

Energia eólica no Brasil

Avanços e desafios

Wind energy in Brazil
Advances and challenges

JOSÉ ALDERIR SILVA*

► DOI: <https://doi.org/10.4322/principios.2675-6609.2023.167.010>

Depositphotos



RESUMO

A energia eólica no Brasil passou por um período de lento crescimento, mas nos últimos dez anos ocorreram significativos avanços que tornaram o país o sexto maior produtor de energia eólica no mundo. O desenvolvimento 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 sua consolidação deve enfrentar alguns desafios. Nesse processo, as políticas públicas são fundamentais. Em vista disso, 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 made the country 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. 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 em que o ser humano entendeu que a produção era a forma de superar a escassez, a energia se tornou o insumo essencial. 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 e gás, e a energia nuclear. Por outro lado, a exploração das fontes renováveis foi deixada em segundo plano.

Não obstante, esse processo começa a mudar com a crise do petróleo na década de 1970, o que acendeu um alerta nos países para buscarem outras fontes energéticas com o propósito de ter uma maior segurança no fornecimento de energia (LUCON; 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 e, 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 põe em dúvida o progresso da modernidade.

Com efeito, em 1997 diversos países assinam o protocolo de Kyoto, e nos anos 2000 se intensifica a busca por energias limpas, renováveis, seguras e sustentáveis. Entre as fontes de energia renovável, a energia eólica tem assumido a ponta e se consolidado como uma das fontes mais promissoras 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, a instalação do primeiro aerogerador foi no arquipélago de Fernando de Noronha no ano de 1992, resultando de uma parceria entre o Centro Brasileiro de Energia

Em 1997 diversos países assinam o protocolo de Kyoto, e nos anos 2000 se intensifica a busca por energias limpas, renováveis, seguras e sustentáveis. Entre as fontes de energia renovável, a energia eólica tem assumido a ponta e se consolidado como uma das fontes mais promissoras de produção de energia em larga escala

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 às necessidades das futuras gerações

Eólica (CBEE) e a Companhia Energética de Pernambuco (Celpe). Esse aerogerador gerava apenas 1 MW. A ausência de políticas públicas, combinada com o elevado custo da tecnologia, deixou o setor eólico no Brasil inerte por uma década.

A crise energética de 2001, com diversos apagões, deu o impulso de que o setor público precisava para iniciar as tentativas de contratação de empreendimentos para geração de energia eólica no país. Primeiro com 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, denominados de leilões de energia de reserva (LERs).

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% tiveram origem nos ventos.

Entretanto, a motivação do Brasil para explorar a energia dos ventos é distinta da dos 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 às questões geográficas, legais e ambientais, esse tipo de energia tem enfrentado restrições para se expandir, havendo espaço para a promoção de outras fontes renováveis de energia, como a eólica.

Os 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, e o desenvolvimento desse tipo de energia se torna complementar e estratégico para o setor elétrico do país.

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 precisa 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 próxima seção faz uma breve revisão sobre o conceito de desenvolvimento sustentável, destacando a importância da energia eólica. A seção 3 destaca as questões técnicas do setor em estudo. A quarta seção busca pôr em evidência as principais políticas públicas voltadas para as energias renováveis no Brasil. Os avanços obtidos e os desafios a se-



No Brasil, a instalação do primeiro aerogerador foi no arquipélago de Fernando de Noronha no ano de 1992

rem enfrentados para a expansão e o melhor aproveitamento 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, que deu início à Revolução Industrial, no 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. Esse aumento da demanda teve como consequência uma crescente utilização de recursos naturais não renováveis e, portanto, uma maior degradação do meio ambiente.

O problema desse avanço tecnológico é que ele ocorre de forma desigual entre os países, de modo que crescimento econômico e desenvolvimento econômico nem sempre são simultâneos em todos eles. O entendimento era que o crescimento econômico ocorreu em muitos países, mas nem todos tiveram sua estrutura produtiva transformada.

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

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

Nos anos 2000 as discussões entendiam o desenvolvimento econômico como garantia de liberdade a todas as pessoas, no que dizia respeito às 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) instrução; e (iii) nível de vida adequado.

Desse debate, foi construído o 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) renda, determinada pela renda nacional bruta *per capita*. A partir desse índice, qualquer país, região ou município podem ser analisados considerando-se as três premissas básicas definidas por 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, uma vez que o aumento do consumo vai pressionar ainda mais a exploração dos recursos naturais, sobretudo os não renováveis, gerando impactos ambientais e processos irreversíveis de degradação do mundo físico¹. Ainda de acordo com o autor, essa tentativa de universalização do desenvolvimento econômico poria em risco as possibilidades de sobrevivência da própria espécie humana, gerando a ameaça do que ele chamou de “profecia do colapso”.

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, é na verdade um mito, uma fantasia.

Diante disso, o autor defende a visão de que a universalização do desenvolvimento econômico para todas as regiões deveria ser mais igualitária, orientada para formas coletivas de consumo, 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 às necessidades das futuras gerações². Desse modo, fica evidente que o desenvolvimento sustentável não está relacionado apenas com a economia, mas também com o meio ambiente. Nesse sentido, as energias renováveis têm um papel importante.

Furtado (1974) diz que a teoria econômica clássica não considerava em seus modelos³ a possibilidade de que o processo de produção e consumo reduzisse a capacidade energética do planeta e aumentasse o valor das fontes alternativas de energia. Alves (2006) mostra que, além da questão ambiental, o desenvolvimento das fontes de energia renovável é fundamental 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 energias 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, por via de regra, as usinas de energia eólica são menores e mais dispersas em relação às usinas tradicionais, o que leva sua instalação para zonas rurais de

1 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.

2 Vide Romeiro (2012) para uma discussão acerca do conceito de desenvolvimento sustentável.

3 Essa era uma verdade na década de 1970, atualmente há modelos que tentam mostrar o impacto do crescimento sobre o meio ambiente, vide Acheampong (2018).



Pintura de D. O. Hill representando cena da Revolução Industrial, no final do século XVIII

baixa densidade demográfica, em cidades nas quais a dinâmica da economia em grande parte ocorre em torno de transferência direta de renda por parte 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 significativo impacto sobre a dinâmica econômica, principalmente no período de construção. Keynes (1936) disse que o desemprego poderia desaparecer se o governo enchesse garrafas usadas com dinheiro e as enterrasse para a iniciativa privada desenterrá-las, logicamente por meio de concessão dos terrenos onde estariam enterradas tais garrafas. Com o transbordamento para outras atividades, haveria a criação de diversos tipos de emprego e a renda da comunidade passaria a ser 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, eletricitas, seguranças, cozinheiros etc.). Desse modo, o aumento de pessoas envolvidas 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 gera efeitos permanentes para a comunidade, como: (i) possibilidade de desenvolvimento da indústria de equipamentos para consumo interno; (ii) redução do desemprego através da criação de empregos de operação e manutenção; (iii) redução da taxa de migração da população; (iv) oportunidade de investimento da renda gerada pelo aluguel da terra em outras atividades, como o desenvolvimento da agricultura, proporcionando também a facilitação de crédito; (v) possibilidade de investimentos em infraestrutura; e (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



Maior parque eólico da América do Sul, o complexo Lagoa dos Ventos, no Piauí, iniciou suas operações comerciais em 2021

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 à universalização do desenvolvimento econômico, o autor mostra, já em uma versão mais avançada do seu pensamento (FURTADO, 2007), 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 ser humano é intrínseca à história da energia, sendo esta 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 produz as energias química, eólica e mecânica, entre outras, que, juntas, determinam a matriz energética de um país conforme a sua disponibilidade no território.

Essas fontes de energia podem ser divididas em renováveis e não renováveis, sendo que estas últimas são obtidas de fontes esgotáveis no curto ou longo prazo e provocam inúmeros prejuízos ao meio ambiente. Petróleo, carvão e gás natural são exemplos desse tipo de energia. Por outro lado, as fontes de energia renováveis são pouco nocivas no que concerne à geração de gases do efeito estufa, gerando inúmeros benefícios para 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 limpa⁴, 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, em 200 a.C., sendo estes depois aplicados em outras atividades, como serragem, prensagem de grãos e fabricação de papel. Atualmente, o uso da energia dos ventos tem como principal finalidade transformar a energia eólica em energia elétrica por meio de aerogeradores, contribuindo para o desenvolvimento sustentável de diversas economias no mundo.

Essa energia eólica é produzida em parques, ou seja, por um aglomerado de aerogeradores (geralmente um número maior que cinco) instalados em uma área, que produzem energia elétrica em uma usina e, ligados a uma rede de transmissão de energia, a injetam no sistema⁵. 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 em áreas marítimas inexistem barreiras. Encontra-se na Inglaterra o maior parque *offshore* do mundo, o Hornsea II, com 165 torres instaladas e capacidade de produzir energia para mais de 1,3 milhão de residências, cerca de 1,3 GW. No Brasil ainda não há nenhum parque *offshore*, mas existem projetos para explorar o potencial dos ventos nos mares do país, que é superior a 500 GW (BORGES, 2022).

Já os parques eólicos *onshore* são formados por aerogeradores instalados 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, produzido por 372 aerogeradores, sendo também o maior em operação na América do Sul.

Além do seu 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 terem 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 melhores condições de transporte e 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 à maior demanda por eletricidade, seja para mitigar os efeitos da emissão de CO₂.

Todavia, o princípio da livre concorrência defendido pela teoria econômica clássica se torna insuficiente como diretriz de política econômica para o setor, uma vez que o custo inicial elevado e o incipiente 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

⁴ De acordo com Oebels e Pacca (2013), a energia eólica contribui significativamente para a redução das emissões 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 evitáveis e menos graves do que os de outras fontes de energia.

⁵ Em Shamshirband et al. (2014) há uma descrição mais técnica e mecânica do processo de transformação dos ventos em energia elétrica.

falha de mercado e do potencial de energia eólica no país, há a necessidade de incentivos econômicos e regulatórios por via da atuação estatal.

Segundo o *Atlas do potencial eólico brasileiro*, o potencial de energia eólica *onshore* no Brasil é de 143 GW, mas esse total pode ser maior, uma vez que o estudo da época considerou como equivalente a 50 metros a altura de um gerador. Atualmente, os autogeradores têm 80 ou 100 metros de altura, além de as máquinas serem mais eficientes, pelo que se estima que em terra o potencial de energia eólica no Brasil seja superior a 700 GW (BORGES, 2022). 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 mediante uma ação amenizadora de curto prazo para enfrentar a crise do período. Assim, a promoção da 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 Elétrica (GCE) (MACEDO, 2015; SILMAS; PACCA, 2013).

Diante, principalmente, da falta de insumos específicos necessários para a produção da energia eólica, nenhuma usina entrou em operação, mas facilitou-se 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 das pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), da energia eólica e da biomassa na matriz energética brasileira, cuja meta foi de 3,3 MW, divididos igualmente entre as três fontes. Comparativamente ao 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 foi 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), também responsável pelo planejamento e financiamento de cada fonte de energia beneficiada pelo programa. A Eletrobras garantiu a compra da energia com preço subsidiado por 20 anos⁶, e o BNDES garantiu o financiamento com a obrigatoriedade de internalizar a produção dos insumos dos segmentos, criando um índice de nacionalização com a 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 no país (MELO, 2013).

⁶ Essa compra ocorreu através da tarifa *feed-in*, pela qual 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 de investimento no setor eólico.



Em 2021, a matriz elétrica mundial foi formada, principalmente, por combustíveis fósseis como carvão mineral e gás natural

Segundo Silmas e Pacca (2013), o Proinfa reduziu o risco do investimento criando instrumentos que estimularam a geração de tecnologias até então inéditas no Brasil. Para Hochstetler e Kostka (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 brasileira. Conforme 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, Castro et al. (2010), mostram que o programa teve algumas dificuldades, entre as principais, a insuficiência da oferta de aerogeradores, exigências de grau de nacionalização, dificuldade de financiamento, comportamento especulativo de alguns agentes e dificuldades de conexão à rede em 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 à segunda fase do Proinfa, que deveria ser encerrada em 2010, mas foi estendida até 2011 no intuito de alcançar as metas estabelecidas mas não atingidas no prazo original.

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) valoração das características e potencialidades regionais e locais; (iv) criação de empregos, capacitação e formação de mão de obra; e (v) redução da 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 pelo menor preço leva a concessão. Isto é, diferentemente de um leilão tradicional, em que quem dá mais 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 às demais fontes tradicionais. Até 2021, cerca de 20GW de potência foram contratados através dos leilões⁷.

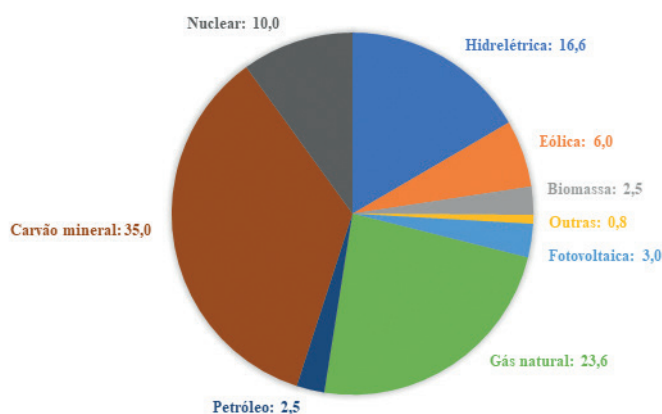
Com o objetivo de obter uma matriz energética mais limpa e amenizar os problemas energéticos do país, diversas políticas públicas foram e estão sendo implementadas, permitindo a expansão dos parques eólicos no Brasil, cuja energia tem contribuído para que a economia brasileira venha a apresentar um crescimento 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 matriz elétrica de um país é formada por um conjunto de fontes disponíveis em seu território, que são utilizadas para captar e distribuir energia 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 Castro et al. (2010), o Brasil possui uma matriz elétrica única e privilegiada em relação à 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 têm ainda pequena participação na matriz elétrica mundial (gráfico1), com a energia eólica obtendo uma representatividade de 6%.

Gráfico 1 — Participação das fontes de energia na matriz elétrica mundial (em %) — 2021



Fonte: EPE (s.d.).

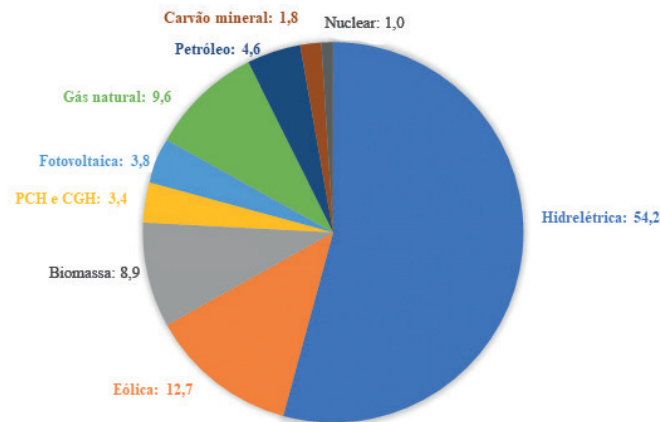
No entanto, ocorreu uma redução significativa da participação do petróleo, que em 1973 era superior a 40%, bem como o aumento da fração referente ao gás natural, que, apesar de ser um combustível fóssil, tem uso considerado aceitável durante a transição para uma matriz elétrica mais limpa (SACHS, 2007). Essa transição deve ser acelerada, tendo em vista que a guerra entre a Ucrânia e a Rússia pôs em foco as implicações da

⁷ Vide Losekann e Hallack (2018) e Diógenes, Claro e Rodrigues (2019) para uma análise dos leilões de energia eólica no Brasil.

dependência de importações de energia não renovável 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 dois terços de toda a matriz elétrica do país (gráfico 2). Segundo Castro et al. (2010), essa composição matricial garante a produção e oferta de uma energia limpa, renovável e competitiva.

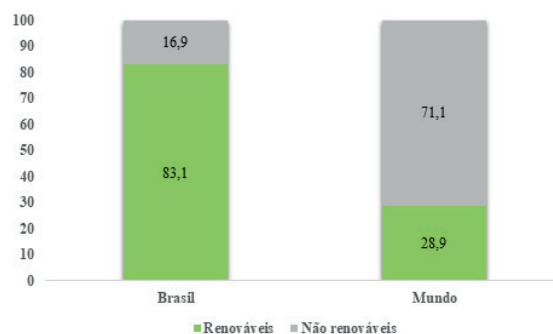
Gráfico 2 — Participação das fontes de energia na matriz elétrica brasileira (em %) — 2021



Fonte: EPE (s.d.).

Como pode ser visto no gráfico 3, mais de 70% da matriz elétrica mundial é baseada em fontes não renováveis, sendo apenas cerca de 29% derivados de fontes renováveis. Por outro lado, a matriz elétrica brasileira apresenta uma composição inversa, sendo mais de 80% compostos por energias renováveis. Essa mudança na composição da matriz elétrica brasileira é importante para o país, uma vez que, além do menor custo de operação, as energias renováveis emitem uma quantidade menor de gases de efeito estufa.

Gráfico 3 — Participação das fontes de energia renováveis e não renováveis nas matrizes elétricas brasileira e mundial (em %) — 2021

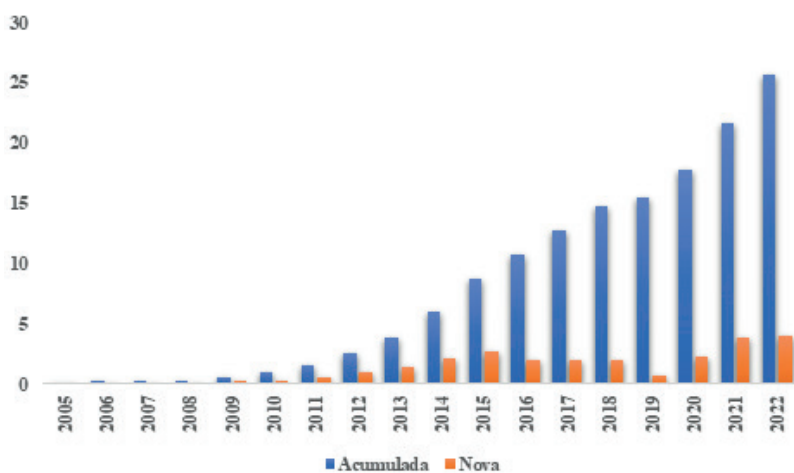


Fonte: elaboração própria a partir de dados do EPE (s.d.).

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 aumentem 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 têm limitado a produção de energia por essa fonte. Diante disso, Oliveira Neto, *Apolinário e Lima* (2018) argumentam que as hidrelétricas causam profundos impactos ambientais, e destacam a energia eólica como alternativa.

Assim, a matriz elétrica brasileira se encontra em fase de transição⁸ para um novo padrão de produção de energia, exigindo a inserção de outras fontes renováveis para operar 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 no gráfico 4.

Gráfico 4 — Evolução da capacidade instalada, nova e acumulada, de produção de energia eólica no Brasil (em milhares de MW) — 2005-2022



Fonte: elaboração própria a partir de dados da ABEEólica (2023).

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 haviam sido acumulados nos últimos três anos. A expansão da energia eólica no país foi importante para aliviar os problemas de suprimento de eletricidade na 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 provocada em parte pelo desmatamento da floresta Amazônica, que afeta o regime de chuvas na região centro-sul do Brasil.

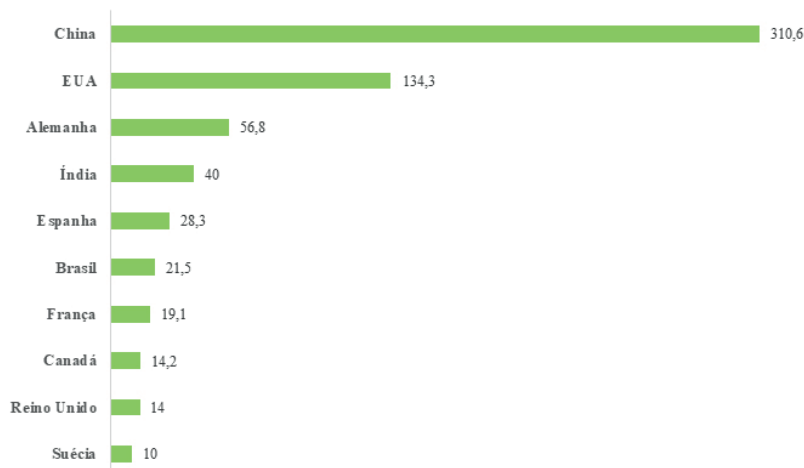
⁸ Em 2000, a participação da energia hídrica no Brasil era de 91,11%, passou para 88,61% em 2008, 66,2% em 2016 e em 2022 era de 54,2%, o que mostra a evolução dessa transição matricial no país.

Esse crescimento da energia eólica no Brasil se deve a políticas públicas como o Proinfa e os leilões, que reduziram o risco do setor e permitiram a expansão dos investimentos, principalmente a partir de 2011, quando houve um investimento de quase R\$ 5 bilhões, gerando uma capacidade nova de 596 MW naquele ano. Em 2015, o investimento foi de R\$ 5,1 bilhões e a capacidade nova gerada foi de 2,7 GW. Da mesma forma ocorreu em 2021, em que um investimento similar resultou em 3,8 GW de capacidade instalada nova⁹.

A garantia de compra da energia gerada, combinada com a expansão dos investimentos, permitiu o surgimento de uma indústria de equipamentos relacionados ao setor eólico, portanto acelerando a produção de energia nos últimos anos. Toda uma cadeia de produção foi se estabelecendo no país, e empresas como Wobben, Impsa, Gamesa Siemens, Vestas, Acciona, Suzlon, Tecsis, Brasilat e Intecnial, dentre outras, passaram a produzir desde torres e aerogeradores até rolamentos e vedações. Dessa forma, superou-se o objetivo estipulado pelo índice de nacionalização, pois o país passou a produzir internamente 80% dos componentes dos aerogeradores.

Com efeito, em 2021 o Brasil passou a ser o sexto maior produtor de energia eólica no mundo *onshore* (gráfico 5), ficando atrás de China (310,6 GW), EUA (134,3 GW), Alemanha (56,8 GW), Índia (40 GW) e Espanha (28,3 GW). O Global Wind Energy Council (GWEC) elabora um *ranking* especificamente para as novas capacidades instaladas anualmente, 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 da capacidade instalada do país para os próximos anos.

Gráfico 5 — *Ranking* mundial de capacidade instalada *onshore* (em milhares de MW) — 2021



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

Em termos geográficos, a produção de energia eólica no Brasil se concentra nos estados da região Nordeste, dado que, dos 12 estados produtores de energia eólica, 8 são nordestinos. Esses estados produziram cerca de 19.500 MW em 2021, ou seja, mais de 90%

⁹ Em 2022 ocorreu a definição de uma regulamentação para os parques eólicos *offshore* no Brasil, o que certamente vai aumentar de forma significativa a capacidade instalada do país nos próximos anos, dado o seu potencial de 1.200 GW.

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, à frente do Rio Grande do Norte, com 6.855 MW, do Piauí, com 3.428 MW, e do Ceará, com 2.568 MW.

Tabela 1 — Indicadores de energia eólica no Brasil, por unidade da Federação — janeiro de 2023

Estados	MW	Representatividade	Fator de capacidade	Número de parques
BA	7.006,87	29	47,7	258
RN	6.855,03	28,4	45,2	225
PI	3.428,25	14,2	46	105
CE	2.568,34	10,6	39,9	98
RS	1.835,89	7,6	35,65	80
PE	1.025,77	4,3	43,6	39
PB	672,44	2,8	37,34	31
MA	426	1,8	47,33	15
SC	242,7	1	27,29	15
SE	34,5	0,1	22,44	1
RJ	28,05	0,1	22,8	1
PR	2,5	0	14,99	1
Brasil	24.126,30	100	43,6	869

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABEEólica (2023).

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

O Nordeste é favorecido com a intensidade e constância dos ventos alísios¹⁰, os mais ricos para a produção de energia, o que torna a região o destino de grandes investimentos em energia eólica, de forma que a cada 10 parques eólicos erguidos no país, 8 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 energia produzida e a capacidade total de produção em um determinado período de tempo, ou seja, o 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 do que está sendo efetivamente gerada.

Os estados da Bahia, Maranhão, Rio Grande do Norte e Piauí são os que apresentaram os maiores percentuais de energia produzida em relação ao seu potencial. Isso se deve,

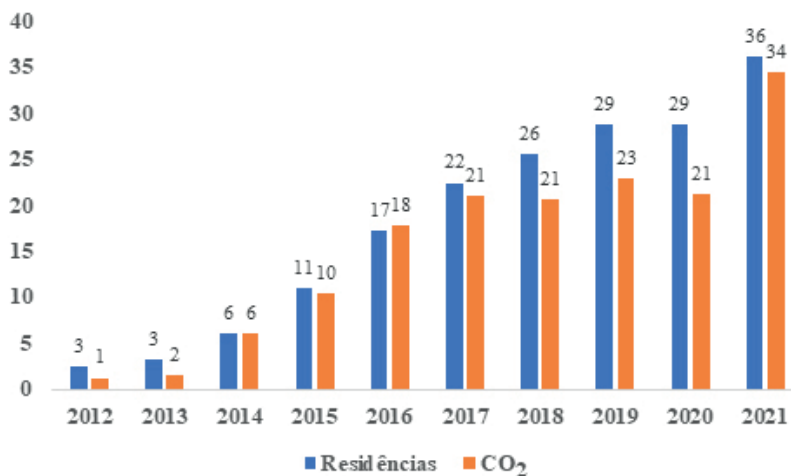
10 São ventos que se apresentam constantes e úmidos e ocorrem nas zonas subtropicais em baixas altitudes.

A experiência internacional mostra que se deve ampliar o mercado interno de aerogeradores, de forma que essa modernização deve ser realizada por aerogeradores nacionais

segundo Lira et al. (2014), à combinação de ventos do leste com brisas marítimas e terrestres, que aumenta a média de velocidade do vento nesses estados, portanto aumentando a produção de energia eólica.

Essa energia gerada nos estados brasileiros tem a capacidade de abastecer milhões de residências no país, que passaram de 2,5 milhões em 2012 para mais de 36 milhões em 2021. O gráfico 6 mostra ainda a quantidade de emissões de CO₂ evitadas de 2012 a 2021. Neste último ano, o emprego de energia eólica evitou o lançamento de cerca de 34 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera, o que equivale à quantidade de gás emitida por 34 milhões de automóveis de passeio. Para avaliar a significância dessa redução na emissão de gases de efeito estufa, vale lembrar, para efeito de comparação, que a cidade de São Paulo tem uma frota de 19 milhões de automóveis.

Gráfico 6 — Total de residências abastecidas por energia eólica (em milhões) e toneladas de CO₂ evitadas (em milhões) — 2012-2021



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABEEólica (2023).

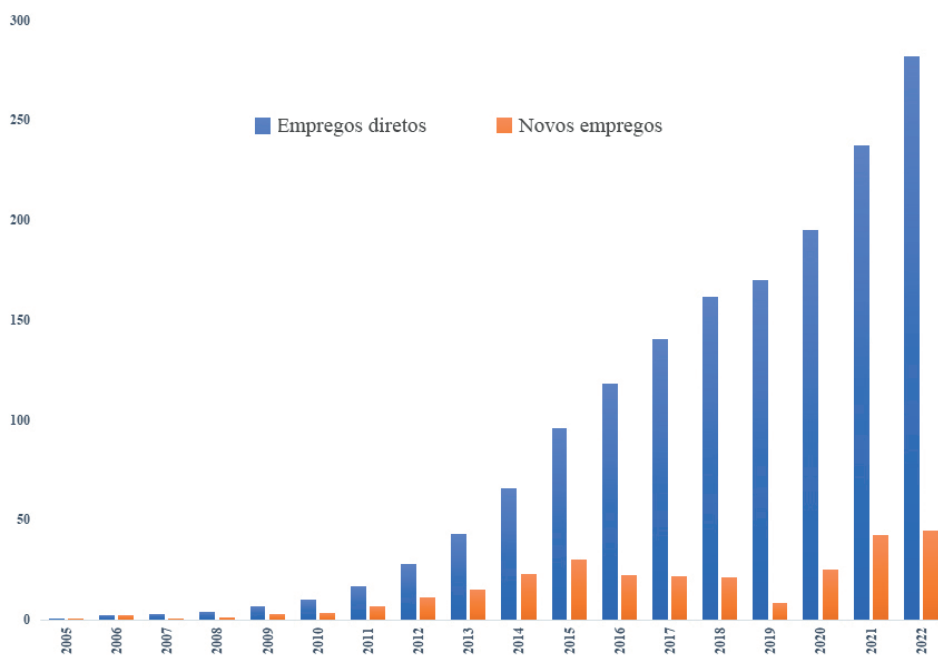
No que diz respeito aos impactos da produção de energia eólica sobre a economia, segundo Borges (2022), eles podem ser de três tipos: (i) diretos, que correspondem à fase de construção dos parques e à fase de operação e manutenção. A primeira fase tem efeitos temporários, enquanto a segunda fase se caracteriza por efeitos permanentes sobre a econo-

mia; (ii) indiretos, associados aos fornecedores de bens e serviços para o setor eólico; e (iii) induzidos, que são os efeitos econômicos do pagamento de salários e lucros pelas empresas eólicas, os quais se transformam em consumo e investimentos em outros setores.

Estimativas do mesmo estudo mostram que, considerando os efeitos diretos, indiretos e induzidos, cada real aplicado em novos investimentos gera R\$ 2,9 no PIB após cerca de 1 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 em 2015 e 2020.

Em termos de emprego, considerando a estimativa da ABEEólica, segundo a qual cada MW instalado gera 10,7 empregos (4,4 diretos e 6,3 indiretos), pode-se estimar a quantidade de empregos total e criada a cada ano. Os valores dessa estimativa se encontram no gráfico 7. Como visto, em 2022 foram criados mais de 43 mil novos empregos no setor eólico, alcançando-se 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 empregos e renda na economia.

Gráfico 7 — Empregos diretos e novos empregos no Brasil (em mil)
— 2005-2022



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABEEólica (2023).

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



Conferência da ONU sobre mudanças climáticas em Kyoto, Japão, dezembro de 1997. O evento formulou o protocolo de Kyoto, primeiro tratado internacional para controle da emissão de gases de efeito estufa

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 a redução nos custos, o setor eólico ainda precisa superar uma série de desafios para que 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 ao das fontes convencionais de energias. No entanto, como essa diferença de custo já foi maior, a energia eólica tem se tornando cada vez mais competitiva ante as demais fontes de energias.

Portanto, o principal obstáculo à 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 cuja superação permitirá 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.

O primeiro desafio para o setor eólico no Brasil é o de continuar a aumentar sua competitividade, e isso poderá ser feito através do desenvolvimento de novas rotas tecnológicas, das economias de escala de produção e do 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 reduzam-se os custos de novos investimentos.

O segundo desafio é continuar com a promoção de políticas públicas para fomentar os investimentos no setor de energia eólica, seja na forma de contratação através de leilões específicos, seja por tarifas *feed in*, subsídios ou desonerações tributárias. A crescente dificuldade de produzir energia hídrica e a necessidade de reduzir as emissões de CO₂ justificam a continuidade das políticas públicas no setor eólico no Brasil.

A redução de CO₂ 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

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 2010 a potência média passou para 2 MW, e as turbinas mais modernas podem chegar até 20 MW de potência, o que permite gerar até 10 vezes mais energia. Todavia, a experiência internacional mostra que se deve ampliar o mercado interno de aerogeradores, de forma que essa modernização deve ser realizada por aerogeradores nacionais.

Além dessa modernização, devem-se buscar formas de continuar a mudança estrutural e estratégica para o desenvolvimento de uma indústria nacional de equipamentos eólicos. Assim, o quarto desafio consiste em construir cadeias produtivas não apenas para a 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 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, devido ao qual as empresas Vestas, GE Wind, Siemens, WEG, Wobben e Nordex Acciona dominam cerca de 70% do mercado. A quebra dessa estrutura de mercado vai contribuir para o barateamento dos aerogeradores e, assim, reduzir 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 eficientes, pode ser superado.

O melhoramento do sistema de transmissão da energia gerada nos parques eólicos no Brasil é um desafio ainda presente 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 *offshore* é outro desafio importante e um passo gigantesco para continuar com o processo de expansão de energia eólica no Brasil. Diante do potencial nacional de 1.200 GW e da complexidade desses parques, o Estado deve atuar para garantir segurança às empresas e à sociedade, criando regulamentações, infraestrutura 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



O Brasil passou de uma produção de energia eólica praticamente insignificante para a sexta maior do mundo, com cerca de 24 GW de capacidade instalada em janeiro de 2023

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.

Um último desafio que o setor eólico enfrenta e deve ser uma preocupação constante diz respeito ao papel da energia eólica no desenvolvimento econômico sustentável. As atividades relacionadas a esse setor 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 CO₂ 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 situa a economia brasileira em posição privilegiada no processo de transição energética em curso no mundo.

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

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. O objetivo deste artigo foi mostrar os principais avanços da energia eólica, assim como enumerar alguns desafios que o setor deve enfrentar nos próximos anos.

O Brasil passou de uma produção de energia eólica praticamente insignificante para a sexta maior do 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 o país a amenizar os efeitos negativos decorrentes da ausência de chuvas na última década.

Em 2021, cerca de 36 milhões de residências podiam ser abastecidas com energia eólica, gerando uma redução de 34 milhões de toneladas na emissão de CO₂, quantidade equivalente à produzida por 34 milhões de automóveis de passeio.

No que diz respeito aos indicadores econômicos, o setor eólico contribuiu com aproximadamente 0,5% a 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 dos MWh gerados nos parques, desenvolver uma indústria nacional, modernizar os parques eólicos com tecnologia de ponta, explorar as energias do mar através dos parques *offshore*, 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.

* Doutor em Economia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), bacharel e mestre em Economia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professor na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Ufersa). Pesquisador no campo de Economia Regional, Economia Internacional, Macroeconomia e Metodologia Econômica. Líder do grupo de pesquisas "Laboratório em Economia da Transição Energética". E-mail: jose.silva@ufersa.edu.br

► Texto recebido em 26 de fevereiro de 2023; aprovado em 11 de março de 2023.

- ABEEÓLICA. **Energia eólica**: os bons ventos do Brasil. São Paulo: ABBEólica, 2023. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br>>. Acesso em: 28 jan. 2023.
- ACHEAMPONG, Alex O. Economic growth, CO₂ emissions and energy consumption: what causes what and where?. **Energy Economics**, v. 74, p. 677-692, 2018.
- ALVES, José A. **Estimativa da potência, perspectiva e sustentabilidade da energia eólica no estado do Ceará**. 2006. 163 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) — Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.
- BLANCO, Maria I.; RODRIGUES, Glória. Direct employment in the wind energy sector: an EU study. **Energy Policy**, v. 37, n. 8, p. 2847-57, ago. 2009.
- BORGES, Braúlio. **Estimativas dos impactos dinâmicos do setor eólico sobre a economia brasileira**. São Paulo: ABBEólica, fev. 2022. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/02/Estudo-Braulio_final.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2023.
- CASTRO, Nivalde J. et al. **Perspectivas para a energia eólica no Brasil**. Rio de Janeiro: Gesel-UFRJ; Instituto de Economia-UFRJ, mar. 2010. (Texto de Discussão do Setor Elétrico, n. 18.)
- CAVALCANTI, Clóvis. Meio ambiente, Celso Furtado e o desenvolvimento como falácia. **Ambiente & Sociedade**, v. 5, p. 73-84, 2003.
- CEPEL. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília, 2001. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2023.
- DIÓGENES, Jamil R. F.; CLARO, João; RODRIGUES, José C. Barriers to onshore wind farm implementation in Brazil. **Energy Policy**, v. 128, p. 253-266, 2019.
- EPE. **Matriz energética e elétrica**. Brasília, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 20 jan. 2023.
- FRANKHAUSER, Samuel et al. Climate change, innovation and jobs. **Climate Policy**, v. 8, n. 4, p. 421, ago. 2008.
- FURTADO, Celso. **O mito do desenvolvimento econômico**. 2. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1974.
- _____. Foto de uma conversa. Paris: 1991. In: BUARQUE, Cristovam. **Entrevista concedida a Cristovam Buarque**. São Paulo: Paz e Terra, 2007.
- GOLDEMBERG, José. **Energia e desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Blucher, 2010. (Série Sustentabilidade.)
- GWEC. **Renewable energy and jobs: annual review 2022**. Abu Dhabi: Irena, 2022. Disponível em: <www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/publication/wcms_856649.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2023.
- 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, p. 74-94, 2015.
- JUÁREZ, Alberto A. et al. Development of the wind power in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 828-834, 2014.
- JUNG, Christopher; SCHINDLER, Dirk. On the inter-annual variability of wind energy generation: a case study from Germany. **Applied Energy**, v. 230, n. 15, p. 845-854, 2018.
- KEYNES, John M. **A teoria geral do emprego, do juro e da moeda**. São Paulo: Atlas, 1936.
- LEUNG, Dennis Y. C.; YANG, Yuan. Wind energy development and its environmental impact: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 1031-1039, 2012.
- LOPEZ, Ricardo A. **Energia eólica**. São Paulo: Artliber, 2002.
- LOSEKANN, Luciano; HALLACK, Michelle. Novas energias renováveis no Brasil: desafios e oportunidades. In: NEGRI, João Alberto de; ARAÚJO, Bruno César; BACELETTE, Ricardo (Ed.). **Desafios da nação**: artigos de apoio. Brasília: Ipea, 2018. v. 2, p. 631-655.
- LUCENA, Juliana A. Y.; LUCENA, Klayton A. 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, Oswaldo; GOLDEMBERG, José. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 23, n. 65, p. 121-130, 2009.

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) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

MELO, Elbia. 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, Kerstin B.; PACCA, Sergio. 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, Calisto R.; APOLINÁRIO, Valdenia; LIMA, Elaine 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, n. 74, p. 65-92, 2012.

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

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

_____. The concept of development. In: CHENERY, Hollis; SRINIVASAN, T. N. (Ed.). **Handbook of development economics**. Amsterdam: North-Holland, 1998. v. 1, p. 10-26.

SHAMSHIRBAND, Shahaboddin et al. Wind turbine power coefficient estimation by soft computing methodologies: comparative study. **Energy Conversion and Management**, v. 81, p. 520-526, 2014.

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

VOGEL, Eugenio et al. A novel method to optimize electricity generation from wind energy. **Renewable Energy**, v. 126, p. 724-735, 2018.

ZERRIFFI, Hisham; WILSON, Elizabeth. Leapfrogging over development?: promoting rural renewables for climate change mitigation. **Energy Policy**, v. 38, n. 4, p. 1689-1700, abr. 2010.