex-Im Bank da China. Cerca de 17% do financiamento total provém do BNDES, com um valor acumulado de mais de US\$ 41 milhões entre o período de 2009 e 2018; seguido do EIB representando cerca de 16% do financiamento total e valor investido acumulado de mais de US\$ 40 milhões; e o Ex-Im Bank com mais de US\$ 37 milhões investido ao longo dos anos em energias renováveis ([IRENA, 2022](#)).

**Gráfico 4 – Evolução do investimento público anual em energia eólica (US\$ milhões)**



Fonte: Elaboração dos autores, com dados da IRENA (2022).

Nota<sup>1</sup>: ano base 2019.

Embora haja uma escassez de registro de dados relacionados ao setor eólico<sup>13</sup>, é possível identificar a partir dos dados da [IRENA \(2022\)](#) que entre os países selecionados o Brasil apresenta um montante

<sup>13</sup> Em alguns anos e países não houve registro na base de dados utilizada.

significativo de investimento público direcionado a tecnologia eólica. Especialmente, entre os anos de 2013 e 2017, início do PNP-Finame. Conforme ilustra o Gráfico 4.

**Quadro 2 – Incentivo direcionados ao setor eólico**

Políticas/Instrumentos	EUA	China	Brasil
Requisitos de conteúdo local		•	
Margens de preferência ou incentivos à localização		•	•
Créditos tributários e incentivos fiscais	•		•
Crédito à exportação	•	•	•
Programas de certificação e testes		•	
Subsídios e créditos equalizados	•	•	•
Políticas comerciais	•	•	
Apoio aos fornecedores via mercado de capitais	•		•
Tarifa Feed-in	•	•	•
Metas de participação em energia eólica	•	•	
Leilões de energia	•	•	•
Incentivos financeiros		•	•
Créditos tributários e incentivos fiscais	•		•
Encomendas tecnológicas	•	•	
Incentivos à compra voluntária de energia	•	•	•
Apoio à geração via mercado de capitais	•		•

Fonte: Elaboração dos autores, adaptado Araújo e Willcox (2019).

A criação de instrumentos e a disponibilidade de financiamento no estímulo as mudanças no setor energético ainda é um desafio em diversos países, sobretudo, em países com baixo grau de desenvolvimento. No que se refere ao setor eólico brasileiro, em comparação com a China – país periférico, líder na participação eólica mundial – e o EUA – um dos mercados de maior relevância –, tem-se instrumentos diretos e indiretos com elevado potencial de estímulo ao setor, conforme mostra o Quadro 2.

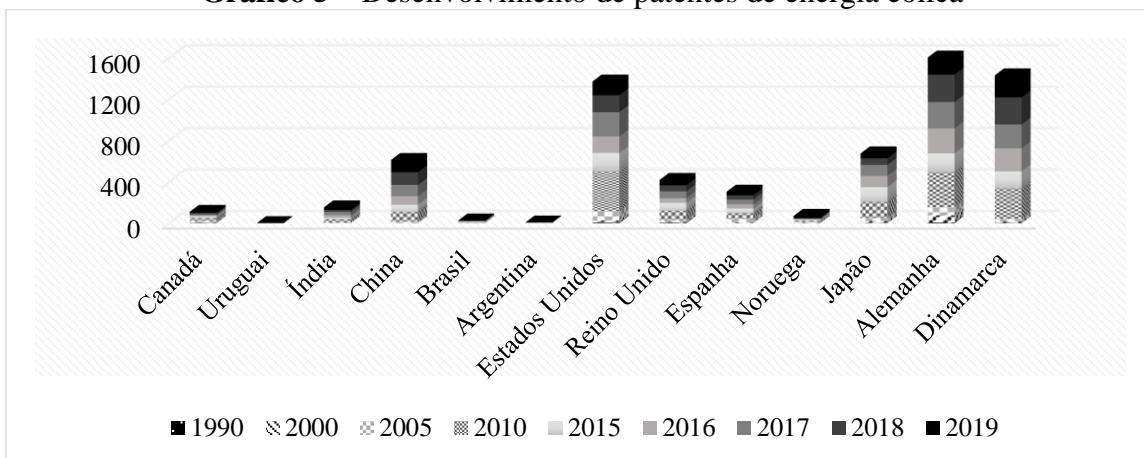
Os instrumentos *feed-in*, leilões de energia, crédito e exportação, subsídios e incentivos à compra voluntária de energia, têm sido amplamente utilizado por diversos países. Alemanha, Espanha e Dinamarca possuem como principal instrumento de incentivo para o setor a tarifa *feed-in*, enquanto o EUA apresenta como seus principais instrumentos a compra voluntária de eletricidade e as metas de participação em energia eólica – conhecida também como sistemas de cotas com certificados verdes ou *Renewable Portfolio Standard* (RPS). Cabe destacar que o sistema *feed-in* consiste em um mecanismo em que se determina um preço mínimo em que a concessionária irá pagar pela energia elétrica gerada pelo produtor. Enquanto, no sistema de leilão a competição gira em torno dos produtores, ao qual irão disputar a oferta de geração de energia ([CGEE, 2012](#)).

Um outro instrumento que tem ganhado força nos últimos anos consiste no apoio à geração via mercado de capitais, por meio de títulos verdes ou Green Bonds. Apresentando como um potencial fonte de financiamento para as tecnologias renováveis o *Climate Bond Initiative* (CBI) destaca que na América Latina o Chile com US\$ 17,8 bilhões e o Brasil com US\$ 11,7 bilhões englobam os maiores mercados de títulos verdes, tendo o setor de energia como o principal mercado. Além disso, o CBI destaca que o número de títulos verdes ampliaram em 2020, em relação a 2019 ([CBI, 2021](#)). Cabe ressaltar que embora esse tipo de mercado seja conduzido por regulamentos estáveis e de elevado comprometimento com as condições climáticas, os fatores de risco-retorno ainda são os principais elementos na viabilidade de investimento dos projetos, ressaltando a importância da maturidade e do desenvolvimento tecnológico do setor promovido pelas políticas públicas.

Conforme mencionado anteriormente, um dos desafios da política industrial consiste em induzir mudanças no comportamento inovador das empresas, de modo que não se pode desconsiderar os mecanismos de incentivos para a atividade inovadora ([Suzigan, et al., 2020](#)), que pode ser identificada a partir do número de patentes (*proxy* de inovação), por exemplo. Além disso, a política industrial deve condicionar novas capacidades e conhecimentos experimentais e tácitos, em que a atuação das empresas dependem de sua trajetória tecnológica, caso contrário, o processo de inovação será conduzido a “partir da

importação de bens de capital, obtenção de licenças de patentes e/ou especialização em segmentos de montagem com pouco conteúdo tecnológico nas cadeias produtivas globais” ([Caruana, 2019](#)).

**Gráfico 5 – Desenvolvimento de patentes de energia eólica**

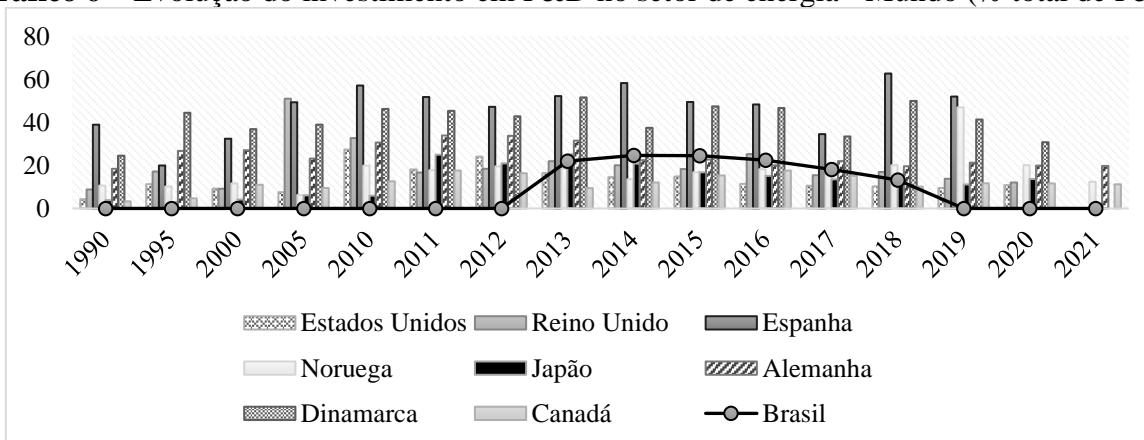


Fonte: Elaboração dos autores, com dados da OECD (2022).

Nota<sup>1</sup>: variável relacionada a geração, transmissão e distribuição.

Os países líderes no desenvolvimento de patentes de energia eólica, entre o período de 1990 e 2019, como a Alemanha, a Dinamarca, Estados Unidos, Japão e Reino Unido (Gráfico 5), apresentam como pano de fundo à disponibilidade de financiamento público direcionados para P&D, em magnitudes superiores aos demais, com exceção da China que não houve registro na base de dados<sup>14</sup> (Gráfico 6).

**Gráfico 6 – Evolução do investimento em P&D no setor de energia - Mundo (% total de P&D)**



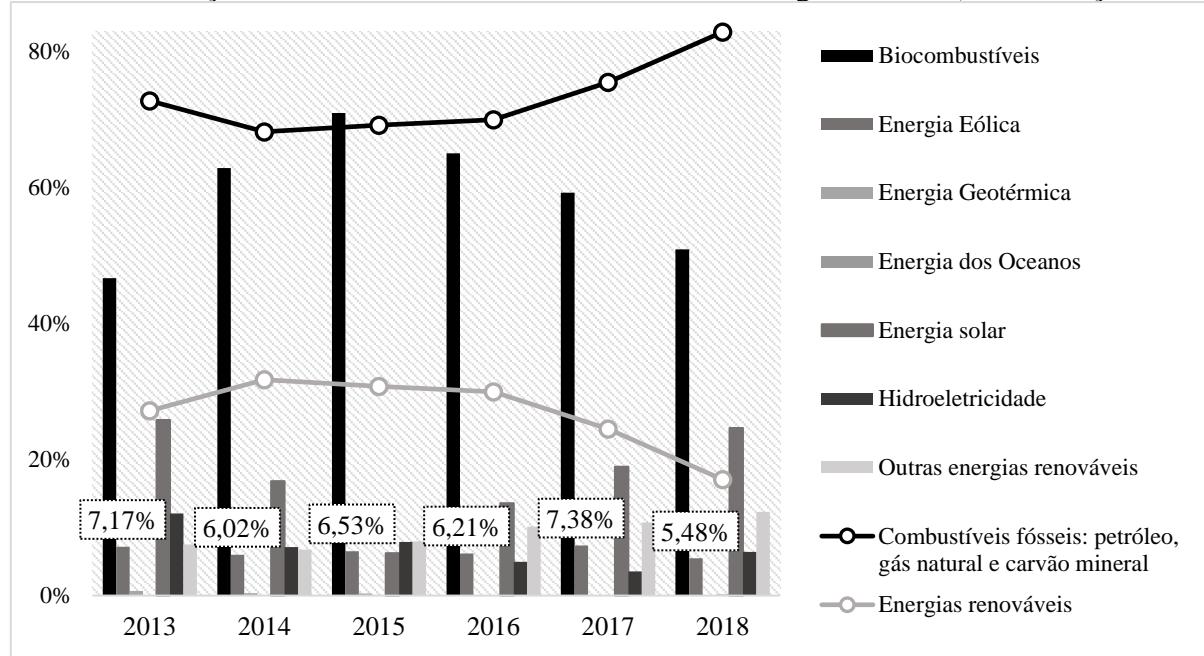
Fonte: Elaboração dos autores, com dados da OECD (2022).

No caso brasileiro, majoritariamente de natureza pública, os investimentos para pesquisa no setor energético podem ser subdivididos em reembolsáveis e não-reembolsáveis, sendo esse orientado ou não. Os investimentos orientados – 49,32% em relação ao total investido entre 2013 e 2018 em energias renováveis – refere-se ao recurso investido a partir da obrigação legal de investimentos em P&D de empresas no setor, sendo esses regulados pela ANEEL e Agência Nacional de Petróleo (ANP) ([EPE, 2022](#)).

Embora em 2018 o número de projetos de fontes renováveis tenha sido superior aos de combustíveis fósseis – com um total de 483 projetos financiados em relação a 148 projetos de fontes não renováveis –, em termos relativos, foi inferior ao total investido em tecnologias fósseis no Brasil. O setor eólico, por exemplo, entre o período de 2013 e 2018 apresentou menos de 10% em relação ao total investido por ano, conforme ilustra o Gráfico 7.

<sup>14</sup> Além da China, a Índia, o Uruguai e Argentina não apresentaram registros de desembolso em P&D no setor eólico, na base de dados utilizada.

**Gráfico 7 – Evolução do investimento em P&D no setor de energia – Brasil (% em relação ao total)**



Fonte: Elaboração dos autores, com dados da EPE (2022).

Nota<sup>1</sup>: somatório do investimento público e investimento orientado.

Esse resultado pode ser atribuído, pelo menos em partes, ao baixo dispêndio em P&D no setor eólico. Um outro fator relevante a ser discutido consiste na interação entre os programas de pesquisa das universidades e/ou instituições e a sua relação com as empresas do setor, tal que, a falta de interação entre as instituições locais podem acarretar a inibição das transnacionais no processo de desenvolvimento inovativo local. Em outras palavras, embora os mecanismos de financiamento e incentivos aos esforços do mercado interno apresentem potencial de expansão no setor, para que esse processo ocorra de forma sustentável ao longo dos anos faz-se necessário políticas que promovam a conexão entre universidade-empresa, bem como, desenvolvam suas competências – novas e pré-existente – no âmbito local, encorajando uma relação mais coordenada entre as políticas industrial, energética e de C&T.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerado com um setor em expansão, este trabalho propôs expandir o debate sobre as oportunidades e os desafios do setor eólico brasileiro, à luz do papel das instituições e da política industrial. Em específico, reunir evidências no contexto geopolítico para fins comparativos, apresentando dados brasileiros e de países líderes no mercado eólico.

Historicamente, a indústria eólica apresentou significativa evolução nas quatro últimas décadas, com marcos regulatórios, criação de órgãos, criação de instituições normativas, ampliação de instalações e avanços tecnológicos. Liderado pela China, o setor eólico *onshore* tem apresentado um exponencial crescimento da capacidade instalada com mais de 1 milhão de geração de empregos no setor em nível global. A literatura destaca que parte do sucesso chinês tem sido promovido pela maturidade do Sistema de Inovação com vínculos internacionais e pelo *mix* de políticas industriais e energéticas implementadas desde 2005.

Em alguns países a combinação do conhecimento, das competências, das habilidades e das rotinas foram primordiais para obter sucesso no mercado eólico, destacando-se o caso alemão, que contou com a experiência adquirida ao longo dos anos com a indústria de construção naval. A experiência do Reino Unido mostra que mesmo em contextos retardatários as mudanças substanciais podem ocorrer, na medida em que se desenvolvem políticas com metas ambiciosas e em articulação com os interesses dos agentes do setor produtivo. Contudo, políticas míopes, com visões de curto prazo e instabilidade de estímulos pode atrasar o desenvolvimento do setor, como no caso da Noruega.

No contexto brasileiro, desde os anos 2000 a tecnologia de energia eólica vem ganhando fôlego na indústria doméstica. Parte desses resultados podem ser identificados a partir de dois vieses: i) capacitação científica e produtiva adquirida aos longos dos anos, sobretudo, com o setor aeroespacial; ii) atuação das instituições e do Estado, com o desenvolvimento de mecanismos e instrumentos – como a criação do PROEÓLICA, do PROINFA, dos Leilões incentivado para a compra de energia, dos instrumentos de financiamento e dos regimes tributários especiais –, conduzidos para o setor interno. Não obstante, a literatura ressalta o papel do BNDES e das instituições de financiamento, bem como, o desenvolvimento do Plano de Nacionalização Progressiva, como fatores primordiais para o êxito do setor produtivo eólico até os dias atuais.

Entre 2013 e 2018, no contexto global houve um aumento no dispêndio anual em energias renováveis, com destaque para as tecnologias solar e eólica, tendo como as principais instituições de fomento o BNDES, o European Investment Bank (EIB) e o Ex-Im Bank da China. A partir dos dados da [IRENA \(2022\)](#) foi possível identificar que o Brasil apresenta uma magnitude significativa de investimento público direcionado ao setor eólico, especialmente, após o início do PNP-Finame. Entre os principais instrumentos identificados nas análises, é possível destacar que o *feed-in*, leilões de energia, crédito e exportação, subsídios e incentivos à compra voluntária de energia, têm sido amplamente utilizado por diversos países. Além desses, o apoio à geração via mercado de capitais têm apresentado elevado potencial de crescimento no setor energético, destacando nos últimos anos o Chile e o Brasil em relação aos demais países da América Latina.

No que se refere ao desenvolvimento da capacidade industrial e tecnológica do setor eólico, é possível identificar a relação positiva entre o número de patentes e a disponibilidade de financiamento público direcionado para P&D na Alemanha, na Dinamarca e no Estados Unidos. E, nesse aspecto, o Brasil ainda apresenta diversos gargalos que precisam ser superados ou minimizados. Com um baixo número de desenvolvimento de patentes no setor eólico, o Brasil também apresenta instabilidade e baixo montante de recurso disponibilizado para a P&D e inovação. Embora nos últimos anos o número de projetos em energias renováveis tenha sido superior aos de combustíveis fósseis, em termos monetários esse foi inferior ao total investido, entre o período de 2013 e 2018 o setor eólico, por exemplo, apresentou menos de 10% em relação ao total investido em P&D por ano.

Em linhas gerais, nos últimos anos foi possível identificar a importância do ambiente institucional, do desenvolvimento de instrumentos e da evolução do financiamento, concomitantemente a expansão do setor eólico no Brasil. Contudo, para que se possa absorver as oportunidades compatíveis com as projeções faz-se imprescindível: i) a conexão da multiplicidade de objetivos entre políticas e instituições, a fim de intensificar sua competitividade em relação as tecnologias tradicionais – nos âmbitos energético, econômico e social; ii) a disponibilidade de instrumentos capazes de promover o desenvolvimento de atividades inovativas de maior complexidade no âmbito local; iii) ampliar o fomento à pesquisa pública de forma continuada e, iv) traçar estratégias que possam incentivar a iniciativa entre as instituições de pesquisa e as empresas do setor.

Por fim, o setor eólico, mesmo que com limitações, tem condicionado a um ambiente promissor inclusive para outras tecnologias renováveis que também apresentam potencial no Brasil – como a eólica *offshore*, energia solar e bioenergia, por exemplo. Embora seja um desafio diante da multiplicidade de objetivos, assume-se como fator predominante os mecanismos de coordenação entre a política energética, industrial e C&T, a fim de minimizar os custos das tecnologias mais disruptivas – em relação às tecnologias tradicionais e às de combustíveis fósseis –, identificar as “janelas de oportunidades”, promover o desenvolvimento de atividade inovativas de maior complexidade e estimular um cenário condizente com as potencialidades sinalizadas pelo setor no contexto mundial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Mapeamento da cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil.** Brasília: ABDI, 2014.

ACEMOGLU, Daron; et al. Institutions as a Fundamental Cause of Long-Run Growth. **Handbook of Economic Growth**, v. 1A., cap. 6, p. 385-464, 2005.

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.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Fontes de Energia**. Banco de Informações de Geração (BIG). Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br>>. Acesso em: 21/03/22.

AINGER, Karl; RODRIK, Dani. Rebirth of industrial policy and an agenda for the twenty-first century. **Journal of Industry, Competition and trade**, 2020.

ARAÚJO, Bruno. WILLCOX, Luiz. Reflexões críticas sobre a experiência brasileira de política industrial no setor eólico. **BNDES Setorial** 47, p. 163-220, 2018.

BEZERRA, Francisco. Energia Eólica no Nordeste. **Caderno Setorial do ETENE**, ano 4, n. 66, fev. 2019.

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: 23/11/2021.

BRASIL. **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/L10438.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm)>. Acesso em: 23/03/2022.

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](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2003/L10.762.htm)>. Acesso em: 23/11/2021.

BUEN, Jorund. Danish and Norwegian wind industry: The relationship between policy instruments, innovation and diffusion. **Energy Policy**, 34, p. 3887–3897, 2006.

CARUANA, María. La energía renovable en Argentina como estrategia de política energética e industrial. **Revista Problemas del Desarrollo**, v. 197, n. 50, 2019.

CBI – Climate Bonds Initiative. **América Latina & Caribe: Análise do Mercado de Finanças Sustentáveis**. CBI, Banco Interamericano de Desenvolvimento e International Finance Corporation, 2021.

CEBOLLA, Rafael; NAVAS, Carlos. Supporting hydrogen technologies deployment in EU regions and Member States: The Smart Specialisation Platform on Energy (S3PEnergy). **International Journal of Hydrogen Energy**, 44, p. 19067- 19079, 2019.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos: Ciência, Tecnologia e Inovação. **Análises e percepções para o desenvolvimento de uma política de CT&I no fomento da energia eólica no Brasil**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2012.

CHANG, Ha-Joon. **The Political Economy of Industrial Policy**. London: Macmillan, 1994.

CHANG, Ha-Joon. Um estudo sobre a relação entre Instituições e Desenvolvimento Econômico – algumas questões teóricas fundamentais. **Revista de Economia Heterodoxa**, n. 10, ano VII, p. 13-31, 2008.

CONSOLI, Cristian; UYARRA, Elvira. Multi-level policy mixes and industry emergence: The case of wind energy in Spain. **Government and Policy**, 0(0), p. 1-23, 2016.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Inova-E Brasil.** Disponível em: <<http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com/inova-e/index.html>>. Acesso em: 22/03/22.

FABRIS, Leonardo. Instituições e Redes na Indústria de Aeroogeradores: O Caso da Empresa WEG. **Revista Contraponto**, ed. Especial, v. 7, n. 2, 2020.

FORAY, Dominique. Smart specialization strategies as a case of mission-oriented policy—a case study on the emergence of new policy practices. **Industrial and Corporate Change**, v. 27, n. 5, p. 817–832, 2018.

FORNAHL, Dirk. From the Old Path of Shipbuilding onto the New Path of Offshore Wind Energy? The Case of Northern Germany. **European Planning Studies**, v. 20, n. 5, 2012.

GONÇALVES, Arthur. Perspectivas de futuro para a política energética chinesa e suas implicações nas relações sino-brasileiras. **Petrel** (54), v.03, n. 05.

GOUVÊA, R.; SILVA, P. Desenvolvimento do setor eólico no Brasil: Wind power sector development in Brazil. **Revista BNDES**, v. 25, n. 49, p. 81-118, 2018.

GRILLITSCH, Markus. Institutions, Smart Specialisation Dynamics and Policy. **Papers in Innovation Studies**, 2015.

GRILLITSCH, Markus, ASHEIM, Bjørn. Place-based innovation policy for industrial diversification in regions. **European Planning Studies**, 2018.

GRILLITSCH, Markus; HANSEN, Teis. Green industry development in different types of regions. **European Planning Studies**, v. 27, n. 11, p. 2163–2183, 2019.

HAYASHI, Daisuke. Harnessing innovation policy for industrial decarbonization: Capabilities and manufacturing in the wind and solar power sectors of China and India. **Energy Research & Social Science**, v. 70, 101644, 2020.

HOCHSTETLER, Kathryn; KOSTKA, Genia. Wind and Solar Power in Brazil and China: Interests, State–Business Relations, and Policy Outcomes. **Global Environmental Politics**, v. 15, n. 3, 2015.

IRENA – International Renewable Energy Agency. **Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ed. 2020.

IRENA – International Renewable Energy Agency. **Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper)**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ed. 2019.

IRENA – International Renewable Energy Agency. **Sources of Investment**. Disponível em: <<https://www.irena.org/financeinvestment>>. Acesso em: 23/03/22.

IRFAN, Muhammad; et al. Competitive assessment of Indian wind power industry: A five forces model. **Renewable Sustainable Energy**, 11, 063301, 2019.

KERN, Florian; et al. From laggard to leader: Explaining offshore wind developments in the UK. **Energy Policy**, 2014.

MATHIAS, João; et al. Green new deal como estratégia de desenvolvimento pós-pandemia: lições da experiência internacional. **Revista Tempo do Mundo**, n. 26, 2021.

MAZZUCATO, Mariana. **O Estado Empreendedor: Desmascarando o Mito do Setor Público vs. Setor Privado**. São Paulo: Portfolio Penguin, 2013.

NAHM, Jonas. Renewable futures and industrial legacies: Wind and solar sectors in China, Germany, and the United States. **Business and Politics**, v. 19, n. 1, p. 68–106, 2017.

NORTH, Douglas. Institutions. **Journal of Economic Perspectives**, v. 5, n 1, p. 97–112, 1991.

NELSON, Richard. ‘What Enables Rapid Economic Progress? What are the Needed Institutions?’. **Research Policy**, v. 37, n.1, p. 1-11, 2008.

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. Disponível em: <<https://www.oecd.org/>>. Acesso em: 23/03/2022.

PEGELS, Anna; LÜTKENHORST, Wilfried. Is Germany's energy transition a case of successful green industrial policy? Contrasting wind and solar PV. **Energy Policy**, v. 74, p. 522–534, 2014.

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, dezembro 2014.

REN21. **Renewables 2019: Global Status Report**. Disponível em: <[www.ren21.net](http://www.ren21.net)>. Acesso em: 31/10/2019.

REN21. **Renewables 2021: Global Status Report**. Disponível em: <[www.ren21.net](http://www.ren21.net)>. Acesso em: 22/03/2022.

RODRIK, Dani. Green Industrial Policy, **Oxford Review of Economic Policy**, v. 30, n. 3, p. 469–49, 2014.

SCHOT, Johan; STEINMUELLER, Edward. Three frames for innovations policy: R&D, systems of innovation and transformative change. **Research Policy**, v. 47, n.9, p. 1554-1576, 2018.

SERRA, Mauricio; et al. Novos rumos das políticas regionais de inovação: desenvolvimentos recentes e implicações. **Texto para Discussão**, n. 417, 2021.

SUZIGAN, Wilson; FURTADO, João. Instituições e Políticas Industriais e Tecnológicas: Reflexões a Partir da Experiência Brasileira. **Estudos Econômicos**, v. 40, n. 1, p. 7–41, 2010.

SUZIGAN, W.; FURTADO, J. Política Industrial e Desenvolvimento. **Revista de Economia Política**, vol. 26, nº 2 (102), pp. 163-185 abril-junho/2006.

SUZIGAN, Wilson; GARCIA, Renato; FEITOSA, Paulo. Institutions and industrial policy in Brazil after two decades: have we built the needed institutions? **Economics of Innovation and New Technology**, 2020.

TOSTA, E.; NERY, M.; BOEIRA, J. A cadeia produtiva da indústria nacional em energia eólica: identificação de gargalos produtivos e oportunidades. Brasília: ABDI, 2016.

ZHANG, Sufang; et al. Interactions between renewable energy policy and renewable energy industrial policy: A critical analysis of China's policy approach to renewable energies. **Energy Policy**, 62, p. 342–353, 2013.