

ESTUDO COMPARATIVO DO APROVEITAMENTO DE ENERGIA EÓLICA NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL X ALEMANHA

Renato Santos Freire Ferraz¹

Brenda Leal Mota Santos²

Patrick Laurient Cardoso Silva³

Rafael Santos Freire Ferraz⁴

Adjeferson Custódio Gomes⁵

RESUMO

O considerável aumento da demanda energética, além da preocupação ambiental têm proporcionado relevantes alterações na estrutura do sistema elétrico atual, fundamentados na inserção de fontes alternativas de energia. O Brasil conta com uma expressiva participação dessas fontes em sua matriz energética, devido a geração hidráulica, contudo há a necessidade de diversificação, visto que, além dos problemas socioambientais gerados pelas usinas hidrelétrica, há a irregularidade do ciclo hidrológico brasileiro, que reduz a quantidade de energia gerada nos períodos de seca. Nesse contexto, a energia eólica surge como uma alternativa sustentável de diversificar a matriz energética. Desse modo, através da revisão da literatura, foi realizado um levantamento da situação e das perspectivas da energia eólica no cenário brasileiro, mais especificamente na Região Nordeste, apresentando variáveis como velocidade dos ventos, altitude e suas influências nesse tipo de geração. Em seguida, realizou-se uma análise comparativa, entre a capacidade de geração do Nordeste brasileiro e Alemanha, com base nos parâmetros citados anteriormente. Finalmente, abordou-se incentivos e políticas governamentais do

¹ Graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). E-mail: renatofferraz@gmail.com

² Graduanda em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). E-mail: brenda.leal.mota@gmail.com

³ Graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). E-mail: patrick_lorran@hotmail.com

⁴ Mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). E-mail: rafael.ferraz@ee.ufcg.edu.br

⁵ Docente em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). E-mail: acgomes@uesc.br

Brasil e Alemanha, que justificam a superioridade do país Europeu no que diz respeito à quantidade gerada de energia eólica, mesmo com condições climáticas desfavoráveis em relação ao Brasil.

Palavras-chave: Energia; Eólica; Políticas; Renovável; Sustentabilidade.

A COMPARATIVE STUDY OF THE USE OF WIND ENERGY IN THE NORTHEAST REGION OF BRAZIL X GERMANY

ABSTRACT

The considerable increase in energy demand, in addition to the environmental concern, has promoted relevant changes in the structure of the current electric system, based on the insertion of alternative energy sources. Brazil has a significant share of alternative energy sources in its energy matrix, due to hydraulic generation, however, there is a need for diversification, because, in addition to the socio-environmental problems generated by hydroelectric plants, there is an irregularity in the Brazilian hydrographic cycle, which reduces the amount of electricity generated during drought periods. In this context, wind energy emerges as a sustainable alternative to diversify the energy matrix. Thus, through the literature review, it was made a Study of information and data collection about the wind energy situation and perspectives in the Brazilian scenario, more specifically in the Northeast, showing variables such as wind velocity, altitude and their influences on the wind generation. Then, a comparative analysis was performed between the generation capacity of the Brazilian Northeast and Germany, based on the parameters mentioned above. Finally, were approached the Brazilian and German governmental incentive and policies, which justify the European country's superiority in terms of the amount of wind power generated, even with unfavorable climatic conditions in relation to Brazil.

Keywords: Energy; Wind; Policies; Renewable; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, existe uma grande demanda pela diversificação da matriz elétrica mundial, portanto, surge como alternativa a exploração dos recursos energéticos renováveis. Sabe-se que esses recursos se baseiam no uso do vento, sol, mar, geotermia, esgoto, lixo e dejetos animais [1]. No cenário mundial ressalta-se que, segundo a Rede de Políticas de Energia Renovável para o Século XXI (REN21), no ano de 2017 o país que teve maior investimento em fontes e combustíveis renováveis foi a China, seguido dos Estados Unidos, Brasil, Alemanha e Índia [2].

Entretanto, o fato de o Brasil estar inserido entre as nações com maior investimento mundial em fontes renováveis se dá devido à predominância no setor elétrico brasileiro das usinas hidrelétricas, que corresponde a 64,5% da produção total. Sabe-se, que essa predominância é positiva no que tange o aspecto ambiental, já que essa matriz não tem como matéria prima os combustíveis fósseis [3]. Em contrapartida, deve-se salientar, que a intermitência do ciclo hidrológico nacional prejudica a produção de energia elétrica em alguns períodos do ano, necessitando ativar outros tipos de usinas para suprir a demanda nacional, como é o caso das termoeletricas. Por esse motivo, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), adotou, a partir de ano de 2015, o Sistema de Bandeira Tarifária, em que repassa o acréscimo no valor da energia ao consumidor final, com base nas condições de geração de eletricidade [4].

Nesse contexto, a energia eólica surge como uma opção de diversificar a matriz elétrica nacional, mitigando alguns problemas citados anteriormente. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN), a produção de energia elétrica no Brasil a partir dos ventos, no ano de 2016, correspondeu a somente 6,73% do total gerado [3]. Além disso, desse percentual, constata-se que há uma concentração expressiva na região Nordeste, correspondendo a 81,09% do valor total, que se dá, principalmente, devido a condições climáticas favoráveis na região [3]. É possível observar, na Figura 1, a distribuição da capacidade instalada no Brasil, entre os anos de 2007 a 2016, para as três principais matrizes energéticas (Eólica; termoeletrica; hidrelétrica).

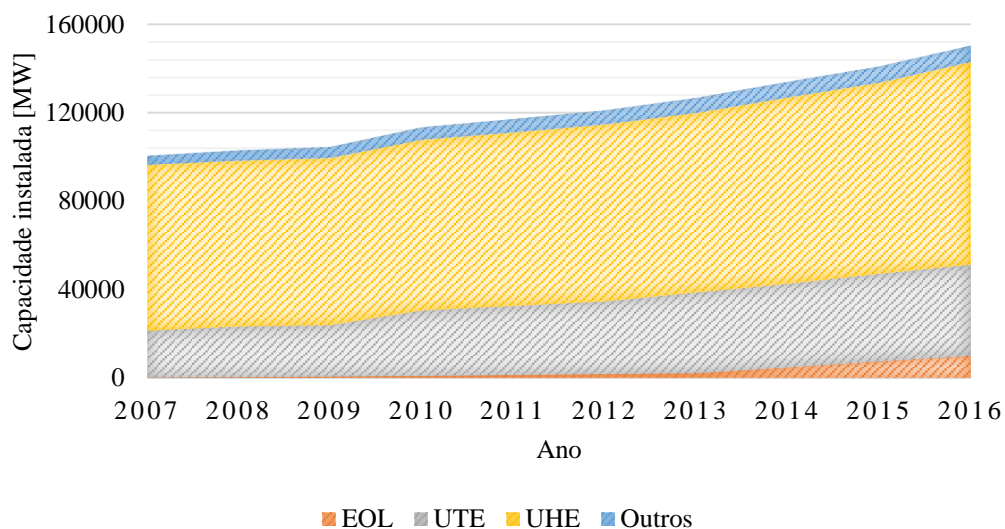


Figura 1: Gráfico da capacidade instalada de energia elétrica no Brasil por fonte.

Fonte: Balanço Energético Nacional (2008-2017) [3,5-13].

Nota-se, a partir da Figura 1, que apesar da contribuição da energia eólica no cenário nacional ser muito baixa, há uma ascensão desse tipo de geração nos últimos anos.

Dessa forma, observa-se uma forte tendência de estudos recentes que buscam analisar a aplicabilidade dos ventos na geração de eletricidade no Brasil. A partir do estudo de [14], é possível observar que o autor buscou analisar as vantagens e desvantagens para a geração eólica no Brasil e suas perspectivas de ampliação. Ficou claro o grande potencial da região Nordeste por conta da topografia favorável, contudo ainda há a necessidade de políticas adequadas para que a atividade seja de fato viável economicamente. Outrossim, em [15] abordou-se o aproveitamento eólico no Brasil como forma de reduzir impactos socioambientais e outras fontes, além de destacar o PROINFA como meio de incentivo para esse tipo de geração no país, que torna possível a construção de novos parques eólicos, que estão localizados principalmente na região Nordeste e Sul do Brasil.

Portanto, o presente trabalho buscou abordar de forma detalhada o contexto nacional da capacidade de geração eólica no país, enfatizando na região Nordeste, que se apresenta como alto potencial nesse tipo de geração. Outrossim, para elucidar a situação da região brasileira analisada no cenário mundial, comparou-se o potencial de geração e capacidade instalada do Nordeste com a Alemanha, considerado como maior produtor de energia eólica por habitante do mundo. Sendo que as políticas e incentivos nacionais não contribuem suficientemente para que a energia proveniente dos ventos seja melhor aproveitada, a partir de suas condições climáticas e topográficas favoráveis.

2. DESENVOLVIMENTO

Nesta seção foi abordado, a princípio, o estudo e comparação do potencial de geração de energia eólica das macrorregiões brasileiras, com ênfase na região Nordeste, por conseguinte, comparou-a em relação Alemanha. Além disso, abordou-se as políticas públicas governamentais em ambas localidades, afim de fundamentar as discrepâncias da capacidade instalada, percorridas na primeira etapa.

a. Panorama da produção de energia eólica na região Nordeste

A matriz elétrica brasileira é de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica, a qual no ano de 2016 apresentou um percentual em torno de 68,1% da oferta interna. Todavia a irregularidade do ciclo hidrológico nacional afeta a geração de energia elétrica em alguns períodos do ano, fazendo com que haja a necessidade de acionar outros tipos de usinas para suprir a demanda nacional, como é o caso das termoeletricas [4].

Nesse contexto, no ano de 2014, por exemplo, o setor elétrico brasileiro enfrentou adversidades devido à escassez de chuvas, o que fez com que comprometesse o abastecimento de reservatórios das principais centrais hidrelétricas. Assim, as usinas térmicas foram acionadas, fazendo com que houvesse a elevação da tarifa energética [16].

Diante disso, surge a energia eólica como uma alternativa a diversificação da matriz elétrica brasileira. A energia eólica apresenta peculiaridades que faz com que sua implementação seja favorável, como é o caso da renovabilidade, perenidade, grande disponibilidade, independência de importações e custo zero para obtenção de suprimento (ao contrário do que ocorre com as fontes fósseis [1]). Contudo, apresenta desvantagens, principalmente em função do fornecimento descontínuo de energia, já que a geração depende diretamente da velocidade do vento [17]. Por esse motivo, observou-se a ascensão de trabalhos como [18], que buscam realizar previsão de velocidade do vento através de inteligência artificial e métodos estatísticos.

No que tange a capacidade de geração eólica, o Brasil é favorecido em termos de ventos, já que possui uma velocidade média anual duas vezes superior à média mundial, além de uma volatilidade de 5% (oscilação da velocidade), o que dá maior previsibilidade ao volume a ser produzido. Ademais, como a velocidade costuma ser maior em períodos de estiagem, a energia proveniente dos ventos torna-se uma opção complementar para o sistema de geração hidráulico [1].

Nesse cenário, no Brasil, produção de energia elétrica de origem eólica alcançou 33.489 *GWh*, no ano de 2016, equivalente a um crescimento de 54,9% em relação ao ano anterior, no qual atingiu-se 21.626 *GWh*. Ainda em 2016, a potência instalada para geração eólica no Brasil expandiu 33%. Além disso, o parque eólico nacional cresceu 2.491 *MW*, alcançando 10.124 *MW* ao final de 2016 [3].

Diante de tudo exposto, realizou-se uma análise comparativa em termos de capacidade instalada da energia eólica entre as macrorregiões brasileiras entre os anos de 2010 a 2016, como presente na Figura 1. É possível perceber que nesses anos houve uma ascensão significativa em relação a capacidade instalada, com destaque para a região Nordeste.

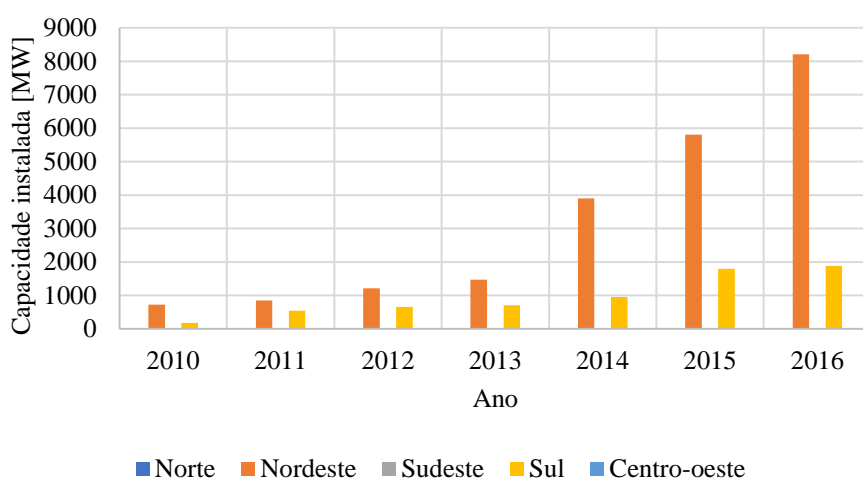


Figura 2: Gráfico da capacidade instalada de energia eólica nas regiões do Brasil.

Fonte: Balanço Energético Nacional (2011-2017) [3,8-13].

Nota-se, que a expansão da capacidade instalada e a grande incidência de ventos no Nordeste tem feito com que sejam registrados sucessivos recordes de geração de energia eólica na região. Em termos de fator de capacidade, considerando o porte do parque por UF, a Bahia apresenta o mais significativo indicador, de 40,1% [19]. Além disso, segundo dados do Operador Nacional do Sistema (2016), usinas eólicas atenderam 50% da demanda do nordeste.

Dessa forma, observa-se na Figura 3, a capacidade instalada entre os anos de 2013 a 2016, em alguns estados que se destacam na região Nordeste.

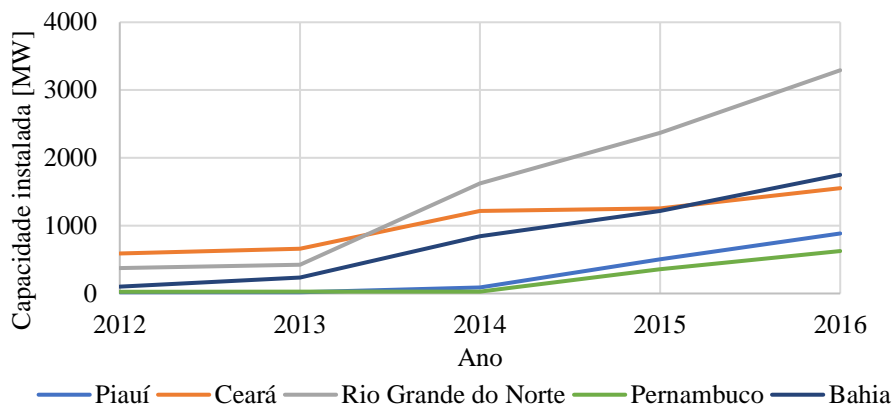


Figura 3: Gráfico da capacidade instalada de energia eólica nos estados da região Nordeste do Brasil.

Fonte: Balanço Energético Nacional (2013-2017) [3,10-13].

Analisando a Figura 3, observa-se o destaque dos estados: Rio Grande do Norte, Bahia e Ceará, em relação a geração de energia eólica. Fica claro, que esses estados têm como característica comum a localização na faixa litorânea do país, visto que essas áreas possuem as maiores velocidades médias anuais, entre 6 a 6,5 m/s a 60 m de altura [20].

Contanto, a exemplo do que ocorre com outras fontes, como a hidráulica, a obtenção da energia eólica também pressupõe a existência de condições naturais específicas e favoráveis. A avaliação destas condições – ou do potencial eólico de determinada região – requer trabalhos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime dos ventos [1].

É importante ressaltar que a velocidade do vento é o parâmetro principal na avaliação no potencial de geração eólica de uma determinada região. Dessa forma, a avaliação de uma localidade no qual deseja-se instalar turbinas eólicas relaciona-se com os parâmetros que influenciam nos regimes dos ventos, destacando-se: a variação da velocidade com a altura; rugosidade do terreno (vegetação, utilização da terra e construções); presença de obstáculos nas redondezas; relevo que pode causar desaceleração do vento [21].

Deve-se levar em conta, que para a geração de energia eólica seja tecnicamente viável, é necessário que sua densidade seja igual ou superior a $500 W/m^2$, a uma altura de 50 m , o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s [1,22]. Porém, segundo a Organização Mundial de Meteorologia, apenas 13% da superfície terrestre possui velocidade média igual ou superior a 7 m/s a 50 m de altura, sendo que na América Latina esse percentual chega a 10% [1]. Dessa forma, é possível observar na Figura 4, velocidade média da região Nordeste do Brasil para uma altura de 50 m .

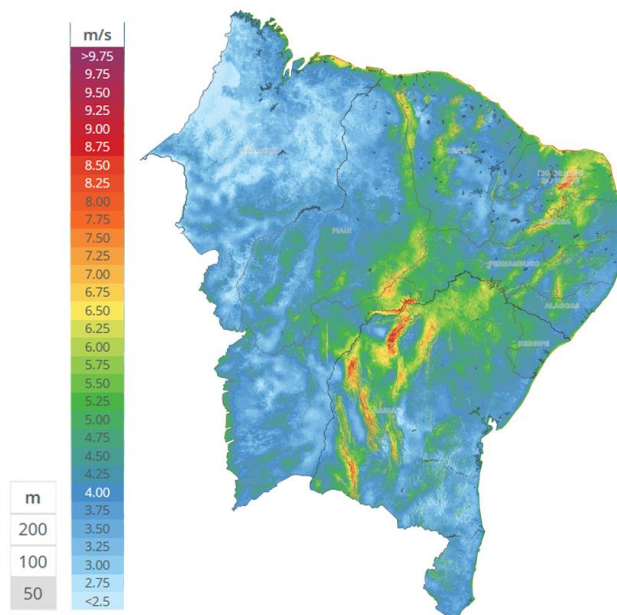


Figura 4: Mapa da velocidade média do vento na região Nordeste a uma altura de 50 m.

Fonte: Global Wind Atlas [23].

A partir da análise da Figura 4, nota-se a presença de diversas áreas que atendem ao requisito recomendado pela ANEEL, possuindo uma velocidade média superior a 7 m/s. Como consequência disso, essas áreas tornam-se altos potenciais de geração de energia eólica, como é possível visualizar na Figura 5, em que exibe o valor de densidade média de potência média (W/m^2) para uma altura de 50 m.

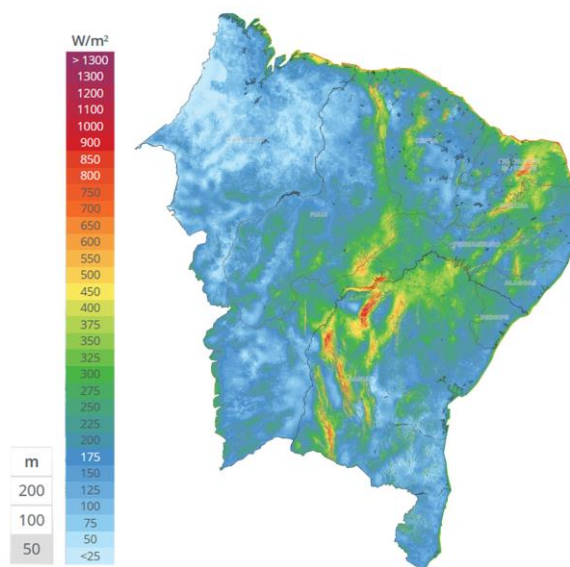


Figura 5: Mapa da densidade média de potência de energia eólica na região Nordeste a uma altura de 50 m.

Fonte: Global Wind Atlas [23].

Constata-se, a partir da Figura 5, que existem algumas partes da região Nordeste que possuem uma densidade média de potência superior à recomendada 500 W/m^2 , sendo estas compatíveis com as áreas com as velocidades maiores que 7 m/s , já que essas variáveis são diretamente proporcionais. Na Figura 6 está presente o mapa da região Nordeste referente à velocidade medida do vento, à uma altura de 100 m .

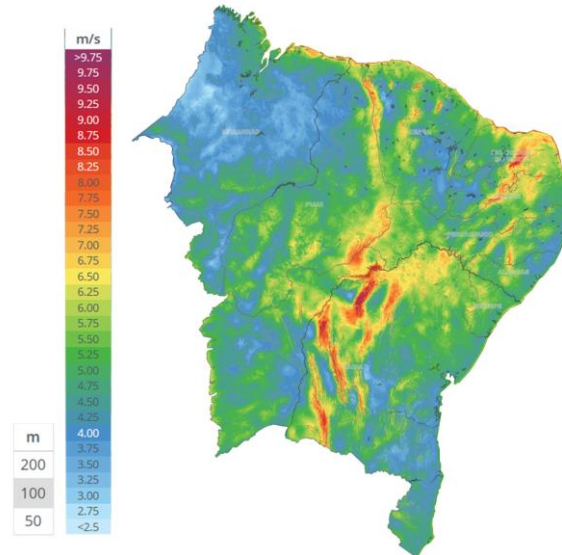


Figura 6: Mapa da velocidade média do vento na região Nordeste a uma altura de 100 m .

Fonte: Global Wind Atlas [23].

Fica claro, a partir das Figuras 6, que quanto maior a altura em que a variável foi analisada, maior será a velocidade do vento, que acarreta em uma densidade de energia capaz de ser gerada superior, observada nas Figuras 7.

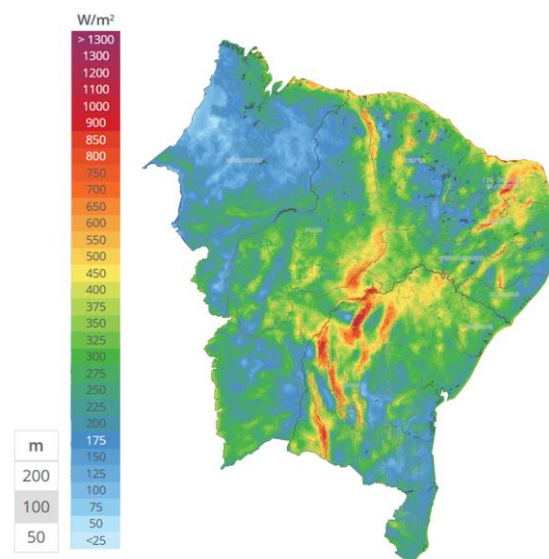


Figura 7: Mapa da densidade média de potência de energia eólica na região Nordeste a uma altura de 100 m .

Fonte: Global Wind Atlas [23].

Para comprovar a influência da altura na velocidade do vento, está presente na Equação (1) a Lei das potências (*Power law*), que consiste em um modelo simplificado relacionando as velocidades à uma altura referência z_r e à altura deseje z [24, 25].

$$V(z) = V(z_r) \left(\frac{z}{z_r} \right)^n \quad (1)$$

Onde:

$V(z_r)$ - Velocidade na altura referência z_r .

$V(z)$ - Velocidade na altura desejada z .

z_r - Altura de referência.

z - Altura de desejada.

n - Parâmetro associado à rugosidade da superfície.

É possível notar que a velocidade média do vento depende da rugosidade do ambiente (n) que está sendo analisado, podendo ser: superfície lisa; grama baixa; vegetação rasteira; áreas residenciais, entre outros [25]. Além disso, analisando a Equação (1), nota-se que a altura é diretamente proporcional à velocidade média, ficando evidente no gráfico da Figura 8 (supondo um ambiente com grama baixa com parâmetro $n = 0,14$).

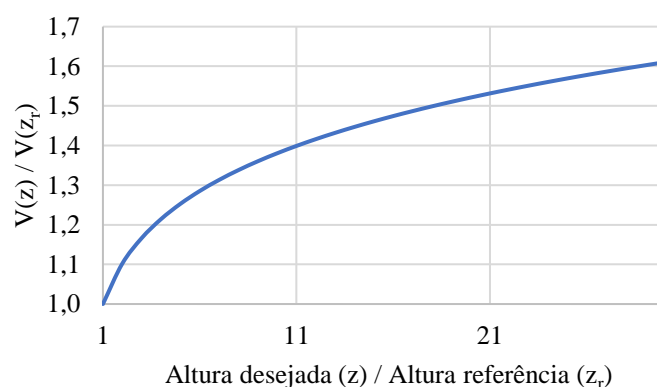


Figura 8: Gráfico que relaciona a velocidade média com a altura.

Dessa forma, com base na conclusão de que a altura é um fator determinante na velocidade do vento, este torna-se um parâmetro fundamental na análise das áreas com maior potencial eólico, e conseqüentemente mais promissoras para instalação de parques eólicos. Por esse motivo, está presente na Figura 9 o mapa que descreve a altitude da região Nordeste.

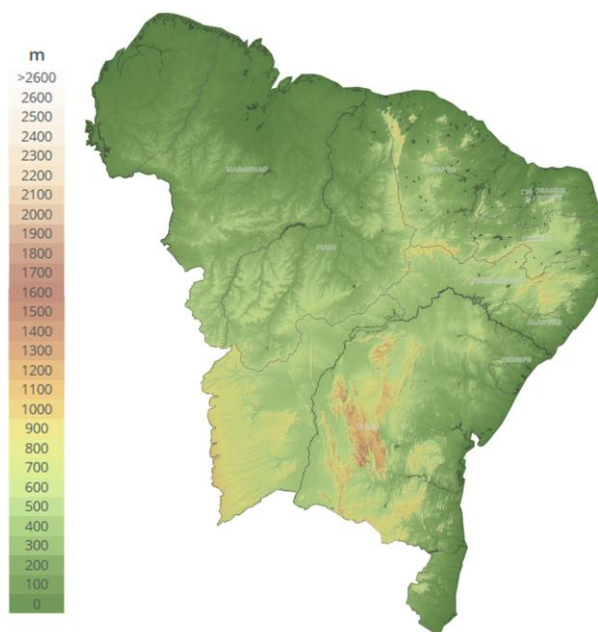


Figura 9: Mapa da altitude da região Nordeste.

Fonte: Global Wind Atlas [23].

Pode-se concluir, comparando o mapa da Figura 9 com os das Figuras 4 e 6, que as regiões com maior altitude e maior velocidade do vento são mais favoráveis para produção de energia elétrica proveniente dos ventos, possuindo a maior densidade média de potência (Figuras 5 e 7). Para evidenciar esse fato, está presente na Figura 10, o mapa da região Nordeste que destaca as usinas eólicas existentes (indicada em verde).

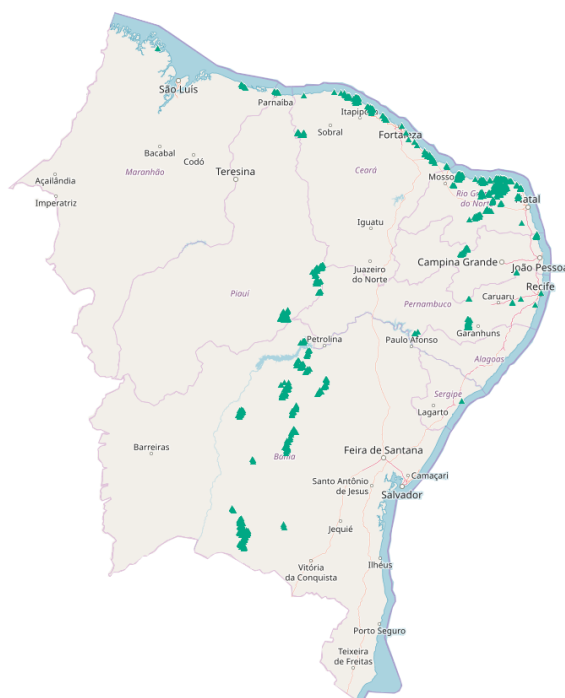


Figura 10: Mapa que indica os parques eólicos presentes na região Nordeste.

Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [26].

A partir da Figura 10, nota-se que os parques eólicos se concentram nas regiões com maior altitude, maior velocidade do vento e por conseguinte maior densidade média de potência.

b. Análise da situação da região Nordeste no contexto mundial

No cenário mundial o crescimento da produção de energia eólica no ano de 2016 em relação ao ano anterior foi modesto, com uma ascensão acumulada de 11%. Contudo, algumas nações da Europa e Índia, obtiveram recordes no crescimento da capacidade instalada de energia eólica, que se deu principalmente devido a mudanças nas políticas e regulamentações relacionadas à área; desenvolvimento de uma competitividade dos custos para esse tipo de geração e benefícios ambientais da instalação. Ademais, a redução do preço da energia elétrica proveniente dos ventos, tem tornado os parques e geradores eólicos opções extremamente viáveis para a diversificação da matriz elétrica mundial. Na Figura 11 está presente o gráfico da potência instalada da energia eólica em função da quantidade habitante, dos 6 maiores produtores, durante os anos de 2011 a 2016 [2].

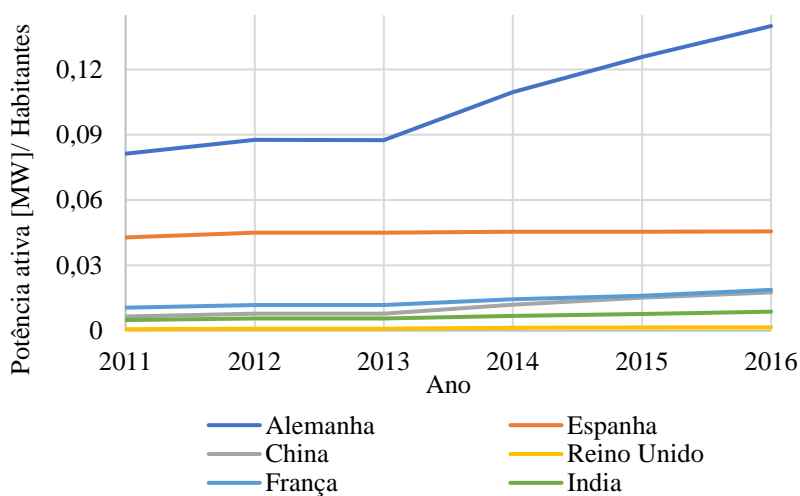


Figura 11: Gráfico do potencial de energia eólica por habitante.

Fonte: Global Wind Report [27-32].

Nota-se, que a Alemanha é a terceira nação em geração de energia eólica, em que no ano de 2016, acrescentou a instalação de 6,6 *GW*, em um total de 56,1 *GW*. Com isso, devido ao aumento da capacidade instalada e das melhores condições de recursos eólicos, esse tipo de geração ocupou 19% da produção total de energia elétrica da Alemanha. Deve-se destacar apesar do baixo crescimento entre 2011 a 2016, a Espanha possui uma alta capacidade instalada de energia eólica. Porém, de acordo com o REN 21, em 2017 o país observou seu maior crescimento em 4 anos, com 96 *MW* [2].

Com isso, para realizar uma comparação da capacidade instalada com potencial de geração, entre a região Nordeste com a Alemanha, que é referência na geração eólica, utilizou-se os mesmos mapas analisados anteriormente, para o país europeu. Inicialmente, na Figura 12, está presente o mapa da velocidade média do vento na Alemanha a uma altura de 50 m.

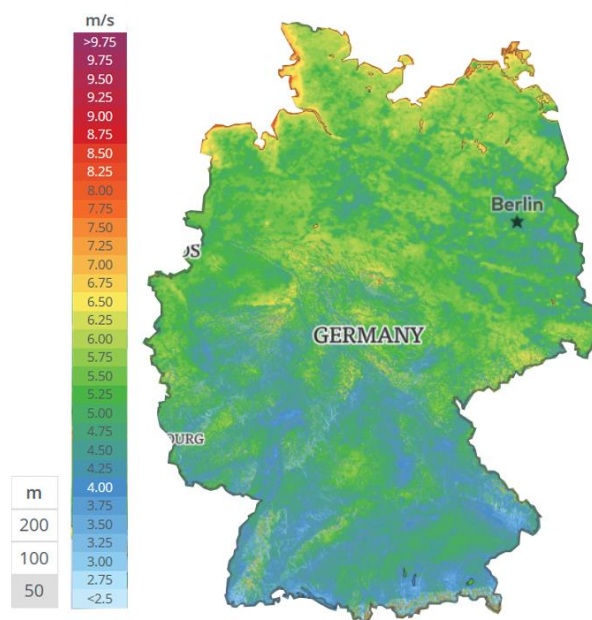


Figura 12: Mapa da velocidade média do vento na Alemanha a uma altura de 50 m.

Fonte: Global Wind Atlas [23].

A partir da análise da Figura 12, nota-se que da mesma forma que o Nordeste brasileiro, existem algumas áreas com velocidade média superior a 7 m/s. Em contrapartida, apesar da velocidade média de toda superfície do país ser superior à região brasileira, é possível concluir, comparando a Figura 4 e 12, que a quantidade de área que atende o requisito estabelecido pela ANEEL (velocidade média do vento superior a 7 m/s para que a geração seja efetiva) é superior na região Nordeste do Brasil, tornando-se mais favorável para esse tipo de geração.

Além disso, como consequência da velocidade do vento, está presente na Figura 13, o mapa da Alemanha que explicita a densidade média de potência.

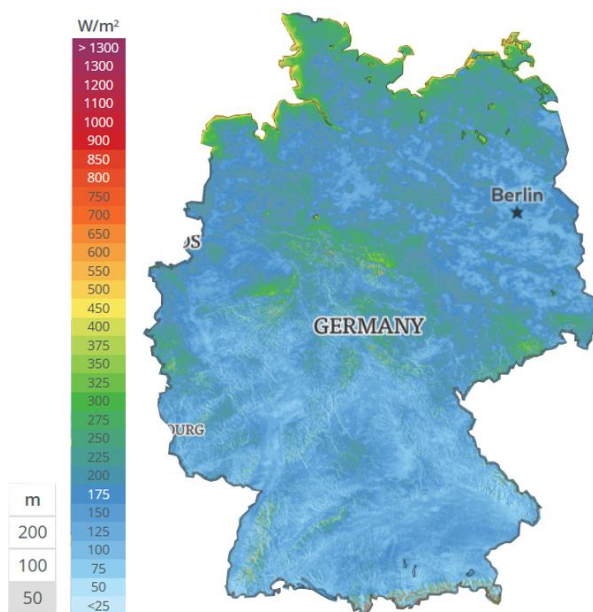


Figura 13: Mapa da densidade média de potência de energia eólica na Alemanha a uma altura de 50 m.

Fonte: Global Wind Atlas [23].

Nota-se, a partir da Figura 13, a presença de localidades /com densidade média de potência superior a 500 W/m^2 a uma altura de 50, porém, comparando as Figura 5 e 13, fica evidente que a região Nordeste do Brasil é mais abundante em áreas com densidade de potência superior a 500 W/m^2 em relação à Alemanha, tornando-se um maior potencial de energia eólica quando comparada com o país europeu. Além disso, na Figura 14, nota-se o mapa da Alemanha com informações de altitude em toda sua extensão territorial.

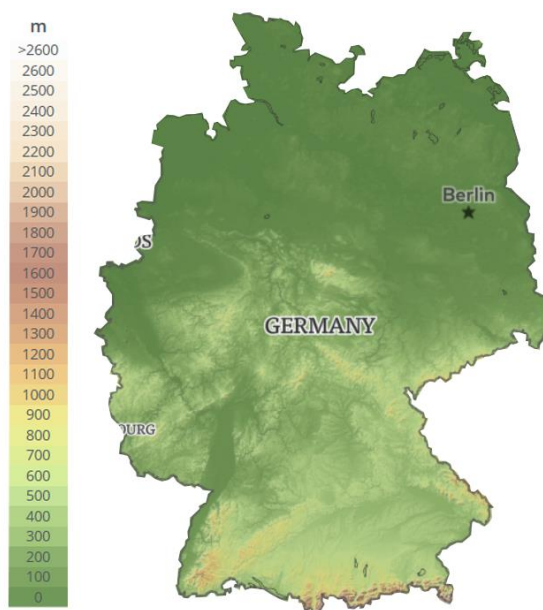


Figura 14: Mapa da altitude da Alemanha.

Fonte: Global Wind Atlas [23].

Como foi destacado na Equação (1), a altura do terreno influencia diretamente na velocidade do vento, portanto, a partir da Figura 14, é possível estimar as localidades mais favoráveis para instalação de parques eólicos, a partir da análise isolada altitude da região. Contudo, comparando as Figuras 9 e 14, evidencia-se que a região Nordeste do Brasil é mais favorável em relação à Alemanha, com base na altitude das duas regiões. Portanto, em relação aos parâmetros: Altitude, velocidade do vento e densidade média de potência, o Nordeste do Brasil é mais favorável para geração de energia proveniente dos ventos, quando comparada com a Alemanha. Porém, é imprescindível comparar a quantidade que é efetivamente gerada de energia eólica nas duas localidades. Por esse motivo, está presente na Tabela I, a capacidade instalada de energia eólica da Alemanha e da região Nordeste do Brasil, entre os anos de 2011 e 2016.

Tabela I – Capacidade instalada de energia eólica.

Ano	Capacidade instalada [MW]	
	Alemanha	Nordeste
2011	29060	852
2012	31308	1212
2013	31270	1466
2014	39165	3904
2015	44947	5805
2016	50018	8210

Fonte: Global Wind Energy Council [27-32] e Balanço Energético Nacional (2012-2017) [3, 9-13].

Fica claro, a partir da Tabela I, a considerável superioridade da Alemanha em capacidade instalada de energia eólica. Para evidenciar isso, no ano de 2016, a produção de energia elétrica proveniente dos ventos na região Nordeste correspondeu a apenas 16,41% da produção da Alemanha.

c. Análise comparativa das políticas do Brasil x Alemanha

Diferentes conceitos abrangem a política energética, que se iniciam desde a evolução do desenvolvimento sustentável, a segurança energética e até as influências intrínsecas e extrínsecas. Dentro desse assunto, é imprescindível que seja levado em consideração os termos financeiros e políticos, além da questão da segurança, principal base da política energética, na elaboração do *policy maker* [33].

Nesse contexto, apenas através de elaboração de políticas concretas que sustentem um grau excelente de progresso agregado à manutenção do bem-estar social, poderá

favorecer o sucesso econômico de qualquer nação. É fundamental que haja seriedade na elaboração de políticas e na inclusão das mesmas diante a sociedade. Apenas dessa maneira o país será capaz de manter melhores índices de desenvolvimento sem que haja destruição à sociedade e ao mercado [34].

Em [33,35], observa-se que na política energética, é constatada a presença de conflitos de interesses, com especial cuidado para a relação entre mudança climática e segurança energética. Também é comentado, que por mais que sejam dois temas que não fazem parte do mesmo âmbito de política pública, o campo energético criou uma interdependência com o campo ambiental, tendo a mudança climática adquirido o papel de protagonista.

i. Brasil

A inclinação de diversificação da fonte energética no Brasil está nitidamente vigente nas metas governamentais do país. Conforme estudo o Plano Decenal de Expansão de Energia, criado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), indica para uma participação das fontes renováveis de 46,3% em 2020, a qual em 2010 foi de 44,8% [36].

Apesar de ter um território amplo com ótimo potencial de geração de energia elétrica utilizando o vento, o Brasil ainda produz pouca energia a partir desta fonte (em comparação com outras fontes), embora se tenha o registro no aumento de exploração desta fonte energética renovável nos últimos anos. Conforme Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), presentemente, o Brasil possui capacidade instalada de geração de 13,30 *GW* que equivalem por volta de 13% de participação na fonte elétrica Brasileira [37].

São 530 usinas instaladas no Brasil e mais de 6600 aerogeradores (turbinas eólicas) em todo território nacional com uma diminuição de CO_2 no valor de 23 milhões *T/ano* [37]. Em contrapartida, um registro favorável é que estes valores crescem a cada ano. Segundo ABEEólica, o montante gerado pelas eólicas já é equivalente ao consumo médio de cerca de 24 milhões de residências por mês. Lideram o ranking de produção de energia eólica os estados do Rio Grande do Norte (3,7 *GW*), Bahia (2,5 *GW*), Ceará (1,9 *GW*) e Rio grande do Sul (1,8 *GW*).

Beneficiado por temporadas de ventos fortes, a Região Nordeste continua a ser o maior polo brasileiro de geração de energia eólica. Em 2017, a energia produzida pelos ventos chegou a abastecer mais de 60% da região [38]. O recorde foi batido em 30 de

julho de 2017 [38]. A estiagem de seis anos apresentou grande impacto nas usinas da bacia do São Francisco, afetando a geração de energia hidrelétrica [40]. As eólicas compensaram este déficit e, no final de julho do ano passado, responderam por 64,2% da energia consumida na região, segundo dados do Operador Nacional do Sistema (ONS) [38].

Segundo [39] e [40], não havia incentivos positivos para o uso de fontes alternativas para a geração de energia elétrica no Brasil até o ano de 2001. Só após a crise de racionamento em 2001/2002 a energia eólica no país ganhou notoriedade, despertando para a necessidade do país de diversificar sua matriz energética e diminuir a dependência hídrica.

A criação do PROEÓLICA em 2001 tinha como objetivo o aumento na geração de energia elétrica, a ser implementado até dezembro de 2003. O Programa, todavia, não obteve êxito. No entanto, a experiência com o PROEÓLICA colaborou para a elaboração e inserção de um novo programa, com vistas ao desenvolvimento constante de energias renováveis no País, o PROINFA.

Fundado em 2003, o PROINFA despertou investimentos importantes para o segmento eólico brasileiro e estimulou o crescimento da capacidade instalada, através de incentivos. Além do mais, elementos como o desenvolvimento tecnológico, a diminuição dos gastos de produção e os leilões, permitiram a entrada de novos investidores e o aumento da concorrência.

No que tange à energia eólica, os empenhos das políticas governamentais brasileiras ajudaram para a entrada de novos investidores, a ampliação da concorrência de mercado, o desenvolvimento tecnológico e a redução de custos. Em [41] é comprovado que o Brasil foi o país latino-americano precursor na instalação de parques eólicos e na admissão de políticas de impulso para a energia eólica. Dessa forma, estas políticas levaram um crescimento expressivo no volume de projetos de energia eólica contratados, tornando o país o mercado mais atrativo da América Latina [41].

O Brasil ainda não organizou nenhuma política deliberada de inovação em desenvolvimento da indústria de energia eólica, mesmo tendo interesse. Em contrapartida, têm-se projetos referentes às energias renováveis, através de agências de fomentos e instituições de pesquisa, que visam incentivar P&D. No que tange a energia eólica no País, os investimentos em P&D são derivados principalmente do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação e Comunicações (MCTIC), através do Conselho Nacional

de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), e da ANEEL.

No ano de 2014 por meio da Agência Brasileira para o Desenvolvimento Industrial – ABDI ocorreu o programa "Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil", no qual foram demonstrados estudos críticos e propostas para proporcionar o desenvolvimento da rede de produção, de bens e serviços. Em conjunto com nove empresas do campo elétrico, a ANEEL, solicitou ao Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) o desenvolvimento de um estudo de Prospecção Tecnológica do Setor Elétrico, que incluiu também a energia eólica.

Segundo [42], não há atividade de cooperação internacional na área de energia eólica no presente momento.

ii. Alemanha

É necessário um importante auxílio governamental para que as fontes renováveis sejam bem aceitas. A Alemanha se dispôs a realizar isso, determinando propostas de financiamento do programa e formulando políticas que beneficiam as novas fontes, além das metas de diminuição do uso de combustíveis fósseis com o passar dos anos [34].

O percurso da Alemanha na instalação de fontes renováveis se inicia em meados da década de 1990, quando as tarifas *feed-in* foram incluídas através do Estado como a principal forma de financiamento do programa de transição energética, através do incentivo ao investimento em diferentes tecnologias para geração de energia com a garantia de retornos elevados em um longo prazo [34].

A principal característica da política de tarifas *feed-in* é assegurar para o investidor o retorno em um período de tempo previamente determinado a partir do pagamento pela energia elétrica projetada através de fontes de energia renováveis. Os retornos eram determinados de maneira não discriminatória e se diferenciavam conforme a tecnologia usada, a capacidade instalada, a localização do projeto, a qualidade das fontes, entre outros fatores [44].

O *Electricity Feed-in Act*, foi implementado em 1991, recursos que buscava adiantar o investimento nas fontes renováveis de energia, fazendo com que essas outras tecnologias possuíssem acesso garantido à rede, com preferência no despacho, e que os investidores, os quais assinavam contratos de longo termo, conseguissem um retorno adequado em relação ao investimento [45].

Essa política garante aos produtores de energia, através das tarifas feed-in, um preço que garantisse um retorno suficiente ao investimento. Esta foi a forma identificada para diminuir o custo alto das novas tecnologias em relação as tecnologias tradicionais, incentivando diversos produtores, desde o proprietário de uma pequena fazenda até um relevante empresário, a optar pelas novas fontes, já que o retorno era garantido no longo prazo [34].

Em meados da década de 2000 foi instalado o *Renewable Energy Source Act* (em alemão, *Erneuerbare-Energien-Gesetz*), o qual acrescentava uma base jurídica para as tarifas feed-in [45]. Seu principal objetivo era remunerar cada tecnologia renovável baseado em seu custo de geração, o que obrigava o operador da rede de energia a inserir as fontes renováveis na rede e a remunerar o produtor por cada *kWh* de energia produzida, por pelo menos 20 anos. Isso fazia com que cada tecnologia tivesse sua remuneração própria, deixando mais claro para o investidor os possíveis retornos [34].

A alteração da política energética alemão não acabou com a mudança de planos em 2000. Uma década após a concretização do plano, o Governo Alemão traçou diferentes metas para tornar as tecnologias renováveis como fundamentais fontes de suprimentos energéticas da fonte alemã, tendo o ano de 2050 como período término para os objetivos serem alcançados [45]. No meio das importantes metas do novo plano, se denotam o crescimento da eficiência energética, a ampliação cada vez maior das fontes renováveis de abastecimento, a diminuição da emissão de gases de efeito estufa e a retirada gradual da energia nuclear como uma das fontes de suprimentos até o ano de 2022 [34].

Diversas medidas foram adotadas e instaladas pelo governo alemão até os dias atuais. O governo federal observa de perto o País e as discussões vigentes pela população no que tange as fontes alternativas, a efetivação de seu conceito de energia e pacote de medidas, além de suas metas, com vistas a um fornecimento de energia seguro, econômico e sustentável.

3. CONCLUSÃO

Esse trabalho demonstra que a energia eólica é uma fonte promissora, com inclinações de crescimento em diversos países. O Brasil proporciona um mercado com grande potencial de crescimento devido às condições climáticas favoráveis a um maior desenvolvimento dessa tecnologia, sendo o maior nesta área da América Latina. Em especial o Nordeste, que é beneficiado por ventos alísios do Atlântico Sul, sendo fortes ventos, estável e na maior parte do tempo vem da mesma direção.

Outro fator favorável à região Nordeste, está no índice de geração registrado. No domingo, 19 de agosto de 2018, o ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) registrou novo recorde horário de geração eólica, com máxima diária de 8.247 MW às 9 h 28 min, atendendo 98% da demanda do Nordeste, atendendo praticamente 100% da demanda do Nordeste no período de 8 h às 10 h.

A partir da análise política, percebeu-se que apesar de haver projetos de incentivos para as energias renováveis, a energia eólica no Brasil se desenvolve pouco associada com as outras fontes, enquanto que na Alemanha o crescimento é maior por conta da transição energética que está sendo constituída pelo interesse político de querer ser mais sustentável e obter energia segura, através das leis e dos incentivos financeiros, consolidando como um dos maiores produtores em energia solar. Salientado a preocupação pela discussão atual no fim das tarifas *feed-in* na Alemanha que podem reduzir a capacidade da energia solar implantada no País.

As políticas de benefício elaboradas no Brasil contribuem para maior estabilidade financeira e diminuição da incerteza no mercado de energia eólica, ocasionando na promoção do uso dessa fonte. Apesar disso, alguns obstáculos como a dependência tecnológica, por exemplo, ainda atrasam o crescimento do segmento. Nesse cenário, as políticas tecnológicas exercem em conjunto com as outras políticas, com o objetivo de desenvolver uma atmosfera de Pesquisa e Desenvolvimento, visando um método de aprendizado e inovação em energia eólica e incorporação de tecnologias locais.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 1ª Edição. Brasília, 2012.
- [2] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, REN 21 (2017). *Renewables 2017: Global Status Report*. Acesso em 06 de setembro de 2018, em: <http://www.ren21.net/>.
- [3] Empresa de Pesquisa Energética, BEN (2017). *Balanço Energético Nacional*. Acesso em 08 de setembro de 2018, em: <https://ben.epe.gov.br>.
- [4] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). *Tarifas consumidores – Bandeiras tarifárias*. Acesso em 09 de setembro de 2018, em: http://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/e2INtBH4EC4e/content/bandeira-tarifaria/654800?inheritRedirect=false.
- [5] Empresa de Pesquisa Energética, BEN (2008). *Balanço Energético Nacional*. Acesso em 09 de setembro de 2018, em: <https://ben.epe.gov.br>.
- [6] Empresa de Pesquisa Energética, BEN (2009). *Balanço Energético Nacional*. Acesso em 09 de setembro de 2018, em: <https://ben.epe.gov.br>.
- [7] Empresa de Pesquisa Energética, BEN (2010). *Balanço Energético Nacional*. Acesso em 09 de setembro de 2018, em: <https://ben.epe.gov.br>.
- [8] Empresa de Pesquisa Energética, BEN (2011). *Balanço Energético Nacional*. Acesso em 09 de setembro de 2018, em: <https://ben.epe.gov.br>.
- [9] Empresa de Pesquisa Energética, BEN (2012). *Balanço Energético Nacional*. Acesso em 09 de setembro de 2018, em: <https://ben.epe.gov.br>.
- [10] Empresa de Pesquisa Energética, BEN (2013). *Balanço Energético Nacional*. Acesso em 09 de setembro de 2018, em: <https://ben.epe.gov.br>.
- [11] Empresa de Pesquisa Energética, BEN (2014). *Balanço Energético Nacional*. Acesso em 09 de setembro de 2018, em: <https://ben.epe.gov.br>.
- [12] Empresa de Pesquisa Energética, BEN (2015). *Balanço Energético Nacional*. Acesso em 09 de setembro de 2018, em: <https://ben.epe.gov.br>.
- [13] Empresa de Pesquisa Energética, BEN (2016). *Balanço Energético Nacional*. Acesso em 09 de setembro de 2018, em: <https://ben.epe.gov.br>.
- [14] KASPARY, R. M.; JUNG, C. F. *Energia Eólica no Brasil: Uma Análise das Vantagens e Desvantagens*. In: Congresso nacional de excelência em gestão. 11., 2015. Rio de Janeiro - RJ.
- [15] PINTO, L. I.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. *O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais*. In: Ambiente & Água - An interdisciplinary Journal of Applied Science. Taubaté. Vol. 12 n. 6. p.1082-1100. 2017.
- [16] AZEVEDO, R.M. Azevedo. *Impactos Operacionais da Complementaridade de Fontes de Geração Solar Fotovoltaica e a Biogás em Sistemas de Distribuição*. Dissertação, UFSM, Santa Maria, RS, 2016.
- [17] FERRAZ, R.S.F. *Comparação de Técnicas Baseadas em Inteligência Artificial e na Metodologia de Box-Jenkins para Previsão da Velocidade do Vento*. Trabalho de

- graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC, Ilhéus, BA, 2018.
- [18] FERRAZ, Rafael S. F.; CRUZ, F. C.; FERRAZ, Renato S. F.; CORREIA, A. F. S. e FILHO, E. F. S. *Previsão Multipassos da Velocidade do Vento Através de Redes Neurais Artificiais*. The 12th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission, 2017.
- [19] Ministério de Minas e Energia (MME). *Brasil é o país com melhor fator de aproveitamento da energia eólica*. Acesso em 23 de setembro de 2018, em: <http://www.mme.gov.br/>
- [20] CASTRO, R. M. G. *Energias Renováveis e Produção Descentralizada: Introdução à energia eólica*. 4.ed. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2009. 93p.
- [21] BRITO, S. S. *Energia eólica: Princípios e tecnologias*. CRESESB, 2008. 51p.
- [22] Grubb, M.J., and Meyer, N.I. *Wind energy: Resources, systems, and regional strategies*. Estados Unidos: N. p., 1993.
- [23] World Bank Group. *Global Wind Atlas*. Acesso em 25 de setembro de 2018, em <https://globalwindatlas.info/>
- [24] COSTA, B. C.; LYRA, R. F. F. *Análise dos padrões do vento no estado de Alagoas*. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 27, n.1. p.31-38. 2012.
- [25] DUTRA, R. M. *Viabilidade técnico-econômica da energia eólica face ao novo marco regulatório do setor elétrico brasileiro*. Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.
- [26] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Acesso em 27 de setembro de 2018, em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/webmap/viewer.html?useExisting=1&layers=5756e0f30cf64601b96968bfc7d0dd3a>
- [27] Global Wind Energy Council (GWEC). *Global Wind Report: Annual Market (2016)*. Acesso em: 27 de setembro de 2018, em <http://gwec.net/publications/global-wind-report-2/global-wind-report-2016/>
- [28] Global Wind Energy Council (GWEC). *Global Wind Report: Annual Market (2015)*. Acesso em: 27 de setembro de 2018, em <http://gwec.net/publications/global-wind-report-2/global-wind-report-2015-annual-market-update/>
- [29] Global Wind Energy Council (GWEC). *Global Wind Report: Annual Market (2014)*. Acesso em: 27 de setembro de 2018, em <http://gwec.net/publications/global-wind-report-2/global-wind-report-2014-annual-market-update/>
- [30] Global Wind Energy Council (GWEC). *Global Wind Report: Annual Market (2013)*. Acesso em: 27 de setembro de 2018, em <http://gwec.net/publications/global-wind-report-2/global-wind-report-2013/>
- [31] Global Wind Energy Council (GWEC). *Global Wind Report: Annual Market (2012)*. Acesso em: 27 de setembro de 2018, em <http://gwec.net/publications/global-wind-report-2/global-wind-report-2012/>
- [32] Global Wind Energy Council (GWEC). *Global Wind Report: Annual Market (2011)*. Acesso em: 27 de setembro de 2018, em <http://gwec.net/publications/global-wind-report-2/global-wind-report-2010-2/>

- [33] BAUMANN, F. *Energy security as multidimensional concept*. CAP Policy Analysis 1. Center for Applied Policy Research: Munich, 2008. 14 p.
- [34] GONÇALVES, B. B. B; “*A Transição Energética na Alemanha: Possibilidades e Limites para a Utilização de Fontes Renováveis.*” Monografia de Bacharelado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, março 2015.
- [35] BICALHO, R.; QUEIROZ, R. *Segurança energética e mudança climática: estruturando o debate energético*. Centro de Excelência em Economia da Energia: Rio de Janeiro, 2012. 34 p.
- [36] TOLMASQUIM, M. *Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil*. São Paulo 2012.
- [37] Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica). Acesso em: 29 de setembro de 2018, em abeeolica.org.br.
- [38] SANTOS, A. “*Capacidade instalada de energia eólica no Brasil se equipara a Itaipu.*” Acesso em: 29 de setembro de 2018, em <http://www.cimentoitambe.com.br/producao-de-energia-eolica-no-brasil-se-equipara-a-itaipu>
- [39] WACHSMANN, U; TOLMASQUIM, M. T. *Wind power in Brazil – transition using German experience*. *Renewable Energy*, v. 28, p. 1029-1038, 2003.
- [40] TOLMASQUIM, M. T. *Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro*. 2. ed. Rio de Janeiro: Synergia; Brasília: EPE, 2015.
- [41] SIMAS, M. *Energia Eólica e Desenvolvimento Sustentável no Brasil: Estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada*. Dissertação de Mestrado. PPGE/USP, São Paulo, 2012.
- [42] Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). “*Informações relacionadas à energia eólica envolvendo tecnologia e inovação.*” Resposta concedida a Luan Tolentino dos Santos em réplica à solicitação de informações sob protocolo nº 01390.000860/2017-16, através da Lei de Acesso à Informação, por Alvaro Toubes Prata, Secretário de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. Brasília, 21 de agosto de 2017.
- [43] Ministério de Minas e Energia (MME). “*Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro*” – agosto/2016. Brasília: MME, 2016.
- [44] COUTURE, T.; GAGNON, Y. “*An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment*”. *Energy Policy*, v. 38, n. 2. Guildford: Elsevier, 2010. p. 955-965.
- [45] INSTITUTE FOR ENERGY RESEARCH. “*Germany's green energy failure: A lesson for U.S. Policymakers*”. Washington, 2014, 14 p. Entidade conhecida pela sigla IER.