

# Energia Eólica no Brasil: Avanços e Desafios

## Resumo

A energia eólica no Brasil passou por um período lento de crescimento, mas nos últimos dez anos ocorreu significativos avanços que proporcionaram ao país se tornar o sexto maior produtor de energia eólica no mundo. O crescimento desse tipo de energia é importante para que a economia brasileira possa alcançar um crescimento econômico de forma sustentável, trazendo benefícios econômicos, sociais e ambientais para a sociedade. No entanto, apesar do crescimento apresentado na primeira década do século XXI, a indústria de energia eólica ainda é relativamente infante no Brasil e deve enfrentar alguns desafios para que ocorra sua consolidação. Para isso, as políticas públicas são fundamentais nesse processo. Assim, este artigo tem por objetivo realizar uma análise acerca dos avanços e desafios no setor de energia eólica no Brasil, desde seu surgimento até o período mais recente.

**Palavras-chave:** Matriz elétrica. Aerogeradores. Desenvolvimento sustentável.

## Abstract

Wind energy in Brazil has gone through a slow period of growth, but in the last ten years there have been significant advances that have enabled the country to become the sixth largest producer of wind energy in the world. The growth of this type of energy is important for the Brazilian economy to achieve sustainable economic growth, bringing economic, social and environmental benefits to society. However, despite the growth shown in the first decade of the 21st century, the wind energy industry is still immature in Brazil and must face some challenges for its consolidation to occur. For this, public policies are fundamental in this consolidation process. Thus, this article aims to carry out an analysis of the advances and challenges in the wind energy sector in Brazil, from its inception to the most recent period.

**Keywords:** Electrical matrix. Wind turbines. Sustainable development.

## 1. Introdução

A partir do momento que o homem entendeu que a produção era a forma de superar a escassez, a energia se tornou o insumo essencial de produção. Conforme as sociedades foram evoluindo, a demanda por energia foi aumentando e diversas fontes energéticas passaram a ser utilizadas, principalmente os combustíveis fósseis, como carvão, petróleo, a energia nuclear e o gás. Por outro lado, a exploração das fontes renováveis foram deixadas em segundo plano.

Não obstante, esse processo começa a mudar com a crise do petróleo na década de 1970, que acendeu um alerta nos países para buscarem outras fontes energéticas com o propósito de terem uma maior segurança no fornecimento de energia<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Vide Lucon e Goldemberg (2009).

As questões ambientais também passam a ser temas debatidos, ganhando espaço nas discussões entre os países desenvolvidos. Ocorreu o entendimento de que o crescimento econômico tem sido responsável por grande parte da degradação do meio ambiente, que para atender a uma maior demanda da população por bens e serviços, abriu-se o caminho para uma maior utilização de energias não renováveis, acentuando os impactos ambientais. Dessa forma, aparece um *trade-off* entre crescimento econômico e degradação ambiental que pode limitar o desenvolvimento das economias.

Segundo Cavalcanti (2003), o crescimento econômico é um sistema aberto que demanda matéria e energia de alta qualidade do meio ambiente, mas devolve matéria e energia degradadas. Isto é, devolve gás carbônico, derivado da queima de combustíveis fósseis que destrói a camada de ozônio e coloca em dúvida o progresso da modernidade.

Com efeito, em 1997 diversos países assinam o protocolo de Kyoto e em meados do século XXI se intensificam as buscas por energias limpas, renováveis, seguras e sustentáveis. Entre as fontes de energias renováveis, a energia eólica tem assumido a ponta e se consolidando como uma das fontes mais promissora de produção de energia em larga escala. Em 2021 cerca de 94 GW de capacidade instalada foi adicionada globalmente, elevando a oferta total de energia eólica para 837 GW. Diante disso, a energia eólica passou a representar 6% da matriz elétrica mundial, enquanto a segunda (energia solar) representava a metade disso, 3%.

No Brasil, o primeiro aerogerador instalado foi no arquipélago de Fernando de Noronha no ano de 1992, resultado de uma parceria entre o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE). Esse aerogerador gerava apenas 1 MW. A ausência de políticas públicas combinado com o elevado custo da tecnologia, deixou o setor eólico no Brasil inerte por uma década.

A crise energética de 2001, com diversos apagões, foi o impulso que o setor público precisava para iniciar as tentativas de contratação de empreendimentos para geração de energia eólica no país. Primeiro como o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA), em seguida com o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e, finalmente, em 2009 com os leilões exclusivos para energia eólica, denominado de Leilão de Energia de Reserva (LER).

Essas políticas públicas são em parte responsáveis pelo atual desempenho da produção de energia eólica no Brasil, cujos avanços fizeram do país, o sexto maior produtor de energia eólica no mundo, ficando atrás de China, EUA, Alemanha, Índia e Espanha. De toda energia gerada em 2021 no Brasil, cerca de 12% teve origem dos ventos.

Entretanto, a motivação do Brasil para explorar a energia dos ventos é distinta das demais países. A matriz elétrica brasileira é diferente da matriz mundial, dos países ricos e emergentes como China e Índia, sendo a energia hidroelétrica predominante. Todavia, devido as questões geográficas, legais e ambientais, esse tipo de energia tem enfrentado restrições para se expandir, ocorrendo espaço para a promoção de outras fontes renováveis de energia, como a eólica.

Nos meses secos do ano e, portanto, de baixa produção de energia hidroelétrica, são os meses com os melhores ventos para a produção de energia eólica, de forma que o desenvolvimento desse tipo de energia se torna complementar e estratégico para o setor elétrico do país.

Assim, o objetivo do presente trabalho será mostrar os principais avanços da produção de energia eólica no Brasil, assim como enumerar alguns desafios que o setor eólico precisar superar para continuar sua expansão na matriz elétrica brasileira.

Para alcançar esse objetivo, este trabalho está dividido em mais seis seções, além desta introdução. A primeira seção faz uma breve revisão sobre o conceito de desenvolvimento sustentável, destacando a importância da energia eólica. A seção seguinte destaca as questões técnicas do setor em estudo. A terceira seção, busca colocar em evidência as principais políticas

públicas voltadas para as energias renováveis no Brasil. Os avanços obtidos e desafios a serem enfrentados para a expansão e o melhor aproveitamento dessa fonte da energia eólica são mostrados nas duas seções seguintes. Por fim, as considerações finais.

## 2. Desenvolvimento Sustentável

A produção energética mundial teve início no Reino Unido, começando pelo carvão como fonte e foi a energia que deu início a Revolução Industrial do século XVIII. Nos séculos seguintes, a produção de energia passa a utilizar derivados de combustíveis fósseis, como petróleo.

Depois da Primeira Revolução Industrial, o avanço tecnológico que ocorreu ao longo dos anos permitiu que as pessoas tivessem acesso a bens de consumo e esse aumento da demanda teve como consequência uma crescente utilização de recursos naturais não renováveis e, portanto, a uma maior degradação do meio ambiente.

O problema desse avanço tecnológico é que ele ocorreu de forma desigual entre os países, de modo que o crescimento econômico não foi acompanhado do desenvolvimento econômico em todas as economias. O entendimento era que o crescimento econômico ocorreu em muitos países, mas nem todos os países tiveram sua estrutura produtiva transformada.

Até os anos de 1960 não se fazia distinção entre os conceitos de crescimento e desenvolvimento econômico. É a partir desse período que se iniciam os debates para diferenciá-los, uma vez que a população de alguns países que apresentaram crescimento elevado do PIB *per capita* continuavam com condições de vida precárias.

Sen (1998) argumenta que o crescimento do PIB não pode ser utilizado como único indicador de desenvolvimento, mas se deve levar em consideração outros indicadores como a pobreza, emprego, saúde, necessidades básicas, educação, equidade, dentre outros.

Nos anos 2000 as discussões mais atuais entendiam o desenvolvimento econômico como garantia da liberdade a todas as pessoas, no que diz respeito as questões culturais e sociais, principalmente. Todavia, Sen (2000) diz que a expansão das liberdades reais só ocorrerá se forem garantidas três premissas básicas: i) vida longa e saudável; ii) ser instruído e; iii) desfrutar de um nível de vida adequado.

Desse debate, foi construído um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) composto por três variáveis: i) longevidade, avaliada pela expectativa de vida ao nascer; ii) educação, considerando a média de anos de escolaridade da população e os anos de escolaridade esperados e; iii) a renda, determinada pela Renda Nacional Bruta *per capita*. A partir desse índice, qualquer país, região ou município pode ser analisado considerando as três premissas básicas definidas em Sen (2000).

No entanto, Furtado (1974) já chamava atenção para a questão da degradação ambiental no conceito de desenvolvimento econômico. Segundo o autor, a universalização do desenvolvimento econômico é impossível de acontecer, uma vez que o aumento do consumo vai pressionar ainda mais a exploração dos recursos naturais, sobretudo, os não renováveis e com isso gerando impactos ambientais, trazendo processos irreversíveis de degradação do mundo físico<sup>2</sup>. Ainda de acordo com o autor, essa tentativa de universalização do desenvolvimento econômico colocaria em risco as possibilidades de sobrevivência da própria espécie humana, apresentando o que ele chamou de “profecia do colapso”.

---

<sup>2</sup> Podemos dizer que Furtado foi pioneiro em perceber os condicionantes ambientais no processo de desenvolvimento econômico contemporâneo. Anos depois, em entrevista a Cristovam Buarque, Furtado volta a demonstrar preocupação com as questões ambientais. Nessa entrevista, Furtado (2007) argumenta que o uso predatório dos recursos naturais não renováveis gera problemas preocupantes para o planeta inteiro, tendo como consequências a contaminação da atmosfera e a poluição.

Portanto, conforme Furtado (1974), a ideia de que países pobres alcançarão algum dia o mesmo padrão de vida dos países ricos, ou seja, de que os países periféricos serão em algum momento países desenvolvidos se trata na verdade de um mito, uma fantasia.

Diante disso, o autor defende que a universalização do desenvolvimento econômico para todas as regiões deveria ser de forma mais igualitária, orientada para formas coletivas de consumo e pensando na redução da pressão sobre os recursos naturais.

Assim, o conceito de desenvolvimento econômico deve passar necessariamente pela capacidade de produzir sem degradar o meio ambiente, isto é, para que o desenvolvimento seja sustentável os países devem encontrar meios de suprir as necessidades da sociedade atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações<sup>3</sup>. Desse modo, fica evidente que o desenvolvimento sustentável não está relacionado apenas com a economia, mas também com o meio ambiente. Neste sentido, as energias renováveis tem um papel importante.

Furtado (1974) diz que a teoria econômica clássica não considerava em seus modelos<sup>4</sup> a possibilidade de que o processo de produção e consumo reduzam a capacidade energética do planeta e aumentem o valor das fontes alternativas de energias. Alves (2006) mostra que além da questão ambiental, o desenvolvimento das fontes de energias renováveis são fundamentais para o crescimento econômico sustentável, para solucionar problemas sociais e para o desenvolvimento tecnológico. Frankhauser *et al.* (2008) mostram que as políticas públicas relacionadas a energia limpas, promovem a inovação tecnológica, novas oportunidades de investimento e o crescimento econômico. Zerriffi e Wilson (2010) argumentam que a produção de energias renováveis em regiões periféricas pode gerar o desenvolvimento econômico sem a utilização de combustíveis fósseis, ao contrário do que ocorreu com as regiões hoje desenvolvidas.

No caso do Brasil, via de regra, as usinas de energia eólica são menores e mais dispersas em relação as usinas tradicionais, o que leva sua instalação para zonas rurais de baixa densidade demográfica, em cidades nas quais a dinâmica da economia em grande parte ocorre em torno de transferência direta do governo (bolsa família e/ou aposentadoria). Portanto, a construção de um parque eólico demanda uma mão de obra especializada, o que gera um potencial para capacitação da população rural.

Além disso, a instalação dos parques eólicos nessas cidades rurais tem um impacto sobre a dinâmica econômica de forma significativa, principalmente no período de construção. Keynes (1936) disse que o desemprego poderia desaparecer se o governo enchesse garrafas usadas com dinheiro e enterrassem para a iniciativa privada desenterra-las novamente, logicamente por meio de concessões sobre o terreno aonde estão enterradas tais garrafas. Com o transbordamento para outras atividades, tinha-se a criação de diversos tipos de empregos e a renda da comunidade seria maior que antes.

Na construção dos parques eólicos ocorre algo parecido com o que Keynes descreveu, uma vez que se criam empregos dentro e fora da obra. A renda gerada nesse processo se inicia no arrendamento das terras e na contratação de trabalhadores locais (como pedreiros, eletricitistas, seguranças, cozinheiros, etc.). Desse modo, o aumento de pessoas envolvidos na construção leva ao aumento da demanda por serviços, como de alimentação e hospedagens locais. Tudo isso, aumenta a dinâmica e a renda da comunidade. Assim, é mais racional o governo construir parques eólicos do que enterrar garrafas com dinheiro.

No entanto, embora o crescimento da renda seja maior na fase de construção, a instalação dos parques geram efeitos permanentes para a comunidade, como: i) possibilidade de desenvolvimento de indústria de equipamentos para consumo interno; ii) redução do desemprego através da criação de empregos de operação e manutenção; iii) redução da taxa de

---

<sup>3</sup> Vide Romeiro (2012) para uma discussão acerca do conceito de desenvolvimento sustentável.

<sup>4</sup> Essa era uma verdade na década de 1970, atualmente se tem modelos que tentam mostrar o impacto do crescimento sobre o meio ambiente, vide Acheampong (2018).

migração da população; iv) a renda gerada pelo aluguel da terra pode ser investido em outras atividades, como o desenvolvimento da agricultura, bem como pode ser um facilitador de crédito; v) pode ocorrer investimentos em infraestrutura; vi) fornecimento de energia elétrica a um custo menor, dentre outros benefícios de longo prazo.

Portanto, a diversificação da matriz energética voltada para as fontes de energia renováveis é condição essencial para ajudar o país a alcançar o desenvolvimento de forma sustentável, e uma dessas fontes de energia é a eólica. Políticas públicas eficientes combinadas com políticas de desenvolvimento regional, podem contribuir significativamente para o desenvolvimento das cidades hospedeiras de parques eólicos no país.

### **3. Energia Eólica**

Apesar do diagnóstico negativo de Furtado (1974) em relação a universalização do desenvolvimento econômico, Furtado (2007), já em uma versão mais avançada do seu pensamento, mostra que a tecnologia pode reverter os problemas dos recursos naturais, inclusive do setor energético.

A energia é um dos insumos mais importantes de produção, de forma que não se pode pensar em produzir sem a existência de energia. Segundo, Goldemberg (2010), a história do homem é intrínseca a história da energia, sendo um elemento essencial para a produção de bens e serviços e, assim, para o bem estar social. Portanto, o setor energético é um setor estratégico para qualquer país que busque o desenvolvimento econômico.

Existem pelo menos quatro fontes básicas de energia que são: a cinética, a potencial, a da massa e a dos campos. A manifestação dessas fontes em diferentes sistemas produzem a energia química, eólica, mecânica, entre outras, que juntas determinam a matriz energética de um país conforme a sua disponibilidade em seu território.

Essas fontes de energias podem ser divididas em renováveis e não renováveis, sendo essas últimas obtidas de fontes esgotáveis no curto ou longo prazo e provocam inúmeros prejuízos ao meio ambiente. Petróleo, carvão, e o gás natural são exemplos desse tipo de energia. Por outro lado, as fontes de energias renováveis são pouco nocivas na geração de gases do efeito estufa, gerando inúmeros benefícios a sociedade.

Dentre as energias renováveis, a energia eólica ou energia cinética dos ventos como também é conhecida, vem ganhando espaço na matriz energética brasileira nos últimos anos. Além de ser uma energia renovável e limpa<sup>5</sup>, sua fonte é inesgotável e contínua, uma vez que é independente das estações do ano.

Segundo Lopez (2002), a energia dos ventos é utilizada desde os primórdios da civilização, sendo empregada em diversas atividades como o beneficiamento de grãos e o bombeamento de água. O primeiro registro histórico da utilização de moinhos se dá na Pérsia, 200 a.c., sendo depois aplicadas em outras atividades, como serrarias, prensas de grãos e fábricas de papel. Atualmente, o uso da energia dos ventos tem como principal finalidade transformar a energia eólica em energia elétrica por meio de autogeradores, contribuindo para o desenvolvimento sustentável de diversas economias no mundo.

Essa energia eólica é produzida em parques, ou seja, em um aglomerado de aerogeradores (geralmente um número maior que cinco) instalados em uma área e ligadas a

---

<sup>5</sup> De acordo com Oebels e Pacca (2013), a energia eólica contribui significativamente para redução emissões de gases de dióxido de carbono, cerca de 600 toneladas para cada GWh. No entanto, a energia eólica produz efeitos ambientais como barulho, acidentes com pássaros, radiação eletromagnética e invasão visual. Por outro lado, são efeitos menores e evitáveis em relação a outras fontes de energia.

uma rede de transmissão de energia que através das usinas produzem energia elétrica e injetam no sistema<sup>6</sup>. Os parques eólicos podem ser *offshore* (no mar) ou *onshore* (na terra).

Os parques eólicos *offshore* são plataformas de aerogeradores instaladas em alto mar com o objetivo de aproveitar a constância e maior velocidade do vento, uma vez que inexitem barreiras. O maior parque *offshore* no mundo se encontra na Inglaterra, o Hornsea II com 165 torres instaladas com capacidade de produzir energia para mais de 1,3 milhão de residências, cerca de 1,3GW. No Brasil ainda não se tem nenhum parque *offshore*, mas se tem projetos para explorar o potencial dos ventos nos mares do país, que é superior a 500 GW<sup>7</sup>.

Já os parques eólicos *onshore* são formados por aerogeradores instaladas na terra para aproveitar os melhores ventos e gerar energia elétrica. O maior parque eólico no mundo *onshore* se encontra na China e tem capacidade para produzir cerca de 6 GW. No Brasil, o maior parque eólico está localizado no Piauí, o complexo Lagoa dos Ventos, com capacidade de 1,5 GW produzidos em 372 aerogeradores, sendo também o maior em operação na América do Sul.

Além do custo baixo em relação aos parques *offshore*, as instalações dos parques *onshore* são móveis, o que significa que a área utilizada pode ser recuperada e seu entorno pode ser utilizado para atividades agrícolas e pecuárias. Por outro lado, apesar de ter um custo maior, os parques *offshore* apresentam algumas vantagens em relação aos parques *onshore*, como o baixo impacto visual, capacidade para gerar mais energia e melhor locomoção do transporte e da instalação de seus componentes.

Segundo Vogel *et al.* (2018) e Jung e Schindler (2018), a energia eólica tem um papel fundamental para permitir um crescimento sustentável, seja para atender a maior demanda por eletricidade seja para mitigar os efeitos derivados da emissão de CO<sub>2</sub>.

Todavia, o princípio da livre concorrência da teoria econômica clássica se torna insuficiente como diretriz de política econômica para o setor, uma vez que o custo inicial elevado e o estágio de desenvolvimento dessa tecnologia, inibem a entrada e o investimento no mercado de energia eólica. Essas barreiras econômicas e técnicas, prejudicam o desenvolvimento e a produção de energia eólica no Brasil. Com efeito, diante dessa falha de mercado e do potencial de energia eólica no país, tem-se a necessidade de incentivos econômicos e regulatórios via atuação estatal.

Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, o potencial de energia eólica *onshore* no Brasil é de 143 GW, mas este valor pode ser maior, uma vez que o estudo da época considerou a altura do gerador de 50 metros. Atualmente, os autogeradores estão a 80 ou 100 metros de altura, além das máquinas serem mais eficientes, o que se estima que em terra o potencial de energia eólica no Brasil seja superior a 700 GW<sup>8</sup>. O potencial *onshore* e *offshore*, tem levado o Governo Federal a implementar diversas políticas públicas de estímulo ao desenvolvimento da produção de energia dos ventos, em especial no Nordeste, seja no desenvolvimento de pesquisa, na regulamentação ou subsidiando custos de produção.

#### 4. Políticas Públicas

Na ausência de tecnologia e diante do potencial de produção de energias limpas no Brasil, entre 1994 e 1996 ocorreram três encontros para discutir o desenvolvimento de energias renováveis em território brasileiro, principalmente a energia solar e a eólica. No entanto, somente após a crise energética de 2001 é que a energia eólica entra no escopo das políticas públicas, mas como uma ação amenizadora de curto prazo para suprir a crise do período. Assim,

---

<sup>6</sup> Em Shamshirband et al. (2014) se tem uma descrição mais técnica e mecânica do processo de transformação dos ventos em energia elétrica.

<sup>7</sup> Vide Borges (2022).

<sup>8</sup> Vide Borges (2022).

a energia eólica aparece no quadro das políticas públicas como uma medida de caráter emergencial através da criação do PROEÓLICA por meio da resolução nº 24 de 5 de julho de 2001 instituída pela Câmara de Gestão da Crise de Energia (GCE)<sup>9</sup>.

Diante, principalmente, da falta de insumos específicos necessários para produção da energia eólica, nenhuma usina entrou em operação, mas facilitou a entrada de empresas internacionais da área no mercado brasileiro. Com efeito, o PROEÓLICA foi substituído em 2002 pelo PROINFA.

O objetivo do PROINFA era aumentar a participação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's), energia eólica e biomassa na matriz energética brasileira, cuja meta foi de 3,3MW divididos igualmente entre as três fontes. Diferentemente do PROEÓLICA, o PROINFA conferiu um caráter mais estrutural para a política pública voltada para a produção da energia eólica no Brasil. O planejamento voltado para o curto prazo é substituído pelo de longo prazo, o que abriu caminho para a instalação de indústrias do segmento de energia eólica no país.

As diretrizes do PROINFA foram elaboradas pelo Ministério de Minas e Energia (MME), bem como o planejamento e o valor econômico de cada fonte de energia beneficiada pelo programa. A Eletrobrás garantiu a compra da energia com preço subsidiado por 20 anos<sup>10</sup>, e o BNDES garantiu o financiamento com a obrigatoriedade de internalizar a produção dos insumos dos segmentos, criando um índice de nacionalização com uma meta de alcançar 60% dos insumos utilizados na produção de energia limpa, o que ajudou a desenvolver a indústria de base de diversos componentes importantes<sup>11</sup> no país.

Segundo Silmas e Pacca (2013), o PROINFA reduziu o risco do investimento criando instrumentos que estimulou a criação de tecnologias, que até então inexistiam no Brasil. Para Hochstetler e Kostra (2015), o PROINFA foi importante para a consolidação do setor eólico no país, reduzindo o risco para os investidores e, assim, criando possibilidades para o crescimento da indústria de energia eólica no país. Lucena e Lucena (2019) ao definir um preço alto para a compra da energia eólica, o programa criou a demanda inicial atraindo até mesmo empresas e financiadores sem muita experiência na área, tendo como resultado o desenvolvimento do setor eólico no Brasil.

Todavia, Nivalde *et al* (2010), mostram que o programa teve algumas dificuldades que entre as principais estava insuficiência da oferta de aerogeradores, exigências de grau de nacionalização, dificuldade de financiamentos, comportamento especulativo de alguns agentes e as dificuldades de conexões a rede de alguns projetos. Diante disso, ocorreu a revisão dos projetos e o prazo para conclusão foi expandido de 2006 para 2008, permitindo um tempo maior para a solução dos problemas apresentados. Após esse período, deu-se início a segunda fase do PROINFA, que deveria ser encerrada em 2010, mas foi estendido até 2011 para permitir alcançar as metas estabelecidas e que não foram alcançada dentro do prazo.

Essa segunda etapa do programa tinha por objetivo alcançar 10% do consumo anual de energia elétrica do país através das fontes contempladas. Além disso, tinha a pretensão de: (i) diversificação da matriz elétrica brasileira; (ii) promoção da segurança no abastecimento; (iii) a valoração das características e potencialidades regionais e locais; (iv) criação de empregos, capacitação e formação de mão de obra e; (v) redução de emissão de gases de efeito estufa.

A partir de 2009 teve início também o sistema de leilões, no qual o governo abre a concorrência para os demandantes adquirirem a concessão de produzir certa capacidade de energia eólica. Nesses leilões de demanda, como também são chamados, o governo define o preço teto e quem demandar o contrato ao menor preço, leva a concessão. Isto é, diferente de

---

<sup>9</sup> Vide Macedo (2015) e Silmas e Pacca (2013).

<sup>10</sup> Essa compra ocorreu através da tarifa *feed-in*, em que o governo garantiu a compra da energia eólica gerada a preços acima dos preços de mercado por um período de 20 anos, reduzindo os riscos do investimento no setor eólico.

<sup>11</sup> Vide Melo (2013).

um leilão tradicional que, quem dá menos, leva o contrato. Esses leilões causaram um *boom* na indústria de energia eólica e em poucos anos essa fonte de energia se tornou competitiva em relação as demais fontes tradicionais. Até 2021, cerca de 20 GW de potência foi contratado através dos leilões<sup>12</sup>.

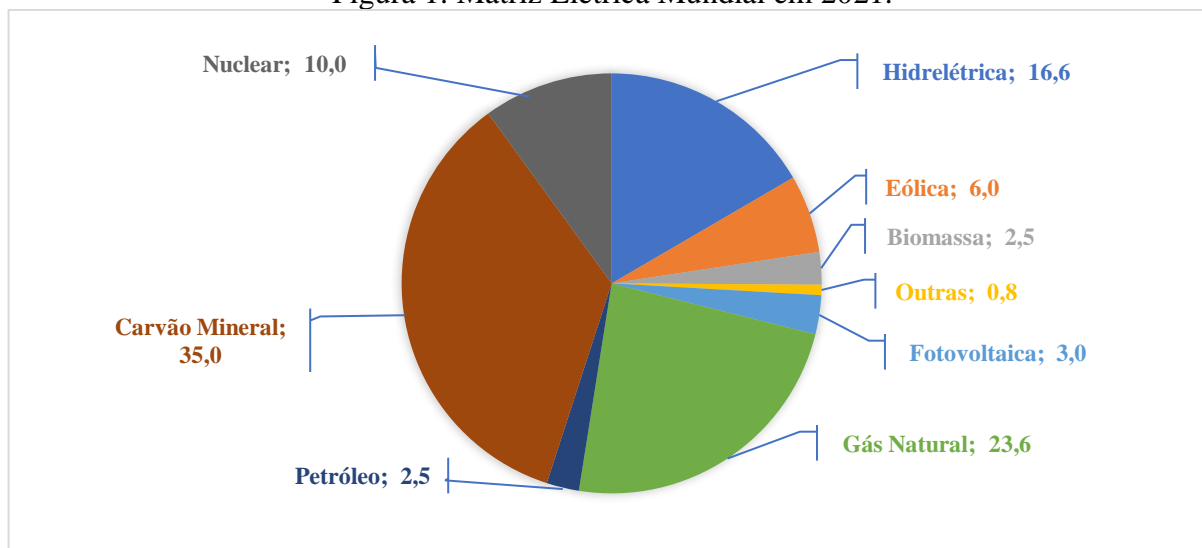
Com o objetivo de obter uma matriz energética mais limpa e amenizar os problemas energéticos do país, diversas políticas públicas foram e estão sendo implementadas, permitindo a expansão dos parques eólicos no Brasil, cuja energia tem contribuído para que a economia brasileira venha a apresentar um crescimento econômico sustentável no médio e longo prazo. Vejamos como ocorreu esse avanço da produção de energia eólica no Brasil.

## 5. Avanços da Energia Eólica no Brasil

A composição da matriz elétrica de um país é formada por um conjunto de fontes disponíveis em seu território, que são utilizadas para captar e distribuir energias para os setores comercial, industrial e residencial. Isto é, a matriz elétrica é composta por fontes disponíveis apenas para a produção de energia elétrica.

Segundo Nivalde *et al.* (2010), o Brasil possui uma matriz elétrica única e privilegiada em relação a matriz elétrica mundial. Em 2021, a Matriz Elétrica mundial foi formada, principalmente, por combustíveis fósseis como carvão mineral e gás natural. Por outro lado, as energias limpas ainda têm uma pequena participação na matriz elétrica mundial, Figura 1, com a energia eólica obtendo uma representatividade de 6%.

Figura 1: Matriz Elétrica Mundial em 2021.



Fonte: IEA (2022).

No entanto, ocorreu uma redução significativa do petróleo, que em 1973 detinha uma participação superior a 40%, bem como o aumento do gás natural que apesar de ser um combustível fóssil, seu uso é considerado aceitável durante a transição para uma matriz elétrica mais limpa<sup>13</sup>. Essa transição deve ser acelerada, tendo em vista que a guerra entre a Ucrânia e

<sup>12</sup> Vide Losekann e Hallack (2018) e Diógenes et al. (2019) para uma análise dos leilões de energia eólica no Brasil.

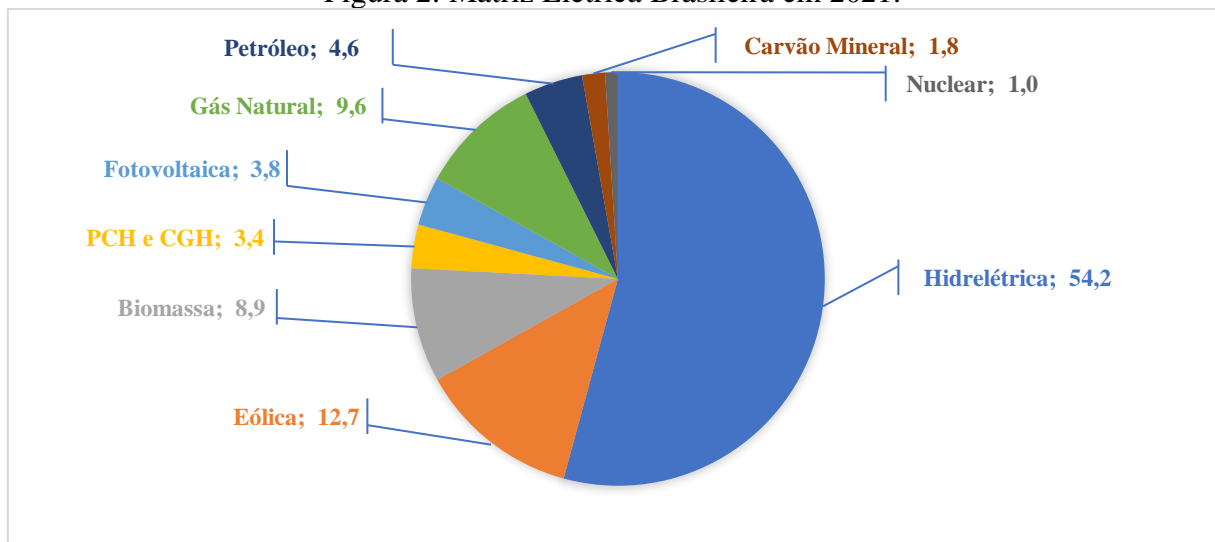
<sup>13</sup> Vide Sachs (2007).



a Rússia colocou em foco as implicações da dependência das importações de energia não renováveis para a segurança energética de diversos países desenvolvidos.

Já a matriz elétrica brasileira em 2021 é bem mais limpa que a matriz mundial, tendo em sua composição uma participação maior das energias renováveis, como a hidrelétrica e a energia eólica, que juntas corresponderam a quase 70% de toda a matriz elétrica. Segundo Nivalde *et al.* (2010), essa composição matricial garante a produção e oferta de uma energia limpa, renovável e competitiva.

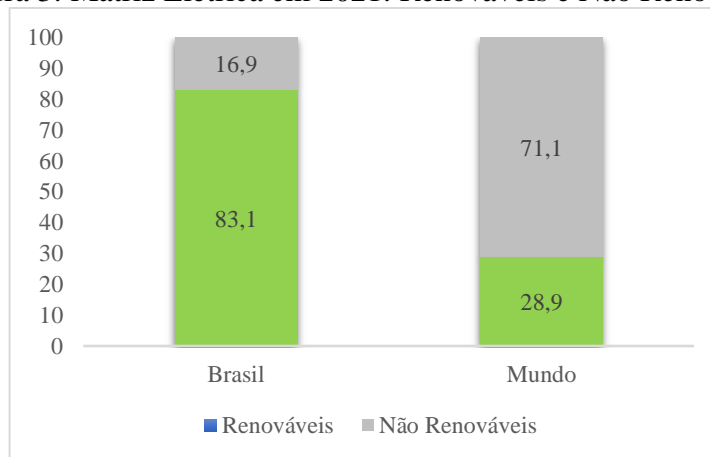
Figura 2: Matriz Elétrica Brasileira em 2021.



Fonte: IEA (2022).

Como pode ser visto na Figura 3, mais de 70% da matriz elétrica mundial é baseada em fontes não renováveis, sendo apenas cerca de 28% derivado de fontes renováveis. Por outro lado, a matriz elétrica brasileira apresenta uma composição inversa, ou seja, mais de 80% é composta por energias renováveis. Essa mudança na composição da matriz elétrica brasileira é importante para o país, uma vez que além de possuir um menor custo de operação, as energias renováveis emitem uma quantidade menor de gases de efeito estufa.

Figura 3: Matriz Elétrica em 2021: Renováveis e Não Renováveis



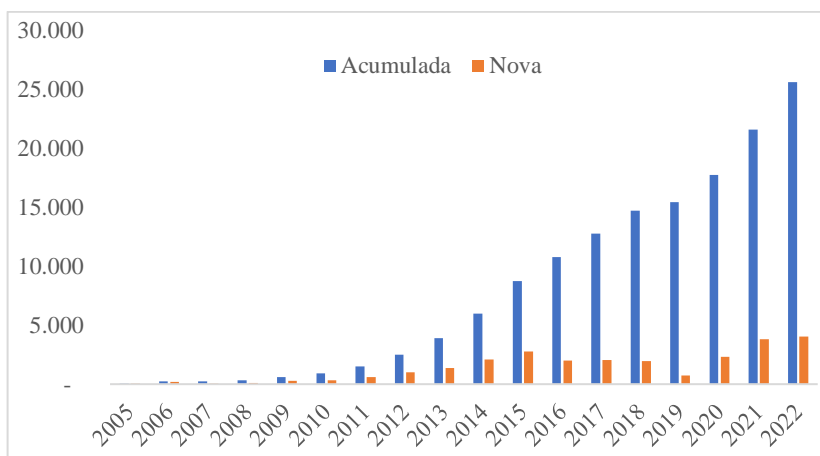
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IEA (2022).

No entanto, a tendência é que a predominância da energia hidrelétrica diminua, conforme apareçam limitações a sua expansão, como escassez de chuvas e questões

hidrológicas desfavoráveis, que aumentam as barreiras ambientais para a aprovação de projetos. A construção de reservatórios de grande porte tem sido uma dificuldade nos últimos anos, principalmente devido a questões geográficas, legais e ambientais, que tem limitado a produção de energia por essa fonte. Diante disso, Oliveira Neto *et al.* (2018) argumentam que as hidrelétricas causam profundos impactos ambientais e destaca a energia eólica como alternativa.

Assim, a matriz elétrica brasileira se encontra em fase de transição<sup>14</sup> para um novo padrão de produção de energia, exigindo a inserção de outras fontes renováveis para operarem e complementarem a energia hídrica, principalmente, em períodos de seca. Nesse contexto, a diversificação da matriz elétrica se torna necessária para que a economia brasileira cresça sem restrições de oferta de energia. E dentre as energias renováveis, a eólica tem apresentado maior potencial de crescimento nos últimos dez anos, como se pode observar na Figura 4.

Figura 4: Evolução da Capacidade Instalada (em MW): 2005 a 2022.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABEEólica.

Em 2005 a capacidade instalada era de apenas 22 MW, passando para 1,5 GW em 2011 e em 2022 essa capacidade já era superior a 25,6 GW. Desses 25,6 GW, mais de 10 GW foram acumulados nos últimos três anos. A expansão da energia eólica no país foi importante para aliviar os problemas de suprimento de eletricidade da última década, tendo em vista que esse período foi de chuvas abaixo da média histórica. Esse fato, destaca o caráter de complementariedade da energia eólica no Brasil, que deverá ser importante também nos próximos anos, dada a perspectiva de escassez de chuvas provocas em parte pelo desmatamento da floresta amazônica que afeta o regime de chuvas nas regiões Centro-Sul do Brasil.

Esse crescimento da energia eólica no Brasil se deve as políticas públicas como o PROINFA e os leilões que reduziram o risco do setor e permitiu a expansão dos investimentos, principalmente, a partir de 2011, quando se teve um investimento de quase R\$ 5 bilhões, gerando uma capacidade nova de 596 MW nesse ano. Em 2015 o investimento foi de R\$ 5,1 bilhões e a capacidade nova gerada foi de 2,7GW. Da mesma forma, ocorreu em 2021, em que investimento similar resultou em 3,8GW de capacidade instalada nova<sup>15</sup>.

A garantia de compra da energia gerada combinado com a expansão dos investimentos permitiu o surgimento de uma indústria de equipamentos relacionadas ao setor eólico e, portanto, acelerando a produção de energia nos últimos anos. Toda uma cadeia de produção foi

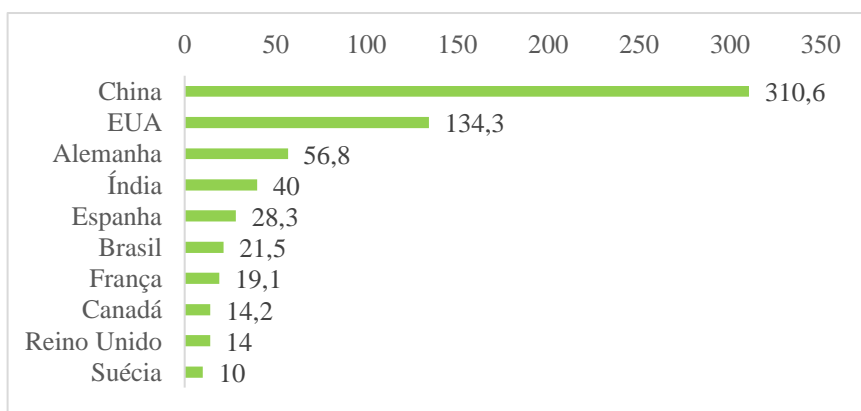
<sup>14</sup> Em 2000, a participação da energia hídrica era de 91,11%, passou para 88,61% em 2008, 66,2% em 2016 e em 2022 era de 54,2%, o que mostra a evolução dessa transição matricial no Brasil.

<sup>15</sup> Em 2022 ocorreu a definição de uma regulamentação para os parques eólicos offshore, que certamente vai aumentar de forma significativa a capacidade instalada nos próximos anos, dado o potencial de 1200 GW.

se estabelecendo no país, empresas como Wobeen, Impsa, Gamesa Siemes, Vestas, Acciona, Suzlon, Tecsis, Brasilat, Intecnia, dentre outras, passaram a produzir desde torres, aerogeradores até rolamentos e vedações. Dessa forma, superando o objetivo desejado pelo índice de nacionalização, tendo um total de 80% de um aerogerador produzido em território nacional.

Com efeito, em 2021 o Brasil passou a ser o sexto maior produtor de energia eólica no mundo *onshore*, ficando atrás de China (310,6 GW), EUA (134,3 GW), Alemanha (56,8 GW), Índia (40 GW) e Espanha (28,3 GW). A *Global Wind Energy Council* (GWEC) elabora um Ranking especificamente para nova capacidade instalada no ano e, em 2021, o Brasil aparece em terceiro lugar com 3,8 GW, atrás de China (30,7 GW) e EUA (12,7 GW), o que sinaliza uma ascensão do país na capacidade instalada para os próximos anos.

Figura 5: Ranking Mundial de Capacidade Instalada Onshore em 2021



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da *Global Wind Energy Council* (GWEC).

Em termos geográficos, a produção de energia eólica no Brasil se concentra nos estados da região Nordeste, de modo que dos doze estados produtores de energia eólica, oito são nordestinos. Esses estados produziram cerca de 19.500 MW em 2021, ou seja, mais de 90% de toda a produção de energia eólica no país. Conforme visto na Tabela 1, cujos dados são mais recentes (janeiro de 2023), a Bahia é o estado com maior capacidade instalada desse tipo de energia, com mais de 7.000 MW, a frente do Rio Grande do Norte com 6.855,03 MW, do Piauí com 3.428,25 MW e do Ceará com 2.568,34 MW.

Tabela 1: Indicadores dos Estados de Energia Eólica: Jan/2023

Estados	MW	Representatividade	Fator Capacidade	Número de Parques
<b>BA</b>	7.006,87	29,0	47,70	258
<b>RN</b>	6.855,03	28,4	45,20	225
<b>PI</b>	3.428,25	14,2	46,00	105
<b>RS</b>	1.835,89	7,6	35,65	80
<b>CE</b>	2.568,34	10,6	39,90	98
<b>PE</b>	1.025,77	4,3	43,60	39
<b>MA</b>	426	1,8	47,33	15
<b>PB</b>	672,44	2,8	37,34	31
<b>SC</b>	242,7	1,0	27,29	15
<b>SE</b>	34,5	0,1	22,44	1
<b>RJ</b>	28,05	0,1	22,80	1
<b>PR</b>	2,5	0,0	14,99	1

<b>Brasil</b>	24.126,3	100,0	43,60	869
---------------	----------	-------	-------	-----

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABEEólica.

A região Nordeste foi responsável por 90% da capacidade instalada em 2023, com mais de 22 GW o que equivale a capacidade energética de Portugal proveniente de todas as fontes. Na região, a geração de energia pela força dos ventos, garantem 60% do abastecimento da região, reduzindo sua dependência em relação aos outros tipos de energias. Dentro do Nordeste, a Bahia e o Rio Grande do Norte concentram quase 60% de toda produção de energia eólica no Brasil e possuem mais da metade dos parques eólicos, 483 parques.

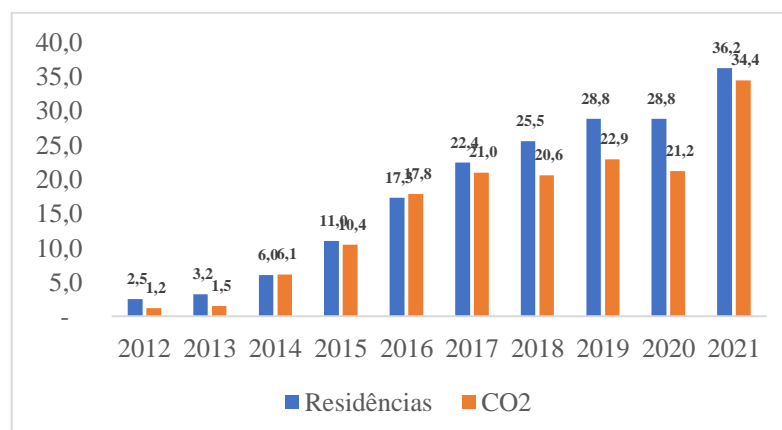
O Nordeste é favorecido com a intensidade e constância dos ventos Alísios<sup>16</sup>, ofertando os ventos mais ricos para a produção de energia, o que torna no destino de grandes investimentos em energia eólica, de forma que a cada dez parques eólicos erguidos no país, oito estão na região. Dos 869 parques em operação no início de 2023, a região Nordeste concentra 772 parques, número que deve aumentar nos próximos anos com a expansão do setor.

Quando se analisa a geração de energia produzida e a capacidade total de produção em um determinado período de tempo, ou seja, o indicador do fator de capacidade dos estados, observa-se que na média todos os estados podem produzir mais do que efetivamente foi produzido, uma vez que esse indicador ficou abaixo de 50% em todos os estados. Isso significa que as usinas estão trabalhando com capacidade ociosa, podendo gerar mais energia em relação ao que está sendo efetivamente gerado.

Os estados da Bahia, Maranhão, Rio Grande do Norte e Piauí são os que apresentaram um maior percentual de energia produzida em relação ao seu potencial. Isso se deve, segundo Lira et al. (2014), a combinação de ventos do leste com brisas marítimas e terrestres, que aumentam a média de velocidade do vento nesses estados e, portanto, aumentando a produção de energia eólica.

Essa energia gerada nos estados brasileiros tem a capacidade de abastecer milhões de residências no país, passando de 2,5 milhões em 2012 para mais de 36 milhões em 2021. A figura 6, mostra ainda a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> evitada desde 2012 a 2021. Nesse último ano, cerca de 34 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> foram evitadas, o que equivale a 34 milhões de automóveis de passeio. Para efeito de comparação, a cidade de São Paulo possui uma frota de 19 milhões de automóveis, o que significa uma redução significativa na emissão de gases de efeito estufa.

Figura 6: Total de Residências (milhões) e Toneladas de CO<sub>2</sub> (milhões): 2012 a 2021



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABEEólica.

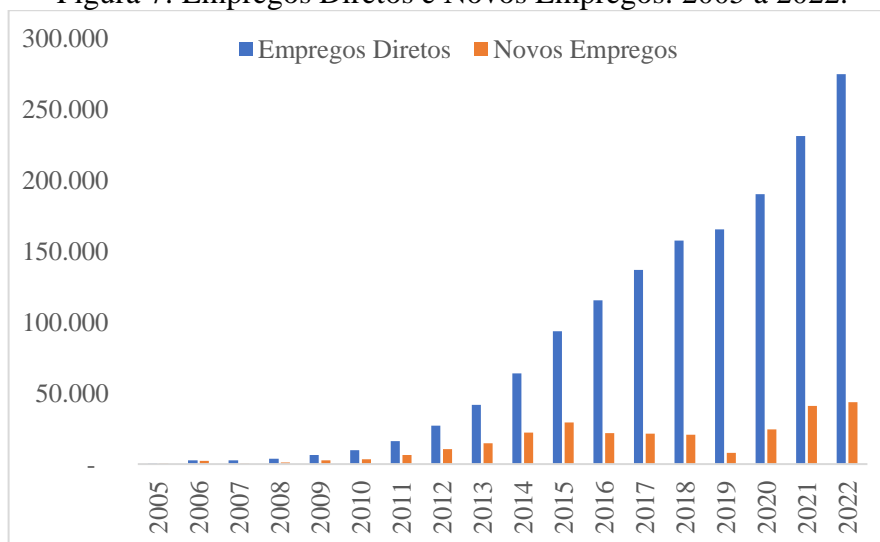
<sup>16</sup> São ventos que se apresentam constantes e úmido e ocorrem nas zonas subtropicais em baixas altitudes.

No que diz respeito aos impactos da produção de energia eólica sobre a economia, Segundo Borges (2022), eles podem ser de três tipos: i) direto, que correspondem a fase de construção dos parques e a fase de operação e manutenção. A primeira fase tem efeitos temporários enquanto a segunda fase se caracteriza por efeitos permanentes sobre a economia; ii) indiretos, associados aos fornecedores de bens e serviços para o setor eólico; iii) induzidos, que são os efeitos sobre a economia do pagamento de salários e lucros pelas empresas eólicas e que se transformam em consumo e investimentos em outros setores.

Estimativas do mesmo estudo mostram que considerando os efeitos diretos, indiretos e induzidos, a cada um real aplicado em novos investimentos gera R\$ 2,9 de PIB após cerca de um ano. Além disso, em média o setor eólico respondeu por 0,5% do PIB no período de 2011 a 2020 e nos anos de recessão respondeu por 0,8%, suavizando os efeitos da crise, como foi em 2015 e 2020.

Em termos de emprego, considerando a estimativa da ABEEólica, que para cada MW instalado se gera 10,7 empregos (4,4 diretos e 6,3 indiretos), pode-se estimar a quantidade de emprego total e criada a cada ano. Os valores dessa estimativa se encontra na Figura 7, como visto em 2022 foram criados mais de 43 mil novos empregos no setor eólico, alcançando um total de 274 mil empregos. Portanto, o setor de energia eólica se tornou importante na economia, não apenas pela geração de energia limpa, mas também pela criação de emprego e renda na economia.

Figura 7: Empregos Diretos e Novos Empregos: 2005 a 2022.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABEEólica.

Todavia, esses números podem ser maiores. Estimativas de Moszoro (2021), mostra que para cada US\$ 1 milhão de investimentos no setor energético de economias emergentes, como a do Brasil, tem potencial de gerar entre 11 a 23 empregos. Nesse caso, considerando que foi investido US\$ 35,8 bilhões no período 2011 a 2020, pode-se dizer que o setor eólico gerou no mínimo 393 mil empregos associados aos efeitos, diretos, indiretos e induzidos.

## 6. Desafios da Energia Eólica no Brasil

Apesar do avanço da energia eólica no Brasil nos últimos anos, como o aumento do número de parques eólicos instalados, o aumento da capacidade de produção e redução nos custos, o setor eólico ainda precisa enfrentar uma série de desafios para que a essa fonte de energia se consolide e ganhe mais espaço na matriz elétrica brasileira.

Embora tenha ocorrido uma queda nos custos, o custo médio de produção ainda é alto e muitas vezes superior às fontes convencionais de energias. No entanto, essa diferença de custo já foi maior, de modo que a energia eólica tem se tornando cada vez mais competitiva frente as demais fontes de energias.

Portanto, o principal obstáculo a expansão da energia eólica no Brasil continua sendo o seu custo. Logo, os desafios que o setor eólico no Brasil precisa enfrentar estão relacionados com o custo de produção e com fatores competitivos. Diante disso, vamos enumerar alguns desafios que ao serem superados vão permitir uma maior inserção da energia eólica na matriz elétrica brasileira correspondente ao seu potencial e com suas externalidades positivas sobre a economia e o meio ambiente.

Assim, o primeiro desafio para o setor eólico no Brasil será o de continuar a aumentar sua competitividade e isso poderá ser feito através do desenvolvimento de novas rotas tecnológicas, das economias de escalar de produção e de aprendizado resultante da atividade. Essa competitividade também deve ser buscada através da atração de novas empresas estrangeiras para o mercado brasileiro, de modo que aumente a oferta de aerogeradores e reduza os custos de novos investimentos.

O segundo desafio é continuar com a promoção de políticas públicas para promover os investimentos no setor de energia eólica, seja na forma de contratação através de leilões específicos, tarifas *feed in*, subsídios ou desonerações tributárias. A crescente dificuldade de produzir energias hídrica e a necessidade de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, justificam a continuidade das políticas públicas no setor eólico no Brasil.

A modernização dos parques eólicos também é um desafio importante, uma vez que nos anos 1990 a potência média das turbinas eólicas era de 550 KW, nos anos de 2010 a potência média passou para 2,0 MW e as turbinas mais modernas podem chegar até 20 MW de potência, o que permite gerar até dez vezes mais energia. Todavia, a experiência internacional mostra como exemplo que se deve ampliar o mercado interno de aerogeradores, de forma que essa modernização deve ser realizada por aerogeradores nacionais.

Além dessa modernização, deve-se buscar formas de continuar a mudança estrutural e estratégia para o desenvolvimento de uma indústria nacional de equipamentos eólicos. Isto é, o quarto desafio consiste em construir elos de encadeamos não apenas para frente, mas principalmente para trás, de forma que se possa gerar uma maior quantidade de empregos indiretos na economia brasileira. Além disso, o desenvolvimento dessa indústria também deve ter por objetivo reduzir os custos de produção e, portanto, reduzir o custo do MWh gerado nos parques eólicos.

O desenvolvimento dessa indústria nacional é importante para quebrar o oligopólio existente na produção de aerogeradores, no qual as empresas Vestas, GE Wind, Siemens, WEG, Wobben e Nordex Acciona possuem cerca de 70% do mercado. A quebra dessa estrutura de mercado vai contribuir no barateamento dos aerogeradores e, assim, reduzindo o custo do MWh gerado no país. Esse é um desafio difícil, uma vez que o setor de energia eólica se caracteriza por um elevado nível tecnológico, pela contínua inovação e por ser intensivo em P&D, mas que com a criação de políticas públicas eficiente pode ser superado.

O melhoramento do sistema de transmissão da energia gerada nos parques eólicos no Brasil são desafios ainda presentes nos estados produtores. O investimento em linhas de transmissão não tem sido suficiente para escoar a energia produzida, de forma que a produção não é direcionada rapidamente para seus demandantes.

O desenvolvimento de parques *offshores* é outro desafio importante e um passo gigantesco para continuar com o processo de expansão de energia eólica no Brasil. Diante do potencial de 1200 GW e da complexidade desses parques, o Estado deve atuar para garantir segurança as empresas e a sociedade, criando regulamentações, infraestruturas para as linhas de transmissão e portos.

Com o desenvolvimento dos parques offshore, a energia eólica pode ser transformada em hidrogênio, considerado a energia do futuro. Com a guerra entre Rússia e Ucrânia, o interesse por esse combustível aumentou e diversos países estão procurando produzir esse tipo de energia, de modo que o desafio do Brasil é sair na frente e liderar esse processo globalmente, obtendo uma vantagem em relação aos demais países.

Por fim, um último desafio que o setor eólico enfrenta e deve ser uma preocupação constante é o papel da energia eólica no desenvolvimento econômico sustentável. Essas atividades têm gerado efeitos no sentido de reduzir as desigualdades econômicas e sociais no país e principalmente nas comunidades em que são desenvolvidas? A redução de CO<sub>2</sub> é importante, mas é preciso que o desenvolvimento dessa energia limpa impacte positivamente no bem estar da população. Esse é um desafio não apenas para o setor eólico do país, mas também para o governo, o que exige políticas públicas voltadas para esse objetivo.

## **7. Considerações Finais**

A disponibilidade de ventos adequados para a produção de energia eólica no Brasil em relação a outros países, coloca a economia brasileira em posição privilegiada no processo de transição energético em curso no mundo.

Nos últimos dez anos a capacidade instalada no Brasil cresceu de forma relevante e diante da escassez de chuvas nesse período, atuou de forma complementar a energia hidroelétrica. É importante notar, que não fosse essa expansão da energia eólica na última década, o país teria enfrentado problemas sérios para atender a demanda por energia.

Portanto, na última década o setor de energia eólica no país obteve diversos avanços e se espera que em 2026 alcance uma capacidade instalada superior a 33 GW. Para isso, será necessário enfrentar alguns desafios. Assim, o objetivo desse artigo foi de mostrar os principais avanços da energia eólica, assim como enumerar alguns desafios que o setor deve enfrentar nos próximos anos.

O Brasil passou praticamente de uma produção insignificante de energia eólica para o sexto maior produtor de energia no mundo, com cerca de 24 GW de capacidade instalada em janeiro de 2023. Isso contribuiu para diversificar a matriz elétrica, tornando-a mais sustentável e ajudando ao país a amenizar os efeitos negativos decorrentes da ausência de chuvas na última década.

Em 2021 cerca de 36 milhões de residências podia ser abastecidas com a energia eólica, gerando uma redução de 34 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, equivalente a 34 milhões de automóveis de passeio.

No que diz respeito aos indicadores econômicos, o setor eólico contribuiu com aproximadamente 0,5% e 0,8% do PIB no período de 2011 a 2020, gerando mais de 200 mil empregos no país.

No entanto, o setor eólico ainda deve enfrentar diversos desafios para efetivar sua consolidação, tais como reduzir o custo de produção MWh gerados nos parques, desenvolver uma indústria nacional, modernização dos parques eólicos com tecnologia de ponta, explorar as energias do mar através dos parques *offshores*, liderar o processo de produção de hidrogênio verde e transformar o desenvolvimento da energia eólica em desenvolvimento econômico, aumentando o bem estar das pessoas no país.

## 8. Referências

ABEEÓLICA: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/> Acesso em: 28 jan. 2023.

Acheampong, A. (2018). Economic growth, CO2 emissions and energy consumption: What causes what and where? *Energy Economics*, 74, 677–692.

ALVES, J. J. A. Estimativa da Potência, Perspectiva e Sustentabilidade da Energia Eólica no Estado do Ceará. Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Pós-Graduação em Recursos Naturais. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) 163p, 2006.

BLANCO, M. I.; RODRIGUES, G. Direct employment in the wind energy sector: An EU study. *Energy Policy*, v.37, n.8, p.2847-57, ago. 2009.

BORGES, B. (2022). Estimativas dos impactos dinâmicos do setor eólico sobre a economia brasileira. Trabalho preparado para a ABEEólica – fevereiro de 2022.

CAVALCANTI, Clóvis. Meio ambiente, Celso Furtado e o desenvolvimento como falácia. *Ambiente & Sociedade*, 2003, 5: 73-84.

CEPEL. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 2001. Disponível em: . Acesso em: 29 jan. 2023.

DIÓGENES, J. R. F.; CLARO, J.; RODRIGUES, J. C. Barriers to onshore wind farm implementation in Brazil. *Energy Policy*, v. 128, p. 253–266, 2019.

FRANKHAUSER, S. et al. Climate change, innovation and jobs. *Climate Policy*, v.8, n.4, p.421, ago. 2008.

FURTADO, Celso. Foto de uma conversa. Paris: 1991. In: BUARQUE, Cristovam. Entrevista concedida a Cristovam Buarque. São Paulo: Paz e Terra, 2007.

FURTADO, Celso. O mito do desenvolvimento econômico. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2. ed., 1974.

GOLDEMBERG, J. Energia e desenvolvimento sustentável. São Paulo: Blucher, 2010. Série Sustentabilidade.

HOCHSTETLER, K.; KOSTKA, G. Wind and solar power in Brazil and China: interests, state–business relations, and policy outcomes. *Global Environmental Politics*, v. 15, n. 3, p. 74–94, 2015.

JUÁREZ, A. A. et al. Development of the wind power in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.39, p.828-34, 2014.



JUNG, C.; SCHINDLER, D. On the inter-annual variability of wind energy generation – A case study from Germany. *Applied Energy*, v.230, n.15, p.845-54, 2018.

KEYNES, John M. *A Teoria Geral do Emprego, do Juro e da Moeda*. São Paulo, SP: Atlas, 1936.

LEUNG, D. Y. C.; YANG, Y. Wind energy development and its environmental impact: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.16, p.1031-9, 2012.

LOPEZ, R.A. *Energia eólica*. São Paulo: Artliber, 2002. 156p.

LOSEKANN, L.; HALLACK, M. Novas energias renováveis no Brasil: desafios e oportunidades. In: NEGRI, J. A. D.; ARAÚJO, B. C.; BACELETTE, R. (Ed.). *Desafios da Nação: artigos de apoio, volume 2*. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2018. p. 631–655.

LUCENA, J. d. A. Y.; LUCENA, K. Â. A. Wind energy in Brazil: an overview and perspectives under the triple bottom line. *Clean Energy*, v. 3, n. 2, p. 69–84, 2019.

LUCON, O., & Goldemberg, J. (2009). Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 23, n. 65, p. 121-130.

MACEDO, Luziene Dantas de. *Produção de energia elétrica por fonte eólica no Brasil e aspectos de seu impacto na região Nordeste e Rio Grande do Norte*. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico), Unicamp, Campinas, SP, 2015.

MELO, E. Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. *Estudos Avançados*, v. 27, n. 77, p. 125–142, 2013.

MOSZORO, Marian. *The direct employment impact of public investment*. International Monetary Fund, 2021.

OEBELS, K. B.; PACCA, S. Life cycle assessment of an onshore wind farm located at the northeastern coast of Brazil. *Renewable Energy*, v.53, p.60-70, 2013.

OLIVEIRA NETO, C. R. ; APOLINÁRIO, V. ; LIMA, E. C. . Expansão da energia eólica no Rio Grande do Norte: uma interpretação para o desenvolvimento. *REVISTA ELETRÔNICA DOCUMENTO/MONUMENTO* , v. 22, p. 294-306, 2018.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. *Estudos avançados*, v. 26, p. 65-92, 2012.

SACHS, I. A revolução energética do século XX. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 21-38, 2007.

SEN, Amartya Kumar. *Desenvolvimento como Liberdade*. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

SEN, Amartya Kumar. The Concept of Development. In: Chenery, H., Srinivasan, T. H. (Eds.). *Handbook of Development Economics*, Vol. 1, pp. 10-26. Amsterdam: North-Holland, 1998.

SHAMSHIRBAND, S. et al. Wind turbine power coefficient estimation by soft computing methodologies: Comparative study. *Energy Conversion and Management*, v.81, p.520-6, 2014.

SILMAS, M.; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. *Estudos Avançados*, v.27, n.77, p.99-115, 2013.

VOGEL, E. E. et al. A novel method to optimize electricity generation from wind energy. *Renewable Energy*, v.126, p.724-35, 2018.

ZERRIFFI, H.; WILSON, E. Leapfrogging over development? Promoting rural renewables for climate change mitigation. *Energy Policy*, v.38, n.4, p.1689-700, abr. 2010.