



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

TIAGO ALBUQUERQUE MAIA

**ANÁLISE DA INSERÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NA MATRIZ ELÉTRICA
BRASILEIRA**

FORTALEZA

2017

TIAGO ALBUQUERQUE MAIA

ANÁLISE DA INSERÇÃO DE ENERGIA EÓLICA DE GRANDE PORTE NA MATRIZ
ELÉTRICA BRASILEIRA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Energias Renováveis do Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Energias Renováveis.

Orientador: Profa. Dra. Carla Freitas de Andrade.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M188a Maia, Tiago Albuquerque.

Análise da inserção de energia eólica na matriz elétrica brasileira / Tiago Albuquerque Maia. – 2017.
49 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Carla Freitas de Andrade.

1. Energia eólica. 2. Matriz elétrica. I. Título.

CDD 621.042

TIAGO ALBUQUERQUE MAIA

ANÁLISE DA INSERÇÃO DE ENERGIA EÓLICA DE GRANDE PORTE NA MATRIZ
ELÉTRICA BRASILEIRA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Energias Renováveis do Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Energias Renováveis.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Carla Freitas de Andrade (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Claus Franz Wehmann
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Ana Fabiola Leite Almeida
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Alexandra Elbakyan.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Dra. Carla Freitas, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Ana Fabíola e Claus Franz pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas de curso, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

À minha família pelo apoio e suporte nas horas mais necessárias e minha namorada pelos conselhos valiosos.

“I don't think transitioning to 100% renewable clean energy by 2030 is ridiculous. I think wars for oil and killing our planet are.” (Jill Stein)

RESUMO

O aumento crescente da participação de energia eólica na geração elétrica mundial se apresenta como resposta aos acordos internacionais que visam à ampliação da contribuição de fontes renováveis como forma de combate às mudanças climáticas. O Brasil, em especial, tem cumprido um papel significativo quando se trata da instalação de novos parques eólicos, principalmente devido ao seu potencial e a políticas de incentivo às fontes alternativas. De toda forma, esse tema traz consigo uma série de consolos e inquietações. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta os aspectos da inserção em larga escala dessa fonte renovável, fazendo uma revisão da produção científica nacional e internacional mais recente relacionada a essa questão. A energia eólica ambiciona se consolidar, definitivamente, como alternativa viável à geração hidrotérmica predominante no Brasil, porém, seu caráter intermitente preocupa quanto à segurança no abastecimento e suprimento da demanda. Pode-se afirmar que os ganhos econômicos, tecnológicos e climáticos são relevantes e se apresentam como fatores estimulantes para o desenvolvimento do país, os impactos socioambientais que surgem devido à sua implantação não devem ser negligenciados e devem ser atendidos de forma participativa e democrática. Ademais, a indústria eólica pode sofrer uma retração em virtude do momento econômico negativo pelo qual passa o país, entretanto por meio da vontade política, planejamento energético adequado e da colaboração pública, é possível criar um ambiente favorável para os fornecedores e fabricantes nacionais, estimular a criação de empregos, proporcionar fornecimento seguro de energia elétrica e promover justiça socioambiental.

Palavras-chave: Energia Eólica. Matriz elétrica.

ABSTRACT

The growth in the share of wind power in the world's electricity generation is presented as a response to international agreements aimed at increasing the contribution of renewable sources as a way of combating climate change. Brazil, in particular, has played a significant role in the installation of new wind farms, mainly due to its potential and policies to encourage alternative sources. Anyway, this theme brings with it a series of consolations and restlessness. In this sense, the present work presents the aspects of the large-scale insertion of this renewable source, reviewing the latest national and international scientific production related to this issue. Wind energy aims to consolidate, definitively, as a viable alternative to the hydrothermal generation prevailing in Brazil, however, its intermittent character is concerned with the security of supply and demand. It can be affirmed that economic, technological and climatic gains are relevant and present as stimulating factors for the country's development, the socio-environmental impacts that arise due to its implementation should not be neglected and must be attended in a participatory and democratic manner. In addition, the wind industry may suffer a downturn due to the negative economic moment the country is going through, but through political will, adequate energy planning and public collaboration, it is possible to create a favorable environment for national suppliers and manufacturers, stimulate job creation, and provide safe electricity supply and social and environmental justice.

Keywords: Wind energy. Electric matrix.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Turbina Eólica de Eixo Horizontal.....	16
Figura 2 - Componentes de um sistema de geração eólica.....	17
Figura 3 - Capacidade Eólica Instalada (MW).....	24
Figura 4 - Potencial eólico brasileiro.....	26

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Capacidade instalada nova em 2015 (em MW).....	14
Gráfico 2	– Evolução da Capacidade Instalada Brasileira (em MW).....	20
Gráfico 3	– Geração Eólica no SIN (MW _{méd}).....	21
Gráfico 4	– Fator de Capacidade Médio no SIN.....	22
Gráfico 5	– Geração Hidráulica e Eólica em 2016 no Brasil.....	23
Gráfico 6	– Potência outorgada dos empreendimentos eólicos no Brasil (em MW).....	23
Gráfico 7	– Potência Instalada (MW).....	24
Gráfico 8	– Potência em Construção (MW).....	25
Gráfico 9	– Contratação de Energia Eólica em Leilões de Energia Nova.....	27
Gráfico 10	– Inserção Eólica no SIN.....	29
Gráfico 11	– Inserção Eólica no Nordeste.....	29
Gráfico 12	– Impactos ambientais causados por parques eólicos.....	32
Gráfico 13	– Geração de empregos em energias renováveis, 2011-2015.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social
BNEF	<i>Bloomberg New Energy Finance</i>
CHESF	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COP	Conferência das Partes
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FMI	Fundo Monetário Internacional
GEE	Gases de Efeito Estufa
GWEC	<i>Global Wind Energy Council</i>
IEEFA	<i>Institut for Energy Economics and Financial Analysis</i>
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
LER	Leilão de Energia de Reserva
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OIE	Oferta Interna de Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios
PROEÓLICA	Programa Emergencial de Energia Eólica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RAS	Relatório Ambiental Simplificado
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
TUSD	Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão
WEF	<i>World Economic Forum</i>
WFSG	<i>Wound Field Synchronous Generator</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS E METODOLOGIA	13
1.2 JUSTIFICATIVA	14
2 FUNDAMENTOS DA ENERGIA EÓLICA	15
2.1 COMO FUNCIONA	15
2.2 TURBINAS EÓLICAS MODERNAS	16
2.2.1 Componentes	17
3 CENÁRIO GLOBAL E NACIONAL DO SETOR EÓLICO	19
4 INSERÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA	28
4.1 MEIO AMBIENTE	30
4.2 ECONOMIA	34
4.3 POLÍTICA	37
4.4 SOCIEDADE	40
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Existe um consenso na comunidade científica sobre os efeitos que a queima de combustíveis fósseis pode gerar no equilíbrio energético da atmosfera terrestre, aumentando a concentração de gases de efeito estufa e, por consequência, aumentando a temperatura da atmosfera. Resultado direto desse cenário é o aquecimento global e a série de mudanças climáticas acarretadas a partir desse aquecimento. Por isso, uma crescente preocupação ambiental quanto a esses aspectos vem se tornando cada vez mais presente.

Além disso, desde a década de 1970, com a crise do petróleo, na qual o preço dos barris disparou, existe uma tendência mundial em diversificar a matriz energética mundial no sentido de ampliar o uso de fontes renováveis de energia, principalmente para a geração de energia elétrica, visando diminuir a dependência de combustíveis fósseis. Com a 21ª Conferência das Partes (COP-21), ficou evidente o reconhecimento mundial quanto à necessidade de desenvolver políticas para energias renováveis e promover diversidade no suprimento energético.

Nesse sentido, o Brasil se insere no contexto mundial de forma bastante positiva por ser conhecido como um país que tem grande participação de fontes renováveis na sua matriz energética, que em números corresponde a 75,5% da Oferta Interna de Energia (OIE) segundo o Relatório do Balanço Energético Nacional (2016) e com potencial para liderar um verdadeiro movimento de transição energética.

É importante pontuar, por outro lado, que só a geração hidráulica contribui com 64% da OIE, o que evidencia certa dependência dessa fonte. Tal fator é preocupante também por outro motivo, que é a redução percentual da participação hidráulica pelo quarto ano consecutivo por conta do período de crise de abastecimento hídrico, evidenciado principalmente na região Nordeste, mas que também passa a preocupar grandes estados como o de São Paulo.

Nesse contexto, a utilização da fonte eólica como geradora de eletricidade surge como alternativa direta a esse cenário de incerteza e indisponibilidade dos níveis dos reservatórios das hidrelétricas, bem como aos preços exorbitantes com os quais as térmicas vêm operando nos últimos anos. Isto se evidencia nos dados do Balanço Energético Nacional (2016) referentes ao ano de 2015, no qual a geração eólica teve um crescimento de 77,1% e ultrapassou pela primeira vez a nuclear. Além disso, as usinas eólicas foram responsáveis por 39,5% da ampliação da capacidade instalada, valor superior ao da fonte hídrica. Os motivos

pelos quais as eólicas vêm ganhando bastante espaço e se tornando alternativas viáveis são, basicamente, os baixos custos de operação, alta disponibilidade, baixo impacto ambiental durante a operação e menor demanda por água quando comparada às demais fontes.

É importante entender que o fenômeno de expansão das eólicas não se dá apenas no Brasil, mas no mundo todo. Países como os EUA, Alemanha e, mais recentemente, China têm investido pesadamente no desenvolvimento de usinas eólicas. Segundo o *Global Wind Report* (2016), atingiu-se o recorde de capacidade instalada no ano de 2015 com 63,5 GW, elevando a capacidade instalada total no mundo ao final daquele ano para 433 GW.

Por isso, a ampliação da fonte eólica no Sistema Interligado Nacional (SIN)¹ é vista como um processo praticamente irreversível, tendo em vista suas vantagens elencadas anteriormente. Entretanto, existe uma série de parâmetros que precisa ser levada em conta para a inserção das eólicas na matriz elétrica brasileira. Os impactos ambientais, sociais, políticos e econômicos, sem contar os parâmetros técnicos e tecnológicos que precisam ser considerados para que esta seja uma alternativa viável tanto do ponto de vista econômico quanto sustentável.

Dessa forma, uma análise sucinta desses parâmetros citados anteriormente é proposta para que se tenha uma ideia ampla dos aspectos positivos e negativos da expansão das eólicas como fonte segura de geração, pois acima de tudo, a sua utilização tem que apresentar a confiabilidade e credibilidade necessárias de qualquer outra fonte de geração. Além disso, é preciso que o profissional que trabalhe com energia eólica tenha conhecimento não apenas dos aspectos técnicos referentes a extração desse tipo de energia, mas também de toda a cadeia que envolve desde a elaboração do projeto até a operação de um parque.

1.1 OBJETIVOS E METODOLOGIA

O objetivo principal desse trabalho é apresentar, descrever e analisar de forma concisa os principais aspectos, negativos e positivos, que a expansão da fonte eólica na matriz elétrica brasileira pode apresentar. Para isso, realizou-se uma revisão da produção científica nacional e internacional que estão relacionados ao tema central.

De maneira mais específica, buscou-se fazer uma análise dos aspectos ambientais, sociais, políticos e econômicos que a inserção em larga escala desse tipo de geração pode

¹ O Sistema Interligado Nacional (SIN) é constituído pelas unidades geradoras responsáveis pelo suprimento de energia elétrica a todos os sistemas regionais do país que estão interligados eletricamente. Formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. (EPE, 2016)

trazer, trazendo uma visão também da experiência internacional. Além disso, uma análise do panorama global e nacional do setor eólico é proposta para entender em que contexto o Brasil encontra-se inserido e qual seu papel no desenvolvimento de políticas que ampliem a participação dessa fonte renovável.

1.2 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista o significativo ganho tecnológico e mercadológico que o setor eólico tem ganhado, é de suma importância que se conheça os diversos aspectos que envolvem a geração eólica, pois existe uma intenção mundial que visa a diminuição de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a geração eólica exerce um papel imprescindível nesse contexto, justamente por não apresentar essas emissões durante o processo de geração (SEEG MONITOR ELÉTRICO, 2015). Principalmente no caso do Nordeste, em especial no Ceará, que é um dos estados que tem maior potencial para energia eólica e, no entanto, é um dos maiores emissores de GEE para geração de eletricidade do Brasil (SEEG, 2015).

É importante notar, ainda, a expressiva contribuição da energia eólica na expansão da oferta de energia elétrica na matriz brasileira. Em 2012, o Brasil era apenas o 15º colocado em capacidade instalada acumulada. Em 2015, já ocupou a 10ª colocação e previsão para subir mais um lugar ao final de 2016. Ainda, segundo o *Global Wind Energy Council Report* (2016), o Brasil fechou o ano de 2015 em 4º colocado em capacidade instalada nova. Esses fatos evidenciam que a inserção em larga escala dessa nova fonte, que tem caráter intermitente e não estocável, merece atenção necessária para que as condições de operação sejam as melhores possíveis.

Além disso, quanto à formação de um engenheiro especialista em energias renováveis, é importante o entendimento de toda a cadeia de produção dessas tecnologias. A formação técnica em aerodinâmica e sistemas mecânicos para energia eólica, por exemplo, é importante, mas, além disso, faz-se necessária a compreensão dos aspectos que tangenciam a produção de energia por meio de aerogeradores. Dessa forma, o profissional pode ter uma visão geral do setor no qual está inserido.

2 FUNDAMENTOS DA ENERGIA EÓLICA

Quase toda energia renovável aproveitada no mundo é proveniente do Sol. Não diferente, de acordo com a *Danish Wind Industry Association* (2003), aproximadamente 1 a 2% da energia do Sol é convertida em energia para a formação dos ventos. Isso acontece devido à maneira não uniforme na qual a Terra é aquecida pela radiação solar, que acaba criando gradientes de pressão na superfície terrestre. Em outras palavras, a região da linha do equador é aquecida mais intensamente pela radiação solar e essa massa de ar aquecida, como é mais leve, é levada para os polos. Além disso, a própria rotação da Terra, bem como o efeito de *Coriolis*, influencia na distribuição dessa massa de ar. De maneira simplificada, assim se dá a formação dos ventos.

Nos seus primórdios, a energia eólica era utilizada para sistemas de irrigação por meio de moinhos, que convertem a energia eólica em energia mecânica, bem como no setor de transportes aplicado a grandes navegações. Com o passar dos anos, diversos fatores foram contribuindo para uma diversificação da aplicação da energia eólica. Segundo Manwell, McGowan e Rogers (2009), cinco fatores foram essenciais para a utilização da energia eólica da forma como é utilizada atualmente: necessidade, potencial, capacidade tecnológica, nova visão e vontade política. Somados, esses fatores são os principais responsáveis por terem tornado a energia eólica uma alternativa tão viável.

Castro (2005) afirma que as condições ideais de vento (fortes e constantes) para aproveitamento de energia estão a uma altura de 10 km da superfície terrestre. Contudo, torres dessa altura são inviáveis e, portanto, é necessário se considerar os efeitos de obstáculos, relevo, rugosidade, além da própria avaliação do potencial eólico de cada região.

2.1 COMO FUNCIONA

O vento é um conjunto de partículas de ar que se movimentam e, portanto, possuem energia cinética. As Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal (TEEH) utilizadas em grande escala são nada mais do que um mecanismo que capta, por meio das pás, essa energia cinética e a transforma em energia mecânica rotacional. As pás, por sua vez, estão ligadas a um eixo que transmite essa energia ao gerador, que, por fim, converte a energia mecânica em energia elétrica.

As turbinas em um parque eólico estão conectadas para que a eletricidade possa sair do parque eólico e chegar à rede elétrica. Uma vez na rede elétrica principal, as linhas de transmissão coletarão a eletricidade gerada no parque e a transportarão para as linhas de distribuição até o local da demanda. As concessionárias de energia elétrica ou os operadores de energia são responsáveis por fornecer a eletricidade onde ela será consumida.

Figura 1 - Turbina Eólica de Eixo Horizontal



Fonte: GWEC, 2016.

2.2 TURBINAS EÓLICAS MODERNAS

De acordo com Burton *et al.* (2001), a potência extraída de uma turbina eólica é dada pela expressão:

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A U^3$$

em que C_p é o coeficiente de potência, ρ é a densidade do ar (kg/m^3), A é a área varrida pelo rotor (m^2) e U é a velocidade do vento (m/s).

Como a velocidade do vento e a densidade do ar não são variáveis controláveis, os parâmetros que podem ser melhorados para obter maior eficiência na extração de energia são o coeficiente de potência e a área varrida pelo rotor. O coeficiente de potência é a relação entre a potência extraída e a potência disponível, e atinge um valor máximo teórico de 0,593, conhecido como limite de Betz, que limita o potencial dessa tecnologia a atingir altos valores de conversão. Assim, atem-se basicamente para o melhoramento do design aerodinâmico das máquinas e dos sistemas de potência da máquina para atuarem em diferentes classes de vento.

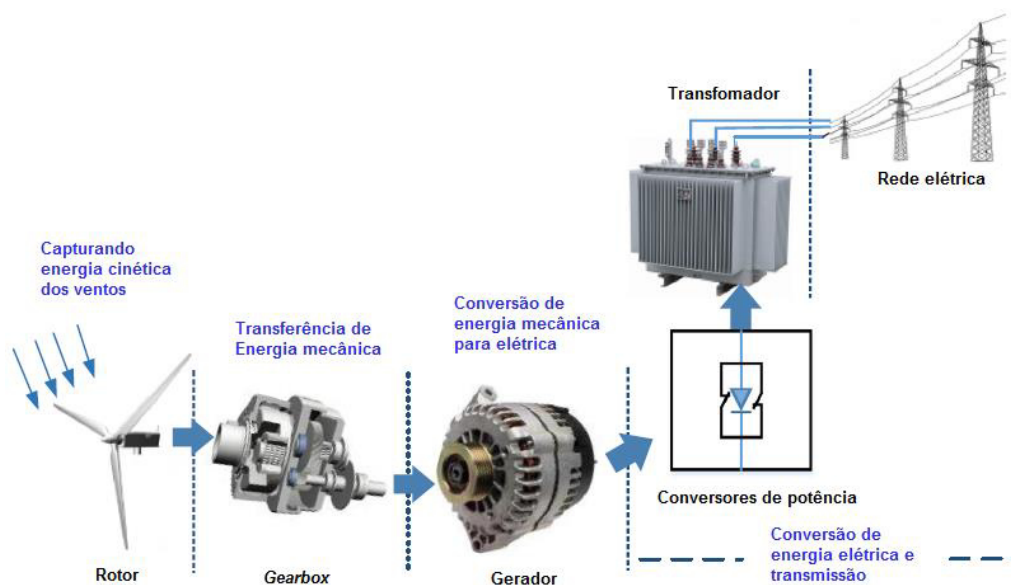
Apesar de esse fator ganhar bastante atenção dos desenvolvedores dessa tecnologia, a principal mudança que se percebe nas turbinas eólicas ano a ano é o aumento do diâmetro de varredura das pás, bem como a própria altura das torres eólicas, que facilitam a captação de ventos com maiores velocidades e com menor influencia de agentes externos.

2.2.1 Componentes

Os principais componentes das turbinas eólicas são:

- Fundação;
- Torre;
- Rotor (pás e *hub*);
- Nacele (controladores, *gearbox*, eixos, gerador).

Figura 2 - Componentes de um sistema de geração eólica.



Fonte: Kumar *et al.*, 2016 (adaptado).

A fundação e a torre são responsáveis pela sustentação da turbina. As pás são o principal componente aerodinâmico, atuam na captura do vento e conversão da energia cinética em energia mecânica de rotação. Na nacelle, estão os elementos chave da turbina como o *gearbox* (ou caixa de engrenagens) e o gerador, que é o coração de todo o sistema, responsável por converter energia mecânica em energia elétrica. Breeze (2016) afirma que rotores de turbinas eólicas giram em torno de 20 rpm, mas os geradores convencionais giram muito mais rápido, por isso haverá geralmente uma caixa de engrenagens entre o rotor e o gerador para adequar a velocidade de um para o outro. Contudo, *gearboxes* são componentes que demandam altos custos de manutenção por estarem sujeitos a várias forças. Uma saída para esse problema é a utilização de acoplamento direto, ou seja, o gerador é ligado diretamente ao eixo do rotor. Apesar de reduzir custos de manutenção, geradores desse tipo são mais caros que os convencionais.

De maneira geral, geradores de turbinas eólicas podem ser classificados como: velocidade fixa, velocidade semi-fixa e velocidade variável. Os que têm aplicação prática no setor eólico são: gerador de indução gaiola de esquilo, gerador de indução duplamente alimentado, *Wound Field Synchronous Generator* (WFSG) e gerador síncrono de ímã permanente. (GUPTA, 2016).

Segundo Stiebler (2008), em geral, geradores síncronos ou de indução são os mais aplicados, e, até pouco tempo, limitavam o sistema a operar em velocidade rotacional constante. Tecnologias de eletrônica de potência vêm sendo amplamente utilizadas, pois regulam a frequência da corrente gerada e possibilitam as turbinas a operarem em velocidade variável, ampliando a operação para diferentes condições de vento. Contudo, Manwell, Mcgowan e Rogers (2009) afirmam que, apesar da operação em velocidade variável ser ideal, existe uma complicação na geração em corrente alternada com frequência constante. Manter a tensão e a frequência da rede com qualidade, 60 Hz no caso brasileiro, durante a operação de turbinas eólicas é um dos desafios ainda presentes no setor eólico.

3 CENÁRIO GLOBAL E NACIONAL DO SETOR EÓLICO

A cada ano, o crescimento da indústria de energias renováveis impulsiona grandes mudanças nos setores de geração e consumo de energia. De acordo com o relatório *BP Energy Outlook* produzido pela *British Petroleum* (2016), a expectativa é que as fontes renováveis cresçam rapidamente, quase quadruplicando seu percentual mundial até 2035. Dados relativos ao ano de 2015 confirmaram que a energia eólica teve mais instalações do que qualquer outra fonte de geração de energia, estabelecendo um novo recorde para instalações anuais, ultrapassando a marca dos 60 GW. O último recorde, do ano anterior, tinha sido de 51,7 GW. (GWEC, 2016).

Em capacidade acumulada, atingiu-se 432,9 GW ao final de 2015, representando um aumento de mais de 17%. Tal aumento deve-se majoritariamente aos 30,75 GW instalados unicamente na China, que se consolida como principal ator nesse mercado. Um fato interessante é que, desde 2010, excetuando-se 2012, a maioria das instalações mundiais ocorreu fora dos países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico).

A China não apenas expandiu seu investimento doméstico em energia renovável, mas também está lançando valores recordes em mercados de energias renováveis no exterior. De acordo com IEEFA (2017), em seu relatório *China's Global Renewables Expansion*, a China sozinha colocou US \$ 32 bilhões em projetos de energias renováveis estrangeiros em 2016, e promete aumentar suas apostas em renováveis em dez vezes em todo o mundo antes do final de 2020.

Prevê-se que as instalações eólicas praticamente dobrarão de 2016 a 2020, lideradas pela China, mas com importantes contribuições da Europa, com participação majoritária da Alemanha, e dos EUA. Com isso, a eólica, juntamente com a solar, representarão 64% dos 8,6 TW de nova capacidade de geração de energia adicionada em todo o mundo nos próximos 25 anos. Segundo BNEF (2016), estas duas tecnologias se tornarão as formas mais baratas de produzir eletricidade em muitos países durante a década de 2020 e na maior parte do mundo na década de 2030.

Ao mesmo tempo, a queda dos custos vem fortalecendo os novos mercados que estão surgindo em toda a África, Ásia e América Latina (especialmente Brasil, México, Chile e Argentina), que fornecerão os principais mercados em crescimento na próxima década. Fora da China, a Ásia será liderada pela Índia, mas novos mercados como a Indonésia, Vietnã,

Filipinas, Paquistão e Mongólia estão se desenvolvendo rapidamente. Isso faz com que a energia eólica seja vista já como parte essencial da matriz energética mundial.

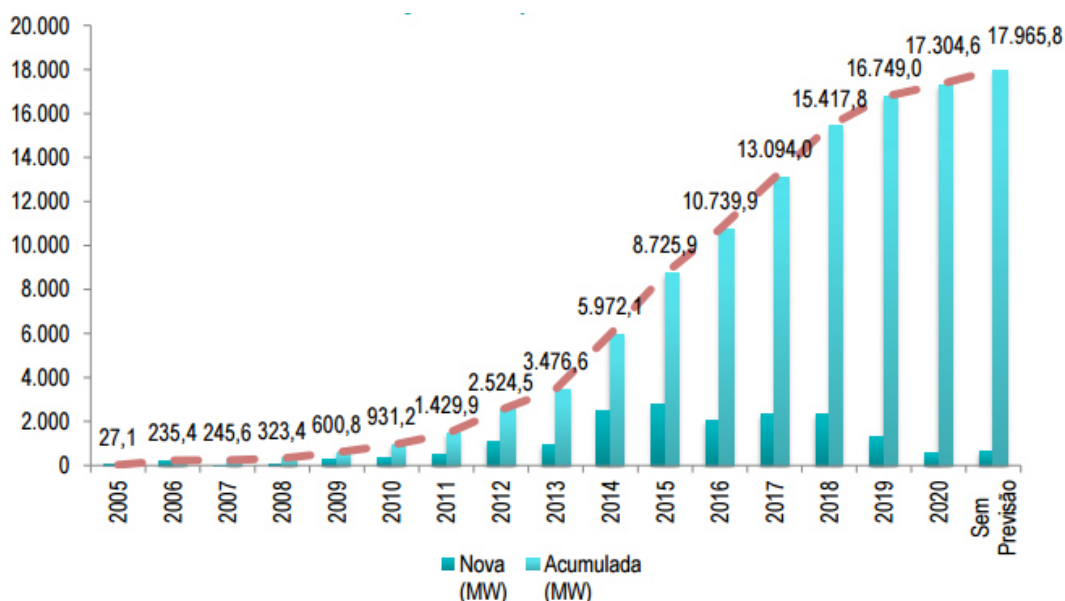
A partir disso, pode-se afirmar que esse cenário promissor tem impactado bastante o âmbito energético internacional e concretiza a energia eólica como uma fonte segura, fornecendo energia competitiva, confiável e limpa para alimentar o crescimento econômico e reduzir as emissões em economias estabelecidas, ao mesmo tempo em que cria novos empregos, novas indústrias e aumenta a segurança energética.

Analisando a situação internacional, Simas e Pacca (2013, p.99) afirmam que:

A adoção de incentivos para a energia eólica levou ao aumento da sua participação em diversos países, e ocorreu um alto crescimento a partir de 1996, que se fortaleceu a partir de 2004. Em 2011, a capacidade eólica em operação no mundo chegou a 238 GW [...]. Contudo, a crise financeira de 2008 arrefeceu o mercado de energia eólica na Europa e nos Estados Unidos, principais mercados para essa tecnologia. Tal fato fez que grandes empresas diversificassem a sua atuação, voltando seus investimentos para mercados emergentes, como o Brasil.

Atraídas também pelo crescimento gradual do setor eólico brasileiro e do potencial existente no país, empresas internacionalmente conhecidas como Vestas, Siemens, Wobben, Aeris, Alstom já atuam no mercado brasileiro com fabricação de aerogeradores, torres e pás. Com o mercado aquecido, o Brasil já ultrapassou a marca dos 10 GW de capacidade instalada ao final de 2016, como demonstra o Gráfico 2.

Gráfico 2 – Evolução da Capacidade Instalada Brasileira (MW)²



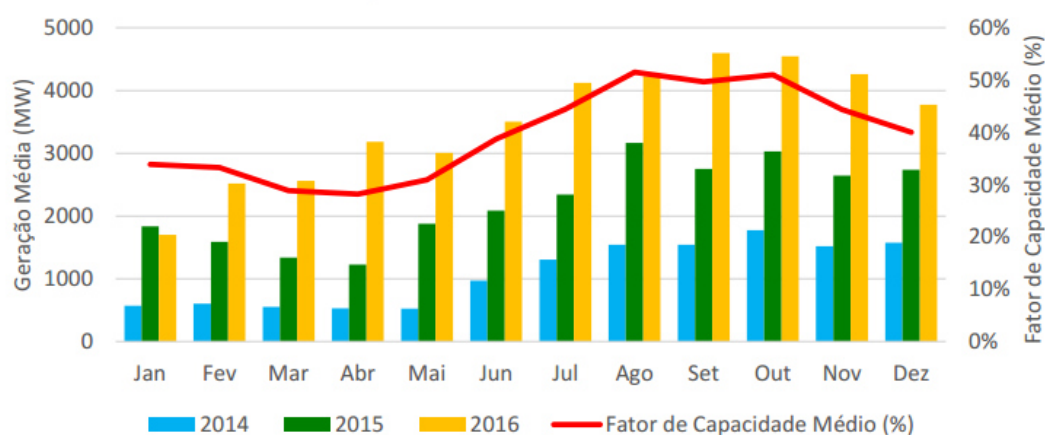
Fonte: ABEEólica, 2017.

² A composição dos dados é feita através da consolidação das capacidades contratadas no Ambiente de contratação Livre (ACL) e no Ambiente de Contratação Regulado (ACR).

Segundo a ANEEL (2017), o ano de 2016 foi muito especial pelo fato de o Brasil ter batido o recorde anual de nova capacidade instalada, no qual, a segunda fonte com maior capacidade instalada nova foi a eólica, com 2.564 MW. Esta teve um aumento superior a 20% com relação ao ano anterior. Até dezembro de 2016, havia 10.092 MW nas usinas eólicas em operação. O estado do Rio Grande do Norte foi o que teve maior acréscimo de potência eólica instalada no país, com 920 MW, em seguida o Ceará, que contribuiu com aproximadamente 600 MW, e o estado da Bahia, com 520 MW inseridos.

Com o crescimento da potência instalada, a geração eólica no Brasil já representa cerca de 3% da geração eólica mundial, fazendo do país o oitavo lugar nesse quesito. O Gráfico 3 mostra a evolução da geração eólica no setor elétrico brasileiro.

Gráfico 3 – Geração Eólica no SIN (MWméd)

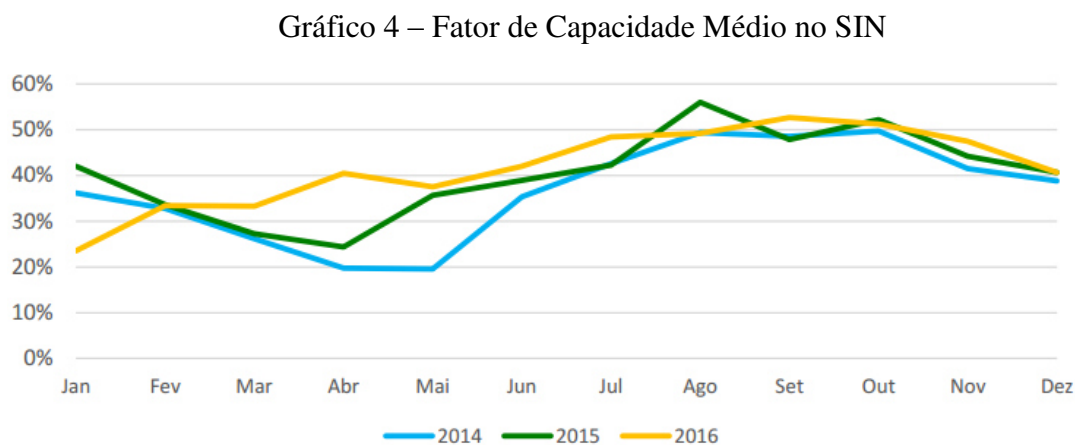


Fonte: ONS, 2016.

Em termos de recordes, alguns dados de geração fornecidos pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) são bastante relevantes para entender a expansão da energia eólica no Brasil. Como é o caso da participação percentual na carga. Por exemplo, na região Nordeste no dia 02/10/2016 às 08h00min esse percentual foi de 71,06%. Isso significa que o Nordeste foi abastecido, nesse horário, em 71,06% somente por energia eólica. Para o Brasil, esse percentual foi de 15,08%. É importante salientar também o Fator de Capacidade (FC)³ recorde obtido no dia 11/10/2016 às 08h00min com valor de 74% para o SIN. (ONS, 2016).

³ Fator de capacidade (FC) é a relação entre a produção (média) efetiva de energia ao longo do mês e a potência instalada.

O fator de capacidade é uma das principais razões do sucesso da instalação eólica no Brasil, pois o país apresenta valores bem superiores quando comparados à média mundial de 20% a 25%. O gráfico 4 mostra a variação anual do fator de capacidade brasileiro.



Fonte: ONS, 2016.

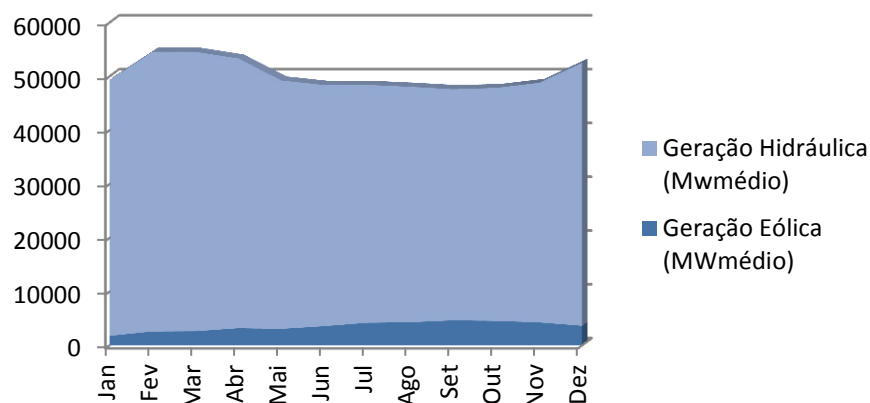
Os ventos constantes regulares da região Nordeste são os principais responsáveis por elevar a eficiência dos aerogeradores instalados nessa região, gerando energia, muitas vezes, em mais da metade do tempo de operação.

Outra característica importante da geração de energia eólica no Brasil é o seu caráter complementar quando comparada a hidráulica. Com dados do ONS (2016), o Gráfico 5 mostra essa comparação (em MW médio⁴). Nos períodos de seca, em que a vazão das hidrelétricas é baixa, as eólicas aumentam sua participação na geração. Isso ameniza a dependência de uma só fonte.

A complementariedade entre essas fontes foi inclusive objeto de estudo da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), em que esta utiliza cenários baseados em dados anemométricos do estado do Ceará e nos dados de vazão afluente do reservatório da usina de Sobradinho, instalada no rio São Francisco. Sobre isso, Amarante *et al.* (2001) relata que a inserção da geração eólica no Ceará pouparia uma quantidade considerável de água e ainda adicionaria uma estabilidade sazonal ao sistema, pois a eólica chega a atender, em média, 30% da necessidade energética do Nordeste, podendo chegar até, em alguns momentos, a 50%.

⁴ O MW médio é calculado por meio da razão MWh/h, onde MWh corresponde a energia produzida e h corresponde a quantidade de horas do intervalo de tempo no qual a determinada quantidade de energia foi produzida.

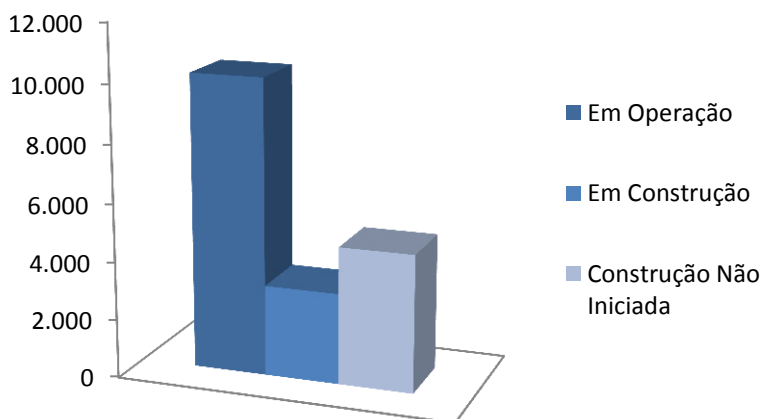
Gráfico 5 – Geração Hidráulica e Eólica em 2016 no Brasil



Fonte: Próprio Autor.

Ainda é possível perceber a predominância da fonte hidráulica, que corresponde a, aproximadamente, 61% da produção de energia brasileira, com 1243 usinas e uma capacidade instalada de 97.407 MW, enquanto que a fonte eólica é responsável por quase 7%, com 413 empreendimentos em operação que correspondem a uma Potência Outorgada⁵ de 10.168 MW. (ANEEL, 2017). Além disso, a fonte eólica conta com mais 137 usinas em fase de construção e 202 com construção ainda não iniciada, com potências outorgadas de 3.136 MW e 4.737 MW respectivamente (ver Gráfico 6).

Gráfico 6 – Potência outorgada dos empreendimentos eólicos no Brasil (em MW)

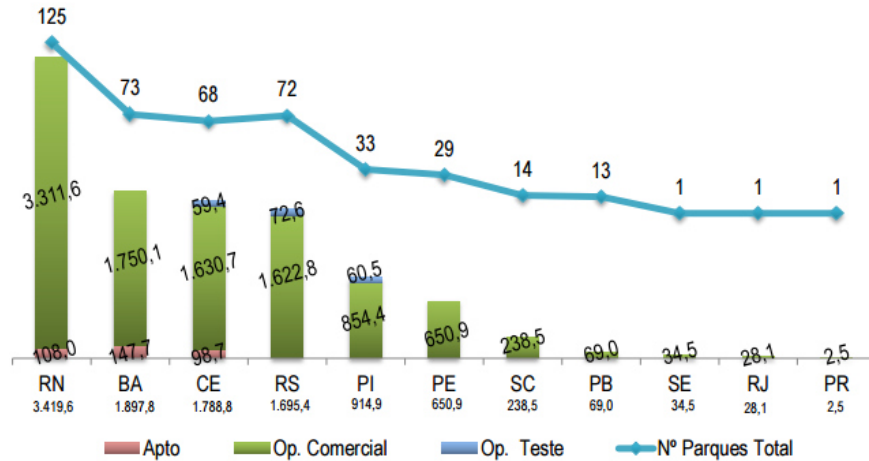


Fonte: Próprio autor.

⁵ A Potência Outorgada é igual à considerada no Ato de Outorga. As Outorgas são atos destinados a conceder a agentes privados a responsabilidade por produzir, transmitir e distribuir energia elétrica para todo o país.

Dentre os parques instalados, existe uma denominação que os classifica em três categorias: aptos a operar, operando em teste e operando comercialmente. O gráfico 7 apresenta a situação de cada categoria nos estados brasileiros.

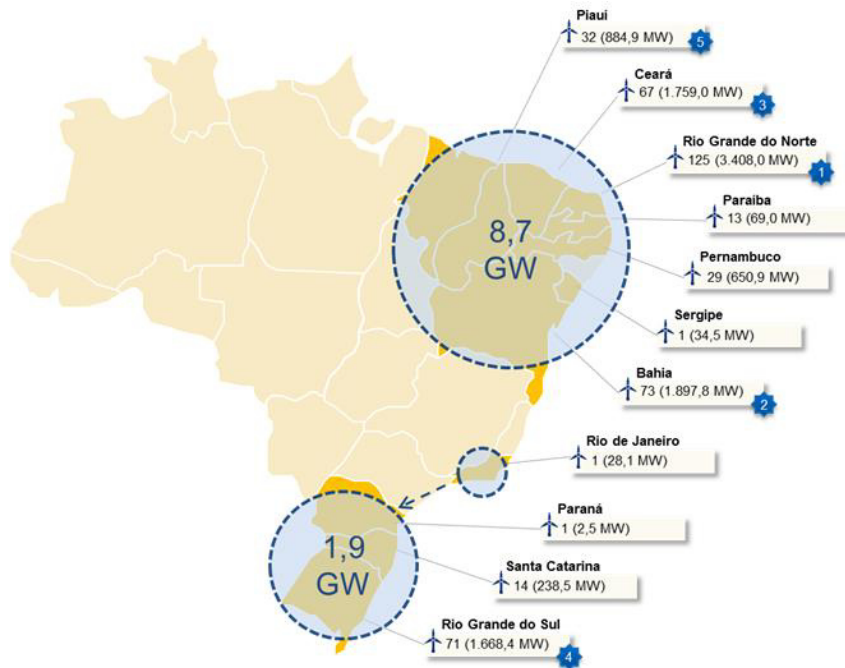
Gráfico 7 – Potência Instalada (MW)



Fonte: ABEEólica, 2017.

Na Figura 3, apresenta-se a distribuição do potencial de capacidade instalada no território brasileiro somando as três categorias.

Figura 3 – Capacidade Eólica Instalada (MW)

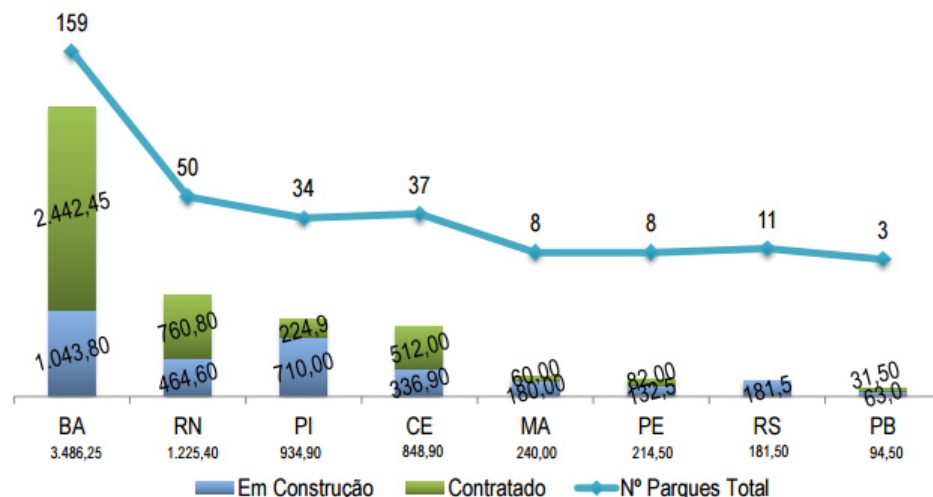


Fonte: ABEEólica, 2017.

Destacam-se as atuações dos estados das Regiões Nordeste e Sul, principalmente. O Rio Grande do Norte é, atualmente, o primeiro colocado, possuindo cerca de 1.700 aerogeradores. Considerando o potencial já contratado para esse estado, serão mais 1,2 GW instalados e mais 50 parques até 2020. A Bahia, em segundo, possui mais de 1.000 aerogeradores. Estima-se que o estado ainda vai instalar mais 3,5 GW e 159 parques até 2020. Com 900 aerogeradores, o Ceará ocupa a terceira posição, perdendo o segundo colocado para a Bahia nos últimos anos. O estado deverá ganhar mais 37 parques, o equivalente a 838 MW, até 2020.

Os parques em construção podem ser divididos em: em construção e contratados. O Gráfico 8 apresenta as potências em construção para os principais estados brasileiros.

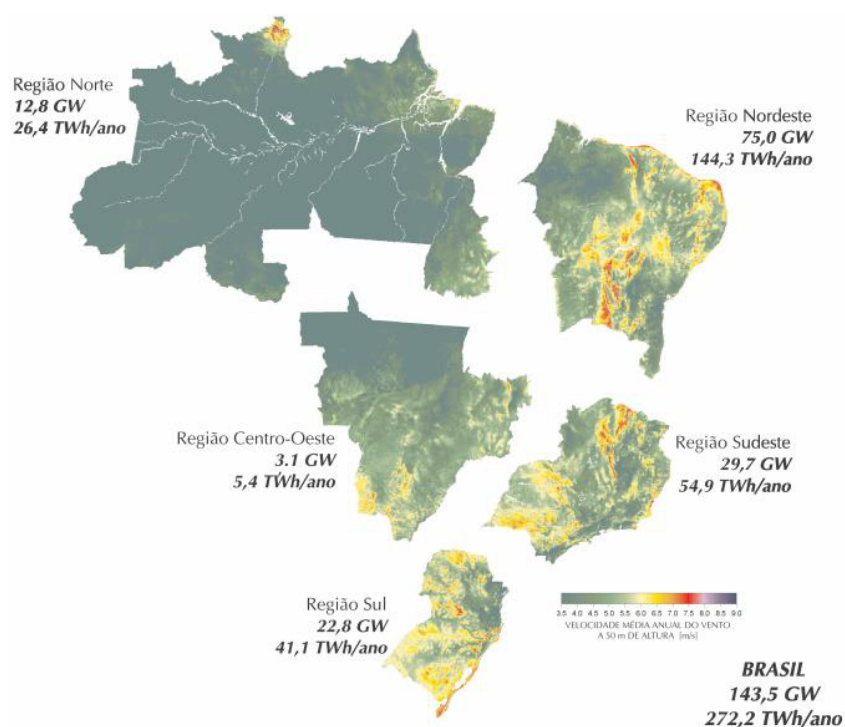
Gráfico 8 – Potência em Construção (MW)



Fonte: ABEEólica, 2017.

Essa distribuição pode ser explicada, basicamente, com dados do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, que reúne informações sobre velocidade e distribuição de vento e estima o potencial eólico de acordo com as características de cada região. A região que apresenta as melhores condições de vento é a região Nordeste, concentrados principalmente no litoral. De acordo com CRESESB (2001), estima-se que o potencial eólico brasileiro seja de 143 GW (ver Figura 4), considerando turbinas com torres de 50 m de altura e vento médio anual de 7 m/s. Contudo, por meio do desenvolvimento tecnológico, já se utilizam turbinas com torres de mais de 100 m de altura, por isso, estima-se que o potencial possa atingir até 500 GW (RENEWABLES NOW, 2015). Por isso, diferenças nos cálculos de estimativa podem estar relacionadas à metodologia aplicada no estudo.

Figura 4 – Potencial eólico brasileiro



Fonte: CRESESB, 2001.

Não obstante, depois de anos de cenários favoráveis, o setor da energia eólica sofreu um forte baque quando o Ministério de Minas e Energia (MME) anunciou o cancelamento do Leilão de Energia de Reserva (LER)⁶ previsto para dezembro de 2016. Este acontecimento marcou o primeiro ano desde 2008 em que não houve energia renovável contratada pelo Brasil (ver Gráfico 9).

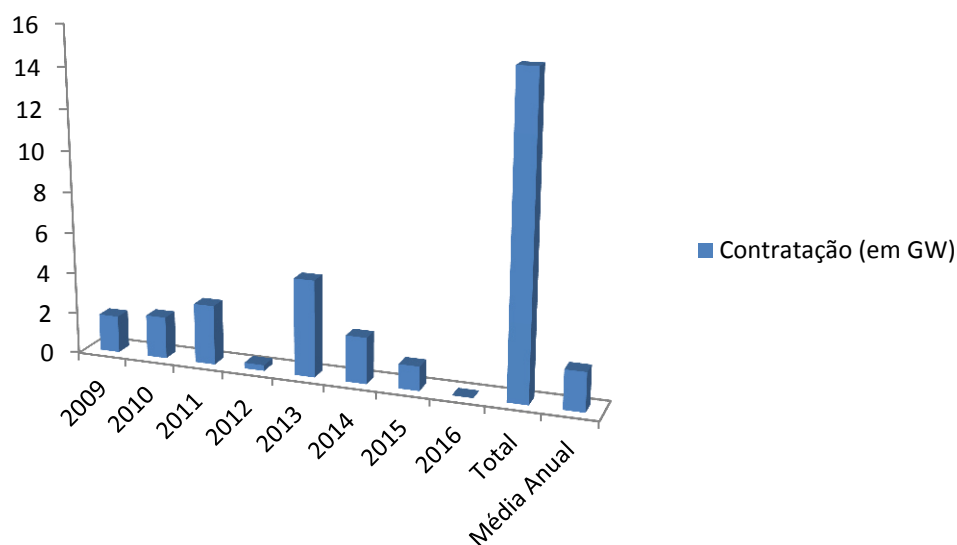
Entre 2009 e 2016 foram realizados 23 leilões para todas as fontes, dos quais 16 tiveram contratação de energia eólica. Excetuando-se os anos de 2012 e 2016, que foram anos atípicos, a média de contratação foi de 2,5 GW por ano. No total, tem-se a contratação de 15,19 GW (o que representa de 45% de todas as contratações) neste período.

Até o final de 2015, a indústria eólica não havia sentido a crise econômica pela qual passa o país, quando obteve um crescimento de 46% mesmo com a queda de 3,8% do PIB (CALIXTO, 2017). A situação é preocupante, pois estão garantidos apenas empreendimentos durante mais um ou dois anos, visto que as contratações demoram a entrar em operação, em cerca de quatro ou cinco anos. A ABEEólica (2016) estima que o país

⁶ A contratação da energia de reserva é utilizada para garantir o equilíbrio fiscal do sistema e elevar a segurança no fornecimento de energia elétrica no SIN, no qual a energia é proveniente de usinas contratadas especificamente com esta finalidade, seja de novos contratos de geração ou de empreendimentos já existentes.

deixou de arrecadar mais de 8 bilhões de reais em investimento e comprometeu a contratação de, pelo menos, 15 mil profissionais em toda a cadeia produtiva.

Gráfico 9 – Contratação de Energia Eólica em Leilões de Energia Nova⁷



Fonte: Próprio autor.

O governo alegou que existe sobra de energia por conta da crise e da falta de crescimento do país e que, por isso, não teria condições de fazer o leilão. Contudo, é importante levar em consideração os custos e qualidade dessa eventual sobra, pois se pode estar optando novamente por utilizar fontes caras como a termoeletrica. Portanto, do ponto de vista do planejamento energético e de atração de investimentos para recuperação da crise, o LER para fonte eólica seria imprescindível e cancelá-lo foi um grave erro.

Como forma de contornar a delicada situação, a proposta é que seja feito um leilão inverso, onde ocorreria a descontração de energia. Assim, os detentores de contratos de energia de reserva, que não foram implementados ou não entraram em operação por múltiplas razões (exemplos: atraso de projetos, problemas financeiros, licenciamento ambiental, problemas com fornecedores), podem ser retirados sem pagar multa, pagando um determinado valor no leilão. A intenção é que os projetos mais poluentes e caros tenham prioridade, contudo empreendedores do setor eólico que encontram dificuldades para entrar em operação também podem participar. (CALIXTO, 2017).

⁷ Leilões de Energia Nova destinam-se à contratação de energia proveniente de usinas que ainda serão construídas, que poderão fornecer energia comercialmente em 3 (A-3) ou 5 anos (A-5), a partir da contratação.

4 INSERÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

A utilização de energia renovável como forma de mitigação das mudanças climáticas é essencial. A eólica, particularmente, destaca-se por uma série de fatores técnicos, climáticos e econômicos. Contudo, de acordo com Huesca-pérez, Sheinbaum-pardo e Köppel (2016), para lidar com os diversos aspectos da sustentabilidade (social, econômico, político e ambiental), não se pode considerar apenas emissão de GEE quando se pretende fazer a inserção de uma nova tecnologia e, ao mesmo tempo, promover justiça socioambiental. Mais do que isso, é preciso levar em conta a minimização dos impactos ambientais e promover a distribuição equitativa dos benefícios socioeconômicos.

Como consta no Plano Decenal de Expansão⁸ 2023:

A geração eólica é a fonte que mais cresceu no país em participação nos leilões desde 2009. As contratações dos últimos anos demonstraram que as usinas eólicas atingiram preços bastante competitivos e impulsionaram a instalação de uma indústria nacional de equipamentos para atendimento a esse mercado. Sua participação crescente na matriz de energia elétrica resultou de uma combinação de fatores relacionados ao cenário externo, ao desenvolvimento tecnológico e da cadeia produtiva, além de aspectos regulatórios, tributários e financeiros. (EPE, 2014, p.89)

Nesse sentido, é preciso entender o contexto em que ocorre a inclusão das eólicas na matriz brasileira, no qual, assim como ocorre em diversos outros setores da sociedade, o interesse privado se sobressai ao público. E, muitas vezes, acaba por desvirtuar o papel da energia eólica como agente de proteção do clima, descentralização da produção energética e de geração de emprego, transformando-a em mera reprodutora das contradições do sistema econômico e energético vigente ao promover conflitos de terra e falta de aceitação social. (COSTA, 2014).

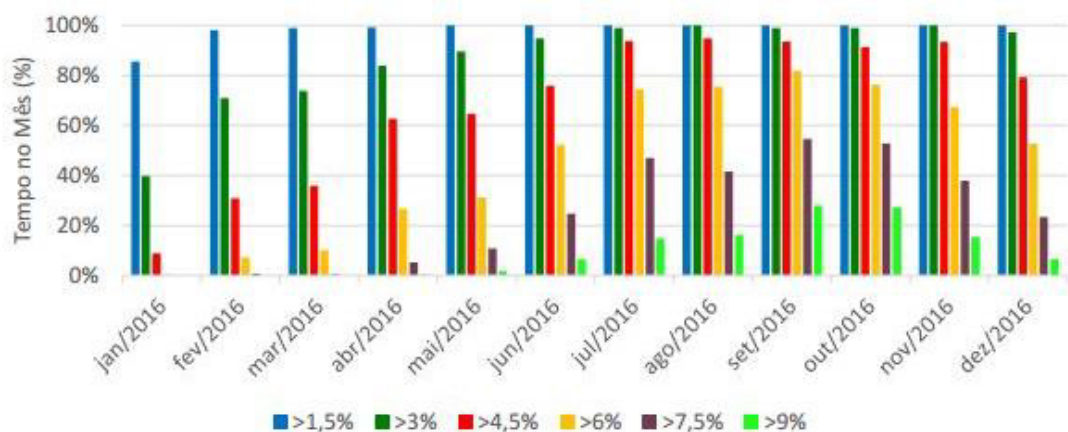
Além disso, segundo Konzen (2016), outro aspecto que é necessário levar em conta ao inserir grandes capacidades de geração eólica na matriz elétrica é o balanço entre geração e demanda. Isso ocorre, pois, diferentemente das hidrelétricas, o caráter intermitente das eólicas dificulta a regulação da geração e, por consequência, prejudica a estabilidade e segurança do sistema. Dessa forma, segundo EPE (2016, p.279) é preciso “o desenvolvimento e aprimoramento da previsão da geração eólica. A previsão do recurso, com um maior grau de certeza [...] é de fundamental importância para os processos de programação e despacho do ONS, pois permite minimizar os impactos no sistema da variação da fonte”. Combinado a

⁸ Os Planos Decenais elaborados no setor elétrico constituem um dos principais instrumentos de planejamento da expansão eletroenergética do país. Apresentam importantes sinalizações para orientar as ações e decisões, voltadas para o equilíbrio entre as projeções de crescimento econômico do país e a necessária expansão da oferta, de forma a garantir à sociedade o suprimento energético com adequados custos, em bases técnica e ambientalmente sustentável. (EPE, 2014).

isso, outras estratégias como o melhoramento da infraestrutura de transmissão, controle de resposta da demanda e geração flexível podem ser utilizadas como soluções para mitigar os efeitos da intermitência dessa fonte.

O Gráfico 10 representa o grau de inserção da geração eólica no SIN em 2016 e dá uma noção geral dos montantes gerados. Os índices representam o tempo em que a geração eólica foi maior que um percentual da carga do SIN (em MW) em cada mês.

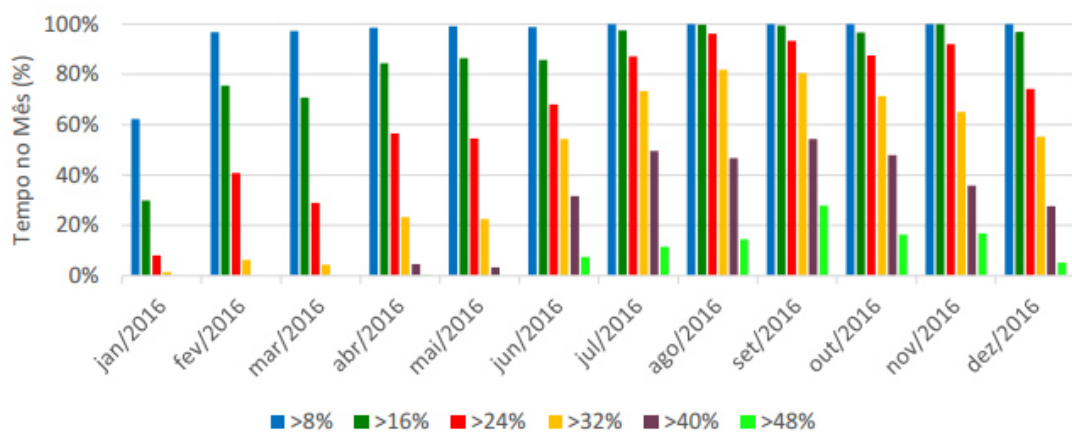
Gráfico 10 – Inserção Eólica no SIN



Fonte: ONS, 2016.

A inserção se torna ainda mais significativa quando se analisa apenas os dados para a região Nordeste, conforme o Gráfico 11. Percebe-se que os percentuais de inserção são bem maiores, devido a maior concentração de usinas nessa região.

Gráfico 11 – Inserção Eólica no Nordeste



Fonte: ONS, 2016.

Nesse âmbito, um estudo conduzido por Schmidt, Cancellata e Pereira (2016), no qual foi simulada, a partir de dados meteorológicos, uma perspectiva de longo prazo de 36 anos de produção de energia renovável, usando um modelo de otimização para equilibrar oferta e demanda mensal, mostrou que a adição de energia eólica e solar ao sistema diminuiria a necessidade de *backup* de energia térmica e o risco de perda de carga, pois a variabilidade total do fornecimento por renováveis reduz expressivamente em comparação com um cenário que adiciona apenas energia hidráulica ao sistema.

Além disso, Schmidt, Cancellata e Pereira (2016) afirmaram em outro estudo que a variabilidade sazonal da geração de energia eólica nos estados do Nordeste é anticíclica em relação à sazonalidade hidrológica na região Sudeste, Norte e Nordeste do Brasil. Assim, a adição de energia eólica no lugar de energia hidráulica ao sistema diminui significativamente o risco de longos períodos de disponibilidade baixa de recursos hídricos.

4.1 MEIO AMBIENTE

Os benefícios da utilização da geração eólica como uma das principais fontes na matriz elétrica brasileira são muitos, tanto do ponto de vista econômico quanto social e ambiental. Dentre estes, destacam-se a possibilidade de realização de atividades complementares no uso do solo (por exemplo: agricultura e pecuária), fixação do homem no campo, criação de projetos sociais, capacitação de moradores de comunidades interessadas, ganhos com arrendamento e investimentos na economia local. E ainda, evita-se a emissão de milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera, garante-se o abastecimento de energia e, ao mesmo tempo, promove-se o desenvolvimento do país.

Não obstante, seu uso também apresenta impactos negativos que precisam ser tratados com cautela, para que tudo esteja dentro dos parâmetros legais e sustentáveis. Nesse contexto, a implantação de parques eólicos trouxe para o Brasil a discussão sobre o caráter “limpo” dessa fonte. Visto que foram observadas diversas situações de conflito entre o interesse social e ambiental nesse processo. A partir disso, foram levantadas diversas questões sobre os aspectos que distinguem os empreendimentos eólicos de baixo ou alto impacto ambiental para, assim, traçar os devidos procedimentos para o licenciamento ambiental⁹ desse setor. Nesse sentido, foi publicada a Resolução CONAMA nº 462/2014, que representou um

⁹ “A Licença Ambiental deve ser apresentada em conformidade com o que exige a legislação ambiental vigente, notadamente a Lei Federal nº 6.938/81, o Decreto Federal nº 99.274/90 e as Resoluções CONAMA nos 01/86, 06/87, 237/97 e 279/01, bem como a Legislação Estadual, quando for o caso.” (EPE, 2012, p.15).

marco regulatório significativo para o ramo. (CONAMA, 2014). Com isso, a fonte eólica tornou-se única que conta com uma resolução específica para o seu licenciamento.

Durante o processo de licenciamento ambiental, os parques devem ser enquadrados de acordo com o porte, localização e potencial poluidor. Para isso, são necessários estudos que caracterizam a região. Os empreendimentos que não são considerados de alto impacto passam por processos menos rigorosos de licenciamento, permitindo a elaboração apenas de um Relatório Ambiental Simplificado (RAS). Já nos parques localizados em formações dunares, em área de espécies ameaçadas de extinção e em locais que geram conflitos sociais, por exemplo, exige-se a apresentação de EIA/RIMA.

Apesar de a Resolução CONAMA nº1/86 estabelecer que usinas de geração de eletricidade acima de 10 MW devem apresentar EIA/RIMA, identificou-se que o sistema brasileiro de licenciamento de parques eólicos, por meio de legislações federais e estaduais mais recentes, flexibilizou as normas ao admitir que os parques eólicos maiores sejam divididos em unidades de licenciamento menores, o que acaba estimulando os estudos simplificados. (BERNARD *et al.*, 2014).

Deste modo, Valença e Bernard (2015, p.120, tradução nossa) ressaltam que:

Os detalhes sobre quando um RAS deve ser adotado são, por vezes, vagos, e a falta de um padrão permite o uso excessivo de tal abordagem ou, mais preocupante ainda, que isso se torne a regra. Na Bahia, por exemplo, todos os parques eólicos são considerados, a priori, como de baixo impacto ambiental. Tal simplificação tende a reduzir substancialmente a quantidade de informações enviadas aos analistas e, num ciclo vicioso, permitindo estudos simplificados, as agências de licenciamento ambiental receberão menos informações qualificadas, aumentando a possibilidade de erros ao avaliar o impacto real dos projetos.¹⁰

Isso ocorre também devido ao critério estabelecido pela Resolução Normativa nº 247/2006 da ANEEL (2006), que beneficia empreendimentos eólicos com potência injetada na rede de até 30 MW, por meio de descontos de 50% ou 100% na Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão (TUST) e na Tarifa de Uso de Sistemas de Distribuição (TUSD). (NEVES; PAZZINI, 2015). Com isso, formam-se complexos eólicos de grande porte, porém compostos de vários parques de menor porte.

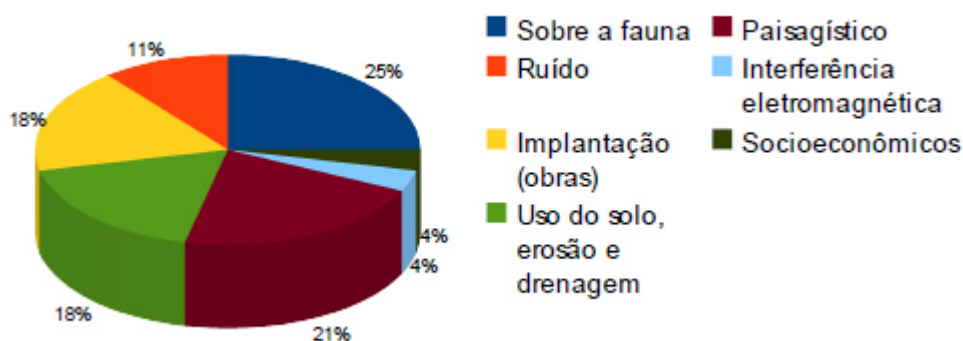
Além disso, o padrão de licenciamento federal não estabelece, especificamente, quais devem ser as medidas de mitigação adotadas. Isso faz com que os responsáveis pelos empreendimentos escolham seus próprios métodos, ao invés de obedecerem a um modelo

¹⁰ Details on when a RAS must be adopted are sometimes vague and the lack of a standard, allow the excessive use of such approach or, more worryingly, for this to become the rule. In Bahia, for example, all wind parks are considered a priori as having low environmental impact. Such simplification tends to substantially reduce the amount of information sent to analysts and, in a vicious cycle, by allowing simplified studies, the environmental licensing agencies will receive less qualified information, increasing the possibility of mistakes when assessing the real impact of the projects.

padronizado. Deste modo, a ausência de uma legislação unificada abre espaço para que órgãos de licenciamento locais solicitem conjuntos distintos de informações, podendo levar a uma subestimação dos reais impactos e, por consequência, dificultando a comparação de diferentes parques operados por diferentes empresas.

De acordo com Dai *et al.* (2015), os principais impactos ambientais relacionados ao uso de turbinas eólicas incluem a segurança dos animais selvagens, distúrbio no sistema biológico, poluição visual, ruído e interferência eletromagnética. Em estudo realizado pelo Ministério de Meio Ambiente (MMA), listam-se os principais impactos ambientais potenciais ocasionados por empreendimentos de geração de energia eólica, considerando toda a cadeia de produção (ver Gráfico 12). Logo, compreender esses impactos é a melhor maneira de realizar ações de mitigação.

Gráfico 12 – Impactos ambientais causados por parques eólicos



Fonte: Brasil, 2009.

Os impactos sobre a fauna e flora ocorrem, em grande parte, na fase de construção, quando se faz necessária a abertura de rodovias e estradas para transporte de equipamentos, causando também erosão e drenagem do solo e soterramento de lagoas, além de retirada parcial de vegetação para instalação dos aerogeradores, o que acaba afetando o habitat natural das espécies presentes. Além disso, na fase de operação, Wang e Wang (2015) relataram casos de mortalidade de aves e morcegos devido à colisão em turbinas e outras estruturas presentes nos parques. Por isso, estudos detalhados devem ser feitos para o licenciamento ambiental e são importantes especialmente em casos que envolvem aves migratórias, para se compreender o comportamento destas espécies. Apesar disso, Leung e Yang (2012) ressaltam que a quantidade de aves mortas por colisão com turbinas é insignificante frente a outras atividades humanas como o desflorestamento e urbanização.

Mesmo assim, estratégias como a utilização de radares que detectam a presença de aves e sistemas que param momentaneamente as turbinas em casos de perigo podem ser aplicadas. (LUCAS *et al.*, 2012).

Quanto aos impactos sobre a paisagem, a percepção pública depende de questões geográficas (exemplos: concentração das turbinas, distância do observador, altura das turbinas), o que parece óbvio, mas também de aspectos econômicos, sociais e culturais. O problema é que não se pode medir o quão esteticamente aceitável é determinada mudança na paisagem. Estudos indicam que as pessoas tendem a aceitar a implementação de energia eólica, num nível conceitual, até o ponto em que turbinas são instaladas perto das suas residências. Entretanto, assim como acontece com o problema da poluição sonora, Tabassum-abbasi *et al.* (2014) comentam que aqueles que se beneficiam economicamente da presença de turbinas eólicas tendem a se sentir menos perturbados. Por outro lado, o ruído (que pode ser de dois tipos: mecânico e aerodinâmico) gerado pelos aerogeradores pode ser quantificado, o que facilita a mitigação do problema.

Outro possível impacto dos parques eólicos é o de sombra oscilante (do inglês, *shadow flicker*), que ocorre quando a rotação das pás do aerogerador causa períodos alternados de luz e sombra. Isso pode causar distúrbios em moradores das proximidades. Nestes casos, a legislação local deve ser observada. Além deste, encontra-se também o impacto da interferência eletromagnética em transmissões de rádio e televisão. Isso ocorre devido à produção de campos eletromagnéticos pelas turbinas. Ainda é necessário mais pesquisas nessa área, mas pode-se afirmar que as turbinas eólicas modernas fabricadas com materiais sintéticos produzem esse efeito bem mais suave quando comparadas às turbinas que eram produzidas com materiais metálicos anteriormente. (TABASSUM-ABBASI *et al.*, 2014).

Como se pode perceber, os principais impactos encontrados na instalação de parques eólicos encontram-se no nível das proximidades do empreendimento, portanto, apesar de existirem algumas recomendações gerais quanto às distâncias e nível de ruído, por exemplo, os efeitos que os projetos eólicos têm no ecossistema devem ser avaliados caso a caso, pois as demandas resultantes da geografia local são complexas e exigem um nível alto de detalhamento dos aspectos de cada região. (BWE, 2016). Por isso, recomenda-se que os órgãos federais e estaduais responsáveis pelo licenciamento ambiental de parques eólicos exijam relatórios mais detalhados para que estes se adequem proporcionalmente a expansão da inserção desta fonte na matriz elétrica brasileira.

4.2 ECONOMIA

O papel cumprido pela energia eólica na oferta mundial de eletricidade tem aumentado significativamente ano após ano. Esse cenário é impulsionado por fatores políticos, como a adoção de subsídios a fontes renováveis, tecnológicos, com a melhoria dos sistemas de eletrônica de potência, e também econômicos, por meio da redução dos custos de toda a cadeia produtiva. Tais medidas, aliadas a redução de emissão de GEE, e por consequência, de poluição, além da promoção da descentralização de produção energética, são atrativos para o mercado internacional, especialmente para os setores de financiamento.

Estima-se que entre 2016 e 2040, 11,4 trilhões de dólares serão investidos em geração de energia. Desse valor, 2,1 trilhões serão gastos em combustíveis fósseis, mas 7,8 trilhões de dólares serão investidos em energias renováveis. (BNEF, 2016). O setor eólico contará com cerca 25% deste valor, o que daria em torno de 2 trilhões de dólares durante o mesmo período.

Paralelamente, a indústria de combustíveis fósseis ainda recebe uma exorbitante quantia de subsídios, calculada em torno de 5,3 trilhões de dólares em 2015, o que é superior inclusive a todo o investimento mundial em saúde, segundo dados do Fundo Monetário Internacional. (FMI, 2015). Tal quantia se revela injustificável, do ponto de vista ambiental, e também do ponto de vista econômico, pois, muitas vezes, justifica-se o não investimento em fontes renováveis pelo custo atribuído a sua produção. De acordo com o próprio FMI, essa situação sugere uma forte reforma na política de subsídios para a área energética numa escala global.

Em estudo realizado para o cenário norte-americano, Wisner *et al.* (2016) argumentaram que a implantação da energia eólica no setor elétrico dos EUA traria redução de custos para a saúde, relacionados a redução da poluição atmosférica, entre 52 e 272 bilhões de dólares. Além disso, custos quanto ao consumo anual de água seriam reduzidos em 23%. Para isso, as estratégias políticas para que esses benefícios sejam possíveis devem abordar as deficiências do mercado (e não apenas a políticas de suporte exclusivas para a energia eólica) e as externalidades não tarifadas das fontes fósseis, como uma tarifa sobre emissão de carbono.

Para o caso brasileiro, especificamente, Silva *et al.* (2013) lista os seguintes elementos como fundamentais que atrairiam investidores para o mercado nacional:

- (a) agravamento de uma crise nacional de fornecimento de eletricidade;

- (b) atratividade ambiental das fontes renováveis em comparação com as fontes fósseis;
- (c) adoção de programas governamentais para incentivar o uso de fontes renováveis;
- (d) políticas destinadas a estruturação de um marco regulatório para fontes renováveis.

POLITICAS DE LONGO PRAZO

Nesse contexto, insere-se a participação do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social (BNDES), responsável pelas estratégias de financiamento da indústria eólica brasileira, exercendo papel importante na viabilização do setor de infraestrutura. Uma dessas estratégias, adotada até 2012, estabelecia uma regra de nacionalização, a qual exigia que 60% (em peso e valor) do aerogerador fossem produzidos por fábricas brasileiras. Contudo, a produção dos equipamentos da nacele ainda era realizada no exterior, e somente a montagem era feita por empresas nacionais, assim como a fabricação de torres e pás. Visando contornar essa situação, ao final de 2012, a regra de nacionalização foi alterada para estabelecer um aumento gradual da quantidade de subcomponentes produzidos nacionalmente. (PODCAMENI, 2014).

Para a viabilização dos financiamentos, foi utilizado o modelo de *Project Finance*¹¹. Tal modelo é utilizado mais comumente em projetos de infraestrutura de grande porte. Segundo Bregman (2015), essa modalidade de financiamento traz vantagens para ambas as partes. No caso do financiador, há menor incerteza quanto à aplicabilidade do projeto, pois os próprios recursos do empreendimento são dados como garantia. Já para o empreendedor, há maior segurança quanto à administração financeira da companhia. Devido ao seu sucesso, o modelo de *Project Finance* foi, inclusive, expandido para os demais projetos de transmissão e geração de energia do novo modelo do Setor Elétrico Brasileiro (SEB)¹². (GANNOUM, 2015).

Com isso, a cadeia produtiva da indústria eólica já é, aproximadamente, 80% nacional, o que permite que a indústria local pratique preços competitivos no médio prazo, colocando a geração eólica como concorrente direta das hidrelétricas. Segundo *World*

¹¹ “*Project finance* é uma forma de engenharia/colaboração financeira sustentada contratualmente pelo fluxo de caixa de um projeto, servindo como garantia à referida colaboração os ativos desse projeto a serem adquiridos e os valores recebíveis ao longo do projeto.” (BORGES, 2002).

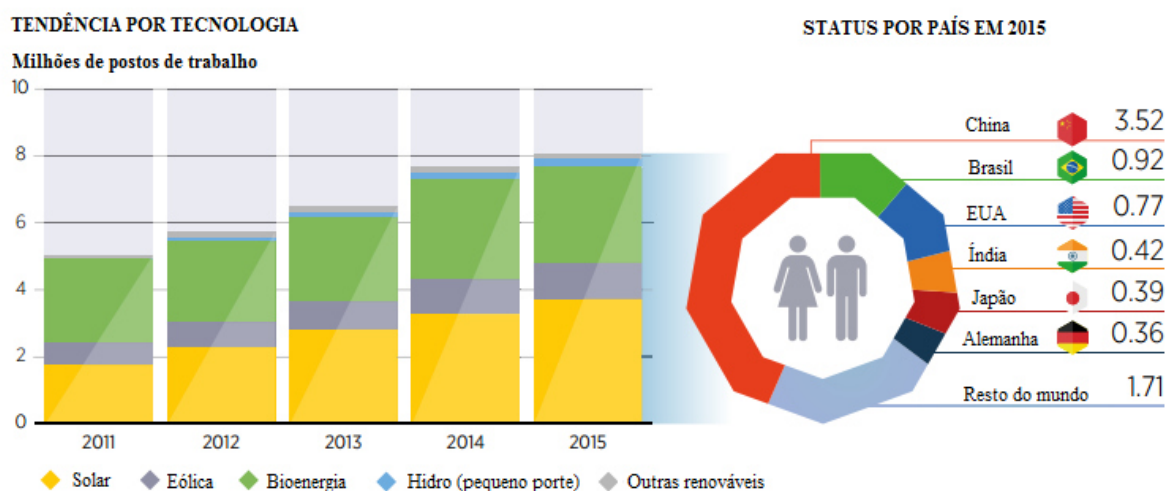
¹² O novo modelo para o (SEB) é respaldado pelas Leis nº 10.847 e 10.848, de 15 de março de 2004, e pelo Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004.

Economic Forum (WEF, 2016), a energia eólica já atingiu a paridade de rede (do inglês, *grid parity*), ou seja, essa fonte produz eletricidade com custos bastante competitivos quando comparados às fontes convencionais.

Com o benefício de um ambiente financeiro favorável, tanto nacionalmente quanto internacionalmente, os custos em toda a cadeia produtiva caíram de forma progressiva. De acordo com EPE (2016), os custos dos equipamentos têm caído de forma proporcional à maioria dos demais gastos relacionados aos empreendimentos eólicos. Entretanto, com a maior preocupação em relação às questões socioambientais, os custos para esse setor tiveram um aumento significativo, principalmente após 2009, ano em que ocorreu o primeiro leilão para energia eólica.

Na busca por redução de custos, a capacitação de profissionais e o aumento de mão de obra local permite às empresas um aumento da concorrência perante os demais atores desse mercado, ampliando, assim, as suas oportunidades e negócios. Tal fato cria oportunidades de emprego desde a fabricação das turbinas até a operação das usinas. Diante disso, o número de empregos em energias renováveis tem crescido notavelmente. Em 2015, por exemplo, houve um aumento estimado em 8,1 milhões de novos postos de trabalho. Para o setor de energia eólica, em especial, o crescimento foi de 5% em 2015, representando 1,1 milhão de empregos criados. (IRENA, 2017). O Gráfico 13 ilustra a geração de empregos no setor de energias renováveis, apresentando uma divisão por fonte e também por país.

Gráfico 13 – Geração de empregos em energias renováveis, 2011-2015.



Fonte: IRENA, 2017 (adaptado).

Para o caso brasileiro, de acordo com Simas e Pacca (2014), o potencial de geração de empregos é de 13,5 pessoas por ano para cada MW instalado, considerando o

período de fabricação e o primeiro ano de operação de uma usina. Já para o equivalente ao ciclo de vida completo de uma usina, são criados 24,5 empregos por ano. São considerados tanto empregos diretos quanto indiretos. É importante salientar que a maior parte dos empregos é criada durante a fase de construção, porém a parcela criada para operação e manutenção é mantida até o final da operação do parque.

Além disso, destaca-se ainda que o crescimento de empregos em energias renováveis está em forte contraste com o grande número de demissões mundiais nas indústrias de petróleo, gás e carvão. (IEEFA, 2017).

Nesse âmbito, é possível citar alguns fatores que favorecem a estruturação do mercado para a expansão da tecnologia eólico-elétrica. De acordo com Silva *et al.* (2013), são necessários métodos mais flexíveis de avaliação da viabilidade técnico financeira, além de condições legais mais nítidas e específicas que definam as condições fundamentais para a sustentabilidade desse mercado. Além disso, deve-se estimular a competitividade justa, levando em conta os interesses de diferentes partes, como fornecedores de serviços de energia, fabricantes de equipamentos, concessionárias, particulares, agricultores, desenvolvedores de projetos, etc. Da mesma forma, segundo Wüstenhagen e Menichetti (2012), mudanças no contexto social e institucional são fundamentais para a ampliação de investimentos em energia renovável, em geral. Saber administrar a opinião pública, bem como a aceitação da comunidade financeira é decisivo para o sucesso do financiamento de projetos energéticos sustentáveis.

4.3 POLÍTICA

O forte crescimento das fontes renováveis mundialmente se deve, principalmente, à criação de políticas de incentivo. A energia eólica, em particular, ganhou bastante atenção por apresentar características tecnológicas mais viáveis dentre as outras fontes. Segundo Ydersbond e Korsnes (2016), três fatores cruciais explicam as motivações que levaram a mudança na criação dessas políticas: aumentar a segurança do suprimento energético, criar indústrias e emprego orientados para o futuro e reduzir as emissões de GEE e a poluição local. Isso fez que com formuladores de políticas de diferentes países, com estruturas e condições distintas, pudessem orientar suas decisões rumo a um objetivo comum.

De acordo com Saidur *et al.* (2010), em geral, a maioria das políticas dos países incluem isenção de impostos, sistema de cotas (leilões), subsídios, tarifas *feed-in*¹³ (ou tarifa prêmio), envolvimento de instituições de pesquisa, implementação de metas, legislação sobre energia eólica ou de energias renováveis, além de créditos e taxas de carbono.

No Brasil, não foi diferente. Com a demanda por energia crescente devido ao crescimento econômico e demográfico, as organizações governamentais, bem como institutos de pesquisa e os legisladores, tiveram que reorientar os rumos da política energética nacional, para que fossem levados em conta os riscos associados a uma matriz energética centralizada. (BARROSO NETO, 2012). Tal fato se justifica, pois de acordo com Martins e Pereira (2011), a baixa efetividade das políticas governamentais para promover a incorporação de novas fontes de energia renováveis na matriz de geração de eletricidade era principal crítica ao desempenho brasileiro nessa área.

Nesse sentido, segundo Aquila (2015), diante da crise energética no início dos anos 2000, ocorreram algumas tentativas de incentivos a geração de energia renovável, como o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), ou o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA). Contudo, esses programas não obtiveram o resultado esperado devido à falta de regulamentação apropriada e ao desinteresse dos investidores. Assim, somente com o surgimento do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA)¹⁴, o Brasil passou a possuir uma política mais sólida de incentivo a fontes renováveis.

O objetivo principal desse programa era a diversificação da matriz energética brasileira, por meio de instrumentos (sistema de preços e cotas) que viabilizassem o desenvolvimento de fontes alternativas, sendo estas pequenas centrais hidrelétricas, biomassa e eólica. Para isso, o PROINFA foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa, foi estabelecida a meta de contratação, utilizando as tarifas *feed-in*, de 3,3 GW distribuídos proporcionalmente para as três fontes participantes. O prazo para pagamento foi definido em 20 anos. Já na segunda etapa, depois de atingida a meta de 3,3 GW, o objetivo era atingir, até 2020, 10% do consumo anual de energia a partir das fontes alternativas.

Com a implantação do novo modelo do setor elétrico, já mencionado anteriormente, foram alteradas as regras para comercialização de energia. Isso impactou

¹³ O sistema de tarifas *feed-in* é um mecanismo que visa incentivar o investimento em energias renováveis por meio de contratos de longo prazo para produtores desse tipo de energia, levando em conta os custos de geração de cada tecnologia, que tem seu preço e quantidade de energia fixados pelo Poder Executivo.

¹⁴ O PROINFA foi criado em 26 de abril de 2002, pela Lei nº 10438/02 e ajustado pela Lei nº 10.762/03 e regulamentado pelo Decreto nº 5.025/04.

diretamente na aplicação da segunda etapa do PROINFA, pois o sistema de tarifa *feed-in* foi substituído pelo modelo de contratação por leilões.

Num primeiro momento, o PROINFA representou um sinal de alta atratividade para investidores estrangeiros. A contratação para a fonte eólica foi de 1,42 GW em capacidade instalada, a preços competitivos. Criou-se, assim, uma reserva de mercado para a energia eólica, o que trouxe maior segurança aos investidores. Contudo, devido às mudanças ocorridas no modelo de contratação e de atrasos na implementação dos projetos, a segunda etapa do programa foi comprometida. Além disso, o descompasso entre a contratação de projetos de geração eólica e a construção de linhas de transmissão que escoassem essa energia causou atrasos e trouxe prejuízos para a conexão das usinas à rede.

Dessa forma, a incompatibilidade entre o sistema de tarifas *feed-in* e o novo modelo energético, por meio de leilões, levou a interrupção do PROINFA em 2007. Quanto a isso, Podcameni (2014, p.146) comenta que:

Enquanto o leilão tem como objetivo estimular a competição entre os empreendedores via preço a fim de alcançar uma minimização do custo do sistema elétrico brasileiro, a tarifa prêmio, principal instrumento de incentivo do PROINFA, tem como princípio garantir uma remuneração acima do custo de geração da fonte eólica aos empreendedores.

Com isso, apenas dois anos depois, em 2009, ocorreu o primeiro Leilão de Energia de Reserva (LER) exclusivo para energia eólica. Segundo Barroso Neto (2014), essa atitude do governo foi uma importante indicação da mudança de paradigma na política de incentivo a fontes renováveis, especialmente a fonte eólica.

Por outro lado, a imprecisão quanto à frequência de realização dos leilões é um entrave para o desenvolvimento da indústria local. Gannoun (2015) afirma que, devido a essa situação, questiona-se se esse processo deve ser revisado, para que se aponte definitivamente para uma política sólida para fontes renováveis que não leve em consideração apenas o preço, mas, principalmente a importância da fonte de geração, a qual não surgiu após a suspensão do PROINFA.

Por fim, cabe destacar que, as políticas governamentais para o desenvolvimento nacional de energia eólica ajudaram a criar uma indústria moderna, por meio de investimentos e promoção de desenvolvimento sustentável. Aliado a isso, aumenta-se a oferta de energia e assegura-se a prevenção de ocorrências de apagões, possivelmente causados devido aos longos períodos de seca. (JUÁREZ *et al.*, 2014). No entanto, alguns cuidados precisam ser tomados. De acordo com Melo, Jannuzzi e Bajay (2016), três pontos críticos precisam ser atacados: o quadro jurídico e regulamentar, o planejamento energético de longo prazo, considerando as questões socioeconômicas e climáticas e a atualização das agências de energia.

4.4 SOCIEDADE

A introdução da energia eólica no sistema de geração brasileiro já é uma realidade. Sua participação percentual no suprimento da demanda se mostra cada vez mais relevante, tendo em vista seus benefícios climáticos e ambientais. Além disso, os benefícios econômicos trazidos se mostram indispensáveis, considerando a geração de empregos, desenvolvimento da cadeia produtiva e os investimentos em ciência e tecnologia.

No entanto, todo projeto de geração de energia causa impacto, por mais sustentável que seja a fonte utilizada. No caso da eólica, não é diferente. Quando seu estabelecimento é feito de forma que afeta as condições naturais do local, muitas vezes em regiões praianas onde se encontram comunidades nativas socialmente vulneráveis, impactos sociais são gerados e conflitos legais podem emergir dessas situações.

Dentre os impactos sociais gerados por empreendimentos eólicos, Ribeiro (2013) comenta que, em pesquisa realizada na Comunidade do Cumbe, no município de Aracati (Ceará), oito impactos foram mencionados, sendo seis considerados negativos. Os principais conflitos percebidos foram a negação do direito de ir e vir e a privatização de áreas públicas. Além disso, perturbação na rotina das pessoas também foi identificada.

Tal fato exemplifica um dos aspectos mais recorrentes quanto aos impactos sociais da implantação da energia eólica, que se refere à resistência de comunidades locais. Muitas vezes, a oposição ao empreendimento é encarada como “falta de informação” ou até mesmo ignorância. Contudo, Aitken (2010) explica que as atitudes públicas em resposta aos impactos da energia eólica não devem ser examinadas somente para mitigar futuras oposições, mas sim para entender o contexto social das energias renováveis. No mesmo sentido, Brannstrom *et al.* (2016) comenta que um primeiro passo essencial é uma atitude mais inteligente seria tornar os residentes de comunidades tradicionais menos "invisíveis" e lhes permitir participar das negociações, efetivando-os como atores legítimos nos processos de planejamento e implantação.

Dessa forma, algumas medidas mitigadoras podem ser realizadas para minimizar os efeitos negativos sobre comunidades afetadas, como: garantir segurança legal da posse da terra pelas comunidades tradicionais, abatimento das contas de energia dos moradores, realização de programas permanentes de educação para as comunidades afetadas e a criação de um zoneamento territorial, com ampla participação social, que caracterize o grau de compatibilidade das regiões propícias à instalação de parques eólicos. (GORAYEB; BRANNSTROM, 2016).

Nesse sentido, é preciso compreender os aspectos sociais relacionados à inserção de energia eólica dando espaço para um debate amplamente democrático, presando pelo respeito às comunidades impactadas e atendendo ao interesse público em geral. Ademais, faz-se necessário levar em conta o grau de vulnerabilidade social das regiões ocupadas pelos empreendimentos eólicos e até que ponto os mecanismos de compensação financeira são suficientes e respondem proporcionalmente às alterações provocadas no entorno dos parques.

Diante disso, pode-se afirmar que a energia eólica deve estar em harmonia com os ambientes físicos e humanos para evitar conflitos territoriais com os usuários de recursos tradicionais, que podem criar uma visão altamente negativa da energia eólica. As empresas devem exercer um maior controle sobre os possíveis abusos, e utilizar melhor os instrumentos econômicos a seu favor. As comunidades têm um papel fundamental a desempenhar na documentação do seu território, na gestão do retorno financeiro que podem obter e no monitoramento dos impactos e dos recursos naturais locais. (BRANNSTROM *et al.*, 2016).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos cenários de crise de abastecimento elétrico e da preocupação com as mudanças climáticas, a indústria eólica tem experimentado um desenvolvimento significativo nos últimos anos. O crescimento da capacidade instalada mundial exemplifica bem esse fato. Os principais benefícios da sua implantação estão relacionados ao aquecimento global, qualidade do ar, saúde pública, diversidade energética e segurança hídrica.

No cenário mundial, o Brasil se apresenta como um dos grandes polos de crescimento dessa energia alternativa. Devido ao seu grande potencial e à vontade política do poder público, criou-se um ambiente de forte favorecimento às energias renováveis, em especial, a energia eólica. Esse panorama ajudou a criar uma indústria moderna, por meio de investimentos e promoção de desenvolvimento sustentável. Aliado a isso, aumentou-se a oferta de energia e assegurou-se a prevenção de ocorrência de apagões, possivelmente causados devido aos longos períodos de seca.

Nesse sentido, é preciso entender o contexto em que ocorre a inclusão das eólicas na matriz brasileira, no qual, assim como ocorre em diversos outros setores da sociedade, o interesse privado se sobressai ao público. E, muitas vezes, acaba por desvirtuar o papel da energia eólica como agente de proteção do clima, descentralização da produção energética e de geração de emprego, transformando-a em mera reprodutora das contradições do sistema econômico e energético vigente ao promover conflitos de terra e falta de aceitação social.

Por isso, precisam-se entender também os impactos negativos e trata-los com cautela, para que tudo esteja dentro dos parâmetros legais e sustentáveis. Nesse contexto, a implantação de parques eólicos trouxe para o Brasil a discussão sobre o caráter “limpo” dessa fonte. Visto que foram observadas diversas situações de conflito entre o interesse social e ambiental nesse processo.

Quanto aos aspectos relacionados ao meio ambiente, foram identificados impactos devido ao uso de turbinas eólicas relacionados à segurança dos animais selvagens, distúrbio no sistema biológico, poluição visual, ruído e interferência eletromagnética. Para a mitigação desses problemas, recomenda-se que os órgãos federais e estaduais responsáveis pelo licenciamento ambiental de parques eólicos exijam relatórios mais detalhados para que estes se adequem proporcionalmente a expansão da inserção desta fonte na matriz elétrica brasileira.

Os benefícios econômicos, quando administrados com responsabilidade pelo setor público, são consideráveis. O desenvolvimento de toda a cadeia produtiva, desde a fabricação

de equipamentos, com a nacionalização da produção, até a operação das usinas, gera uma quantidade expressiva de novos postos de trabalho, trazendo maior dinamismo para a indústria e incentivando o desenvolvimento tecnológico do país. Para contornar algumas das dificuldades ainda presentes, são sugeridos métodos mais flexíveis de avaliação da viabilidade técnico financeira, além de condições legais mais nítidas e específicas que unifiquem a legislação, definindo as condições fundamentais para a sustentabilidade desse mercado.

Os programas de incentivo a diversificação da matriz energética brasileira, por meio de instrumentos que viabilizassem o desenvolvimento de fontes alternativas foi essencial para o crescimento da indústria eólica nacional. A criação do PROINFA cumpriu papel relevante para a atratividade de investidores no mercado nacional. Em seguida, com o modelo de leilões específicos para fontes renováveis, sinalizou-se para uma verdadeira reforma na política energética nacional.

Contudo, acredita-se que esse modelo deva ser revisado, para que se aponte definitivamente para uma política sólida e permanente para fontes renováveis que não leve em consideração apenas o preço, mas, principalmente, a relevância dessas fontes na geração de eletricidade do país. Nesse sentido, considera-se que os leilões específicos para fontes renováveis, em especial a eólica, são boa estratégia de incentivo, assim como o estímulo ao desenvolvimento do parque industrial são atrativos para o mercado em questão.

A inserção das usinas eólicas no Sistema Interligado Nacional, por um lado, preocupa quanto ao seu caráter intermitente, porém por meio de estratégias de planejamento energético de longo prazo, é possível garantir o suprimento da demanda e, ao mesmo tempo, ajudar a diminuir o esvaziamento dos reservatórios das hidrelétricas e impedir as termelétricas, que são caras, poluentes e hidro intensivas, de operar durante longos períodos de tempo. Diante disso, para que se garanta a devida segurança no abastecimento, os problemas encontrados quanto a atrasos na construção de novas linhas de transmissão, infraestrutura das redes, além da própria instalação dos parques devem ser sanados.

Por fim, destaca-se que a transição para um sistema elétrico futuro no qual a energia eólica desempenha um papel mais proeminente terá implicações diretas e significativas sobre os diversos aspectos da economia, do meio ambiente e da sociedade. A experiência internacional mostrou que por meio de políticas de incentivo ao setor eólico, esse papel poderá ser cumprido com segurança e sustentabilidade. Para isso, os mecanismos regulatórios devem estar em consonância com o interesse público.

REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA. **Dados Mensais: Janeiro 2017**. 2017. Diretoria Técnica. Disponível em: <<http://www.abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2016/12/Dados-Mensais-ABEEolica-Dezembro-2016.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2017.

_____. **Cancelamento de leilão vai causar forte retração de investimentos da indústria eólica**. 2016. Disponível em: <<http://www.abeeolica.org.br/noticias/cancelamento-de-leilao-vai-causar-forte-retracao-de-investimentos-da-industria-eolica/>>. Acesso em: 14 dez. 2016.

AITKEN, Mhairi. Why we still don't understand the social aspects of wind power: A critique of key assumptions within the literature. **Energy Policy**, [s.l.], v. 38, n. 4, p.1834-1841, abr. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.11.060>.

AMARANTE, Odilon A. C. *et al.* **Complementaridade sazonal dos regimes hidrológico e eólico no Brasil**. DEWI Magazin, n. 19, 2001.

ANEEL. **Brasil registra recorde anual de nova capacidade instalada de geração em 2016**. 2017. ASSESSORIA DE IMPRENSA. Disponível em: <<https://goo.gl/VzF1ZV>>. Acesso em: 09 jan. 2017.

_____. **BIG - Banco de Informações de Geração: Fontes de Energia**. 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cfm>>. Acesso em: 09 jan. 2017.

_____. Resolução Normativa nº 247. Estabelece as condições para a comercialização de energia elétrica, oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas, com unidade ou conjunto de unidades consumidoras cuja carga seja maior ou igual a 500 kW e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. 21 dez. 2006.

AQUILA, Giancarlo. **Análise do impacto dos programas de incentivos para viabilizar economicamente o uso de fontes de energia renovável**. 2015. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.

BARROSO NETO, Hildeberto. **Avaliação do processo de implementação do Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA), no Estado do Ceará: a utilização da fonte eólica**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2012. 222p.

BERNARD, Enrico *et al.* Blown in the wind: bats and wind farms in Brazil. **Natureza & Conservação**, [s.l.], v. 12, n. 2, p.106-111, jul. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2014.08.005>.

BNEF, Bloomberg New Energy Finance (EUA). **New Energy Outlook 2016**. 2016. Disponível em: <<https://www.bnef.com/dataview/new-energy-outlook-2016/index.html#section-0>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

BORGES, Luiz Ferreira Xavier. **PROJECT FINANCE E INFRA-ESTRUTURA: DESCRIÇÃO E CRÍTICAS**. 2002. Disponível em:

<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev905.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2016.

BRANNSTROM, Christian et al. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 67, p.62-71, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.047>.

BRASIL. **Pesquisa sobre licenciamento ambiental de parques eólicos**. Ministério do Meio Ambiente. 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/estruturas/164/publicacao/164publicacao26022010101115.pdf>>. Acesso em 02 out. 2016.

BREEZE, Paul. Drive Trains, Gearboxes, and Generators. **Wind Power Generation**, [s.l.], p.41-48, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-804038-6.00005-0>.

BREGMAN, Daniel. IMPACTOS E ASPECTOS FINANCEIROS DA ASCENSÃO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL. **Interface**, Natal, v. 12, n. 2, p.27-45, jul. 2015. Semestral.

British Petroleum. **BP Energy Outlook: Outlook to 2035**. 2016. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2016/bp-energy-outlook-2016.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2017.

BWE. **Wind Power and Nature Conservation**. 2016. Bundesverband WindEnergie. Disponível em: <<https://goo.gl/PYrs1v>>. Acesso em: 18 jan. 2017.

CALIXTO, Bruno. **Plano do governo para descontratar energia pode afetar indústrias eólica e solar**: O governo avalia que está com energia de sobra e pretende se desfazer de usinas já contratadas, incluindo projetos de energias renováveis. Revista Época. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/aI6jMc>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

CONAMA. Resolução nº 462. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. 24 jul. 2014, Sec. 1, p. 96.

_____. Resolução nº 001. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. 23 jan. 1986.

COSTA, Alexandre Araújo. **Eólicas: para quem, para quê, como?** 2014. Disponível em: <<http://oquevocefariasesoubesse.blogspot.com.br/2014/12/eolicas-para-quem-para-que-como.html>>. Acesso em: 12 out. 2016.

CRESESB (Brasília) (Org.). **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas do Potencial Eolico Brasileiro.pdf>. Acesso em: 03 out. 2016.

DAI, Kaoshan *et al.* Environmental issues associated with wind energy – A review. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 75, p.911-921, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.074>.

DWIA, Danish Wind Industry Association. **Where Does Wind Energy Come From?** 2013. Disponível em: <<http://xn--drmstre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/en/tour/wres/index.htm>>. Acesso em: 02 out. 2016.

EPE. Ministério de Minas e Energia. **Energia Renovável: Hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica.** Maio 2016. Mauricio Tiomno Tolmasquim. Disponível em: <<https://goo.gl/NZKNHh>>. Acesso em: 02 out. 2016.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Energia 2023.** 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/wgTZwM>>. Acesso em 02 out. 2016.

_____. **EXPANSÃO DA GERAÇÃO: Empreendimentos Eólicos.** Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia Elétrica. Ministério de Minas e Energia. Abril 2012.

FMI. **How Large Are Global Energy Subsidies?** 2015. Disponível em: <<https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2015/wp15105.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2016. Elaborado por: David Coady, Ian Parry, Louis Sears e Baoping Shang.

GANNOUM, Elbia Silva. O Desenvolvimento da Indústria de Energia Eólica no Brasil: aspectos de inserção, consolidação e sustentabilidade. **Cadernos Adenauer**, Rio de Janeiro, v. 15, n.3 , p.57-71, 14 abr. 2015. Trimestral. Disponível em: <<http://www.kas.de/wf/doc/15613-1442-5-30.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2016.

GORAYEB, Adryane; BRANNSTROM, Christian. Caminhos Para Uma Gestão Participativa Dos Recursos Energéticos De Matriz Renovável (Parques Eólicos) No Nordeste Do Brasil. **Mercator**, [s.l.], v. 15, n. 01, p.105-115, 26 mar. 2016. Mercator - Revista de Geografia da UFC. <http://dx.doi.org/10.4215/rm2016.1501.0008>.

GUPTA, Neeraj. A review on the inclusion of wind generation in power system studies. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 59, p.530-543, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.009>.

GWEC, Global Wind Energy Council. **Global Wind Report: Annual Market Update 2015.** Bruxelas, Bélgica. Disponível em: <<https://goo.gl/GZHo9C>>. Acesso em: 02 out. 2016.

_____. **Global Wind Energy Outlook 2016.** Bruxelas, Bélgica. Disponível em: <<https://goo.gl/ztdTbH>>. Acesso em: 03 nov. 2016.

HUESCA-PÉREZ, María Elena; SHEINBAUM-PARDO, Claudia; KÖPPEL, Johann. Social implications of siting wind energy in a disadvantaged region – The case of the Isthmus of Tehuantepec, Mexico. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 58, p.952-965, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.310>.

IEEFA, Institut for Energy Economics and Financial Analysis. **China's Global Renewables Expansion: How the World's Second-Biggest Economy Is Positioned to Lead the World in Clean-Power Investment.** 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/7foyqd>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

IRENA, International Renewable Energy Agency. **REthinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation**. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/O9wT7c>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

JUÁREZ, Alberto Aquino et al. Development of the wind power in Brazil: Political, social and technical issues. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 39, p.828-834, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.086>.

KONZEN, Gabriel. **5 maneiras de mitigar os efeitos da geração intermitente**. 2016. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/5-man-eiras-de-mitigar-os-efeitos-da-gera-cao-gabriel-konzen?trk=prof-post>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

KUMAR, Yogesh *et al.* Wind energy: Trends and enabling technologies. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 53, p.209-224, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.200>.

LEUNG, Dennis Y.c.; YANG, Yuan. Wind energy development and its environmental impact: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 16, n. 1, p.1031-1039, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.024>.

LUCAS, Manuela de *et al.* Griffon vulture mortality at wind farms in southern Spain: Distribution of fatalities and active mitigation measures. **Biological Conservation**, [s.l.], v. 147, n. 1, p.184-189, mar. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2011.12.029>.

MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, Anthony L. **Wind energy explained: theory, design and application**. 2nd ed. Chichester, England: Wiley, c2009. xii, 689 p. ISBN 9780470015001.

MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno. Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil. **Energy Policy**, [s.l.], v. 39, n. 7, p.4378-4390, jul. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.058>.

MELO, Conrado Augustus de; JANNUZZI, Gilberto de Martino; BAJAY, Sergio Valdir. Nonconventional renewable energy governance in Brazil: Lessons to learn from the German experience. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 61, p.222-234, ago. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.054>.

NEVES, Evelina; PAZZINI, Luiz Henrique Alves. Fundamentos da Comercialização de Energia Elétrica no Brasil. In: NERY, Eduardo (Org.). **Mercados e Regulação de Energia Elétrica**. [S.l.]: Interciência, 2015. Cap. 3. p. 57-152. Elaborado por: CIGRÉ-Brasil.

ONS. **Boletim Mensal de Geração Eólica**: Dezembro/2016. 2016. Disponível em: <http://www.ons.org.br/download/resultados_operacao/boletim_mensal_geracao_eolica/Boletim_Eolica_out_2016.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2017.

_____. **Geração de Energia: Eólica**. 2016. Disponível em: <http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia_out.aspx?area=#>. Acesso em: 09 jan. 2017.

_____. **Geração de Energia: Hidráulica**. 2016. Disponível em: <http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia_out.aspx?area=>>. Acesso em: 09 jan. 2017.

PODCAMENI, Maria Gabriela von Bochkor. **Sistemas de Inovação de Energia Eólica: A Experiência Brasileira**. 2014. 364 f. Tese (Doutorado) - Curso de Economia, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

RAMPINELLI, Giuliano Arns; ROSA JUNIOR, Celso Generoso da. Análise da Geração Eólica na Matriz Brasileira de Energia Elétrica. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Pitanga, v. 14, n. 2, p.273-302, dez. 2012. Semestral.

Renewables Now. **Germany's DEWI estimates Brazil's wind potential at 500 GW**. 2015. Disponível em: <<https://renewablesnow.com/news/germanys-dewi-estimates-brazils-wind-potential-at-500-gw-491635/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

RIBEIRO, Gilmar Lopes. **Parques eólicos - Impactos socioambientais provocados na região da praia do Cumbe, no município de Aracati Ceará**. 2013. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2013.

SAIDUR, R. *et al.* A review on global wind energy policy. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 14, n. 7, p.1744-1762, set. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.007>.

SCHMIDT, Johannes; CANCELLA, Rafael; PEREIRA, Amaro O. The role of wind power and solar PV in reducing risks in the Brazilian hydro-thermal power system. **Energy**, [s.l.], v. 115, p.1748-1757, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.059>.

_____. The effect of windpower on long-term variability of combined hydro-wind resources: The case of Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 55, p.131-141, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.159>.

SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (Brasil). Observatório do Clima (Comp.). **Ceará - 2015**. 2015. Disponível em: <<http://plataforma.seeg.eco.br/territories/ceara/card?year=2015>>. Acesso em: 19 nov. 2016.

_____. MONITOR ELÉTRICO (Brasil). Observatório do Clima (Comp.). **PARTICIPAÇÃO DAS FONTES NA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE**. 2015. Disponível em: <<http://monitoreletrico.seeg.eco.br/>>. Acesso em: 19 nov. 2016.

SIMAS, Moana; PACCA, Sergio. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 27, n. 77, p.97-116, 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142013000100008>.

_____. Assessing employment in renewable energy technologies: A case study for wind power in Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 31, p.83-90, mar. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.046>.

SILVA, Neilton Fidelis da *et al.* Wind energy in Brazil: From the power sector's expansion crisis model to the favorable environment. **Renewable And Sustainable Energy**

Reviews, [s.l.], v. 22, p.686-697, jun. 2013. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.054>.

SILVA, Rodrigo Corrêa da; MARCHI NETO, Ismael de; SEIFERT, Stephan Silva. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 59, p.328-341, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.001>.

STIEBLER, Manfred SPRINGERLINK (ONLINE SERVICE). Wind Energy Systems for Electric Power Generation. **Springer eBooks** Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. (Green Energy and Technology,) ISBN 9783540687658. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-68765-8>>. Acesso em: 21 out. 2016.

TABASSUM-ABBASI *et al.* Wind energy: Increasing deployment, rising environmental concerns. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 31, p.270-288, mar. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.019>.

VALENÇA, Rebeca Beltrão; BERNARD, Enrico. Another blown in the wind: bats and the licensing of wind farms in Brazil. **Natureza & Conservação**, [s.l.], v. 13, n. 2, p.117-122, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2015.09.001>.

WANG, Shifeng; WANG, Sicong. Impacts of wind energy on environment: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 49, p.437-443, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.137>.

WEF. **Renewable Infrastructure Investment Handbook: A Guide for Institutional Investors**. 2016. World Economic Forum. Disponível em: <<https://goo.gl/MmYw05>>. Acesso em: 09 jan. 2017.

WISER, Ryan *et al.* Long-term implications of sustained wind power growth in the United States: Potential benefits and secondary impacts. **Applied Energy**, [s.l.], v. 179, p.146-158, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.123>.

WÜSTENHAGEN, Rolf; MENICHETTI, Emanuela. Strategic choices for renewable energy investment: Conceptual framework and opportunities for further research. **Energy Policy**, [s.l.], v. 40, p.1-10, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.050>.

YDERSBOND, Inga Margrete; KORSNES, Marius Støylen. What drives investment in wind energy? A comparative study of China and the European Union. **Energy Research & Social Science**, [s.l.], v. 12, p.50-61, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2015.11.003>.