



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas



Paula Faria Ribeiro

**DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA EÓLICA NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 20
ANOS**

Ouro Preto – MG

2020

DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA EÓLICA NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 20 ANOS

Paula Faria Ribeiro

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Produção.

Orientador: Gustavo N. Pinto de Moura

Ouro Preto - MG

2020

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R484d Ribeiro, Paula Faria .
Desenvolvimento da indústria eólica no Brasil nos últimos 20 anos.
[manuscrito] / Paula Faria Ribeiro. - 2020.
82 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Nikolaus Pinto de Moura.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Energia Eólica. 2. Energia eólica - Indústria. 3. Geração de Energia -
Energia eólica. I. Moura, Gustavo Nikolaus Pinto de . II. Universidade
Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 620.91

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ADMINISTRAÇÃO E ECON



FOLHA DE APROVAÇÃO

Paula Faria Ribeiro

**DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA EÓLICA NO BRASIL NOS
ÚLTIMOS 20 ANOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção

Aprovada em 15 de Outubro de 2020

Membros da banca

D.Sc. Gustavo Nikolaus Pinto de Moura - Orientador Universidade - Federal de Ouro Preto
D.Sc. Maurinice Daniela Rodrigues - Universidade Federal de Ouro Preto
D.Sc. Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino - Universidade Federal de Ouro Preto

Gustavo Nikolaus Pinto de Moura, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 17/12/2020



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Nikolaus Pinto de Moura, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/12/2020, às 18:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0116632** e o código CRC **5349D97F**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.009853/2020-56

SEI nº 0116632

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: 3135591540 - www.ufop.br

RESUMO

A constante busca por um mundo sustentável e a crise energética brasileira em 2001, decorrente da pouca diversificação da matriz energética, já que as hidrelétricas eram a principal fonte e estavam com os reservatórios reduzidos, foram os principais motivos para a inserção de outras fontes renováveis no Brasil, como a fonte eólica, que é destaque no país e é a segunda principal fonte renovável na matriz elétrica brasileira em 2020. A inserção da energia eólica no Brasil foi decorrente da criação de programas para o incentivo às fontes alternativas de energia, da criação dos leilões específicos de energia e da atuação de financiadores como o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O objetivo desse estudo é analisar a expansão da indústria e da geração de energia eólica *onshore* no Brasil. Foi utilizada pesquisa bibliográfica acerca do tema abordado, sendo que o trabalho possui natureza qualitativa. O mercado de energia eólica brasileiro possui grande perspectiva de crescimento, com previsões de atingir aproximadamente 40 GW de capacidade instalada em 2029, mantendo-se a segunda principal fonte na matriz elétrica brasileira. A fonte eólica foi a que mais recebeu investimentos no setor das energias renováveis em 2019 e a fonte mais viável economicamente no ano de 2018 nos leilões de energia. Em 2017, existiam 224 empresas fabricantes de componentes eólicos no país e, em 2020, são 647 empreendimentos de energia eólica em operação, 116 em construção e 208 com construção não iniciada. Em relação à geração de emprego, existem mais de 40 possíveis carreiras para o mercado eólico. O estudo mostra que o Brasil possui um potencial eólico de 500 GW, que aumentará com o avanço da tecnologia dos aerogeradores. São analisados os impactos ambientais e sociais que podem ser gerados através da instalação de uma usina e a necessidade de maior fiscalização em todas as etapas desse processo. Portanto, a energia eólica apresentou elevado crescimento nos últimos anos no Brasil e o panorama para o futuro é promissor para essa fonte que complementa e diversifica a matriz elétrica brasileira.

Palavras-chaves: Energia Eólica; Indústria Eólica; Geração de Energia

ABSTRACT

The constant search for a sustainable world and the Brazilian energy crisis in 2001 due to the little diversification of the energy matrix, since hydroelectric plants were the main source and their reservoirs were reduced, were the main reasons for the insertion of other renewable sources in Brazil, as the wind source, which is highlighted in the country and is the second main renewable source in the Brazilian electric matrix in 2020. The insertion of wind energy in Brazil was due to the creation of programs to encourage alternative energy sources, the creation of auctions energy and the performance of financiers such as the National Bank for Economic and Social Development (BNDES). The purpose of this study is to analyze the expansion of the industry and the onshore wind energy generation in Brazil. Bibliographic research on the topic addressed was used, and the work has a qualitative nature. The Brazilian wind energy market has great growth prospects, with forecasts of reaching approximately 40 GW of installed capacity in 2029, continuing to be the second main source in the Brazilian electricity matrix. The wind source was the one that received the most investments in the renewable energy sector in 2019 and the most economically viable source in 2018 in energy auctions. In 2017, there were 224 wind component manufacturers in the country and, in 2020, 647 wind energy projects are in operation, 116 under construction and 208 not started. Regarding job creation, there are more than 40 possible careers for the wind market. The study shows that Brazil has a wind potential of 500 GW, which will increase with the advancement of wind turbine technology. The environmental and social impacts that can be generated through the installation of a plant and the need for greater supervision in all stages of this process are analyzed. Therefore, wind energy has shown high growth in recent years in Brazil and the outlook for the future is promising for this source that complements and diversifies the Brazilian electrical matrix.

Keywords: Wind Energy; Wind Industry; Power Generation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oferta de energia elétrica no mundo, por fonte, 2018	5
Figura 2 - Adições de capacidade de eletricidade renovável, 2007-2021	6
Figura 3 - Capacidade Eólica Onshore Instaladas (GW)	7
Figura 4 Emprego Global De Energias Renováveis Por Tecnologia, 2012-2018 .	8
Figura 5 - Componentes de um aerogerador	9
Figura 6 - Mapa da velocidade média do vento no Brasil a 100 m – 2020	12
Figura 7 - Diagrama do Sistema Interligado Nacional em Operação – 2019	13
Figura 8 - Evolução da geração eólica (GWh)	14
Figura 9 - Geração Eólica no SIN em operação comercial	16
Figura 10 - Capacidade Instalada de usinas eólicas no SIN, contemplando as usinas em operação comercial.....	16
Figura 11 - Matriz Elétrica Brasileira	18
Figura 12 - Geração de Energia por subsistema e por tipo de usina em 2019 (GWh)	19
.....	
Figura 13 - Geração e Representatividade da Fonte Eólica	20
Figura 14 - Geração Eólica (MWmed) e Fator de Capacidade Mensal total em 2018 e 2019	21
Figura 15 - Participação de cada fonte na geração distribuída em 2019	22
Figura 16 - Projeção da Capacidade Instalada da Micro e Minigeração Distribuída	23
.....	
Figura 17 - Potência e Energia por fonte em 2029 na trajetória de referência....	24
Figura 18 - Capacidade Instalada no SIN em maio de 2019	25
Figura 19 - Variação da Capacidade Instalada em 2019 e 2029 (GW).....	26
Figura 20 - Evolução da Capacidade Instalada em MW	27

Figura 21 - Capacidade Instalada de usinas eólicas em operação comercial no SIN por subsistemas	27
Figura 22 - Capacidade Mundial Instalada Acumulada OnShore	28
Figura 23 - Macro Cadeia de valor da Energia Eólica.....	29
Figura 24 - Os 10 principais países para emprego eólico	31
Figura 25 - Ações das mulheres por função no setor de energia eólica	33
Figura 26 - Evolução da capacidade anual produtiva das montadoras de aerogeradores 2014 a 2017	35
Figura 27 - Capacidade vs. Demanda em unidades de Aerogeradores de 2014 a 2017	37
Figura 28 - Fabricantes de Pás Eólicas	38
Figura 29 - Fabricantes de Torres de Aço	39
Figura 30 - Médias de potência nominal das turbinas, diâmetro do rotor e altura do cubo no Brasil referentes aos empreendimentos habilitados nos leilões de energia	40
Figura 31 - Crescimento das Turbinas Eólicas Onshore.....	41
Figura 32 - Empreendimentos de Geração de Energia Elétrica.....	42
Figura 33 - Empreendimentos em Operação	42
Figura 34 - Empreendimentos em Construção	43
Figura 35 - Empreendimentos com construção não iniciada	44
Figura 36 - Localização dos Empreendimentos de Energia Eólica em Operação	45
Figura 37 - Custos médios instalados em Terra no Brasil	46
Figura 38 - Faixas de custo total instalado e médias ponderadas para projetos eólicos <i>onshore</i> por país	47
Figura 39 - LCOE médio dos parques eólicos onshore no Brasil.....	48

Figura 40 - Preço médio por fonte de energia obtido nos leilões da ANEEL 2015-2018 (Valores históricos em R\$/MWh).....	49
Figura 41 - Preço de contratação de empreendimentos eólicos nos leilões de energia do ACR e energia contratada.....	50
Figura 42 - Volumes de PPAs corporativos de energia renovável por continente.....	52
Figura 43 - Investimentos Em Novos Projetos.....	53
Figura 44 - Fazendas eólicas no Ceará.....	54
Figura 45 - Fazendas eólicas no Ceará.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Carreiras no setor eólico	32
Tabela 2 Fabricantes de Aerogeradores no Brasil.....	36

SUMÁRIO

Resumo	IV
Abstract.....	V
Lista de Figuras	VI
Lista de Tabelas.....	IX
Sumário	X
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Contexto	1
1.2 Justificativa	2
1.3 Objetivo	3
1.3.1 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Metodologia	4
2 PANORAMA MUNDIAL.....	5
2.1 Geração de Energia.....	5
2.2 Capacidade Instalada Mundial.....	6
2.3 Geração de Empregos.....	8
3 ENERGIA EÓLICA.....	9
3.1 Composição e funcionamento das Turbinas Eólicas	9
3.2 Potencial Eólico no Brasil	11
3.3 Sistema Interligado Nacional (SIN).....	12
3.4 Histórico da Geração Eólica no Brasil no Sistema Interligado Nacional	14

4	GERAÇÃO DE ENERGIA E CAPACIDADE INSTALADA.....	18
4.1	Matriz Elétrica.....	18
4.2	Geração de energia por subsistema e tipo de usina.....	19
4.3	Geração Eólica Centralizada e Distribuída.....	21
4.3.1	Geração Distribuída.....	21
4.3.2	Geração Centralizada.....	24
4.4	Capacidade Instalada.....	26
5	A EXPANSÃO DA INDÚSTRIA EÓLICA NO BRASIL.....	29
5.1	Cadeia de Valor, Geração de Empregos e Carreiras.....	29
5.1.1	Cadeia de Valor e Geração de Empregos.....	29
5.1.2	Carreiras para a indústria eólica.....	31
5.1.3	Perspectiva de gênero.....	32
5.2	Indústria de Componentes Eólicos no Brasil.....	33
5.2.1	Número de empresas no Setor.....	33
5.2.2	Produção de Aerogeradores.....	34
5.2.3	Capacidade Produtiva de Pás Eólicas e Torres de Aço.....	37
5.3	Crescimento das Turbinas Eólicas.....	39
5.4	Empreendimentos de Energia Elétrica.....	41
6	CUSTOS E INVESTIMENTOS.....	46
6.1	Reduções nos custos médios para projetos eólicos.....	46
6.2	LCOE médio (Custo Nivelado de Energia) dos projetos eólicos <i>onshore</i> comissionados.....	47
6.3	Competitividade da fonte eólica nos leilões de energia elétrica.....	48

6.4	A crescente demanda dos <i>Power Purchase Agreements</i> - PPA's corporativos no Brasil.....	50
6.5	Investimentos.....	53
7	SUSTENTABILIDADE SOCIAL E AMBIENTAL DAS FAZENDAS EÓLICAS	54
8	CONCLUSÃO	59

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

Segundo Gouvêa e Silva (2018) o desenvolvimento da energia eólica no Brasil foi consequência da crise energética que ocorreu no país entre 2001 e 2002, em que os níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas estavam reduzidos e essa fonte era predominante na matriz energética. Depois desse período, procurou-se diversificar as fontes de energia. Com isso, em 2001 foi criado o programa emergencial eólica-proeólica. Esse programa foi substituído pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), em 2002, já que o Proeólica não contratou nenhum empreendimento eólico (OLIVEIRA, 2019). Segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA, 2020a), o novo programa fez com que a indústria de componentes de aerogeradores se desenvolvesse no Brasil porque exigiu conteúdo nacional para os equipamentos beneficiados no programa. O PROINFA, conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017a), tem o objetivo de aumentar a participação das fontes renováveis na produção de energia elétrica.

O Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) é o principal financiador da infraestrutura no Brasil, incluindo os projetos eólicos. Com o financiamento, o BNDES apoia a implantação dos aerogeradores e da indústria de componentes eólicos no Brasil (ARAÚJO E WILLCOX, 2018; OLIVEIRA, 2019).

Conforme Araújo e Willcox (2018), o Governo Federal criou o modelo de leilões para contratação de energia, sendo que o primeiro leilão com a fonte eólica foi realizado em 2009. Segundo Gouvêa e Silva (2018), a partir desse leilão e dos que ocorreram nos anos subsequentes, a eólica passou a ser destaque entre as fontes alternativas de energia.

Ao longo dos anos, a fonte eólica aumentou a capacidade instalada e a geração de energia elétrica no Brasil. Com isso, hoje ela possui uma relevante participação na matriz elétrica brasileira. No contexto de geração de energia eólica, existem duas modalidades, a geração distribuída e a geração centralizada. As duas estão em expansão, porém a geração distribuída ainda possui pouca participação no cenário

das Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) e a Geração Centralizada é a segunda principal fonte de geração de energia elétrica atualmente (MME; EPE, 2019).

Dessa forma, o aumento da participação da energia eólica no Brasil impulsiona o crescimento da indústria de componentes eólicos, com mais empresas, produção de aerogeradores, pás, torres, subcomponentes e insumos para o setor, gerando mais empregos diretos e indiretos.

Os investimentos financeiros no setor promovem a implantação de mais empreendimentos eólicos no Brasil, como os que ainda estão em fase de construção e construção não iniciadas. Soma-se a isso, o fato que os custos médios para os projetos eólicos e o custo nivelado da energia, que foram reduzidos em comparação aos anos anteriores, devido principalmente à implantação em larga escala e a competitividade da fonte nos leilões de energia. Inclusive, a compra corporativa de energia eólica também está em crescimento no mercado mundial e brasileiro, principalmente em razão das metas de sustentabilidade das empresas.

O grande potencial eólico brasileiro e o incentivo à inserção de fontes renováveis no Brasil e no mundo promovem um excelente cenário para a expansão da indústria de geração de energia eólica no país. Contudo, apesar de ser conhecida como “energia limpa”, a energia eólica não é isenta de impactos ambientais. Por isso, é importante a abordagem da sustentabilidade social e ambiental das usinas eólicas no Brasil e os impactos positivos e negativos que elas podem gerar nas regiões e populações em que estão inseridas.

1.2 Justificativa

Com o intuito de aumentar a participação das energias limpas na matriz elétrica, o Brasil investe em fontes renováveis de energia. Conforme a ABEEÓLICA (2020a), foram investidos US\$ 3,45 bilhões nessas fontes em 2019, como a eólica e a solar, trazendo benefícios à população e ao meio ambiente. A energia eólica é uma das fontes renováveis que mais se desenvolve no país e, em 2019, cresceu 15,5% em relação ao ano de 2018 (EPE, 2020a). Por isso, optou-se por um estudo dessa fonte,

englobando a geração de energia eólica centralizada de grande porte e a geração de energia eólica distribuída. A pesquisa foi focada na produção de energia eólica em terra (*onshore*), em que está localizada a geração dessa fonte no país. O Brasil possui potencial *offshore*, porém ainda é muito pouco explorado.

A indústria de energia eólica cresce com o aumento da capacidade eólica instalada no país. Através dos leilões de energia já realizados, o Brasil possui contratações confirmadas e cenários com previsões para os próximos anos no setor, de acordo com o MME e EPE (2019).

1.3 Objetivo

Apresentar e analisar a expansão da indústria e da geração de energia eólica no Brasil, considerando a sustentabilidade econômica, social e ambiental dessa fonte na matriz elétrica brasileira.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Apresentar o panorama mundial da fonte eólica;
- Apresentar a composição e funcionamento das turbinas eólicas;
- Apresentar o potencial eólico brasileiro;
- Comparar a utilização da fonte eólica na matriz energética;
- Expor a inserção da energia eólica no Brasil, capacidade e empreendimentos;
- Comparar a geração distribuída e centralizada;
- Identificar a cadeia de valor da indústria eólica e a geração de empregos;
- Apresentar e analisar a indústria de componentes e subcomponentes eólicos no Brasil;
- Apresentar o crescimento das turbinas eólicas *onshore*;
- Análise dos custos para projetos eólicos e competitividade no mercado;
- Analisar a sustentabilidade das fazendas eólicas.

1.4 Metodologia

Foi utilizada pesquisa de natureza qualitativa, através de revisões bibliográficas do tema abordado com a finalidade de apresentar o crescimento da indústria eólica no país, além do estado da arte da utilização da fonte eólica como energia elétrica, já que o presente trabalho é uma pesquisa que possibilita o conhecimento de estudos realizados sobre o desenvolvimento da energia eólica nos últimos 20 anos no Brasil.

Para a revisão de literatura, foi realizada a identificação dos estudos na área de energia e energia eólica e quais são as principais organizações que promovem relatórios com dados do setor no Brasil e no mundo. As pesquisas mais recentes foram priorizadas.

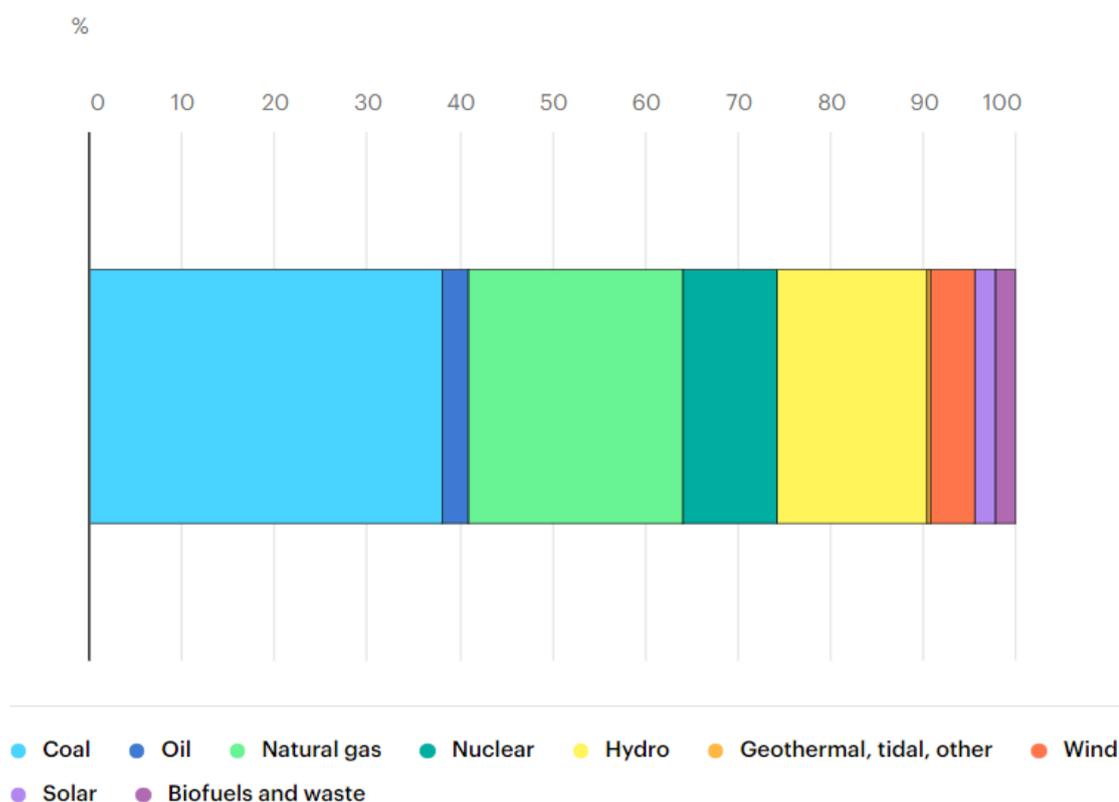
Relatórios nacionais e internacionais, além de teses, planos de investimentos do Governo Federal, artigos científicos, publicações, dissertações, sites institucionais das empresas fabricantes de aerogeradores e informações retiradas de órgãos governamentais constituem as principais fontes desta pesquisa, como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a ABEEÓLICA, a Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), o Ministério de Minas e Energia (MME) e a ANEEL.

2 PANORAMA MUNDIAL

2.1 Geração de Energia

A *International Energy Agency* (IEA, 2020a) afirma que a oferta de energia elétrica no mundo (Figura 1) é predominantemente realizada a partir de combustíveis fósseis, com 66,3% da produção em 2018. Esses combustíveis incluem carvão, produtos do carvão, petróleo e derivados, gás natural, biocombustíveis incluindo biomassa sólida, resíduos industriais e urbanos. Em relação às energias renováveis, a geração hidroelétrica foi a mais expressiva, com 16,2%. A geração eólica no mundo foi responsável por 4,8% da geração mundial total em 2018 e representou 1,6% em 2010 (IEA, 2020a, 2020b).

Figura 1 - Oferta de energia elétrica no mundo, por fonte, 2018

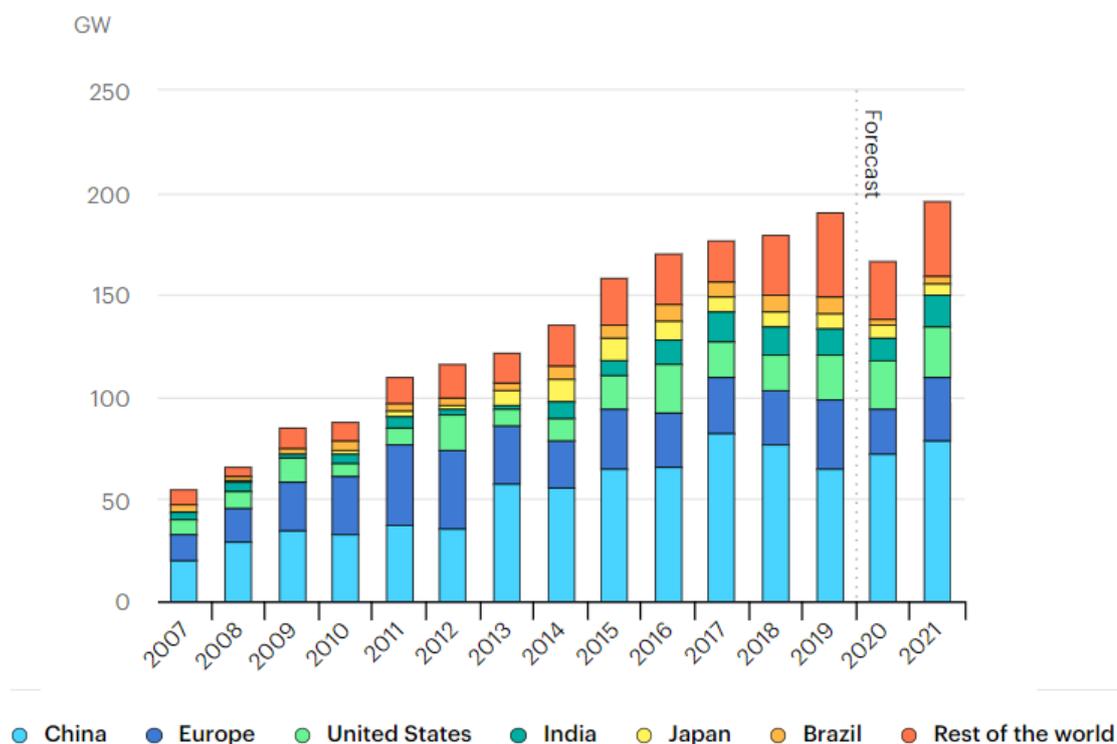


Fonte: IEA, 2020a

2.2 Capacidade Instalada Mundial

As energias renováveis estão no centro de uma transição energética para um sistema mais sustentável e com menos emissão de carbono. Em 2018, as renováveis tiveram uma participação de 26% da geração global de eletricidade. No cenário de capacidade instalada do total das renováveis (Figura 2), o Brasil contribui com 8,3 GW instalados em 2019. A China é líder na instalação de novas capacidades renováveis, com 65,3 GW nesse período. O ano de 2020 deveria ser recorde para as energias renováveis, porém a IEA prevê que em 2020, devido à pandemia da COVID-19, as adições de capacidade devem diminuir 13% em comparação com 2019, uma vez que ocorreram atrasos em relação às atividades de construção por consequência do distanciamento social, interrupções na cadeia de abastecimento e desafios financeiros emergentes. A maioria dos projetos atrasados deve entrar em operação em 2021, porém mesmo com essa recuperação, o resultado deverá ser menor que o esperado nas previsões realizadas anteriormente (IEA, 2020c).

Figura 2 - Adições de capacidade de eletricidade renovável, 2007-2021



Fonte: IEA, 2020c

Segundo o REN21 (2020), as políticas para ajudar a mitigar as mudanças climáticas podem estimular diretamente a implantação de energias renováveis em todos os setores, exigindo uma eliminação ou redução de emissões de gases estufas, podendo aumentar os custos de energia de combustíveis fósseis em relação ao das renováveis. Em 2018, as energias renováveis (excluindo o tradicional uso da biomassa) representaram cerca de 11% do total final de consumo de energia.

Conforme a *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2019a), em relação à capacidade instalada de energia eólica mundial (Figura 3), a Ásia continuará dominando o cenário de capacidade instalada *onshore* na previsão para 2050, seguido pela América do Norte. Para a América Latina e Caribe, a previsão para capacidade instalada é de 182 GW em 2050.

Figura 3 - Capacidade Eólica Onshore Instaladas (GW)

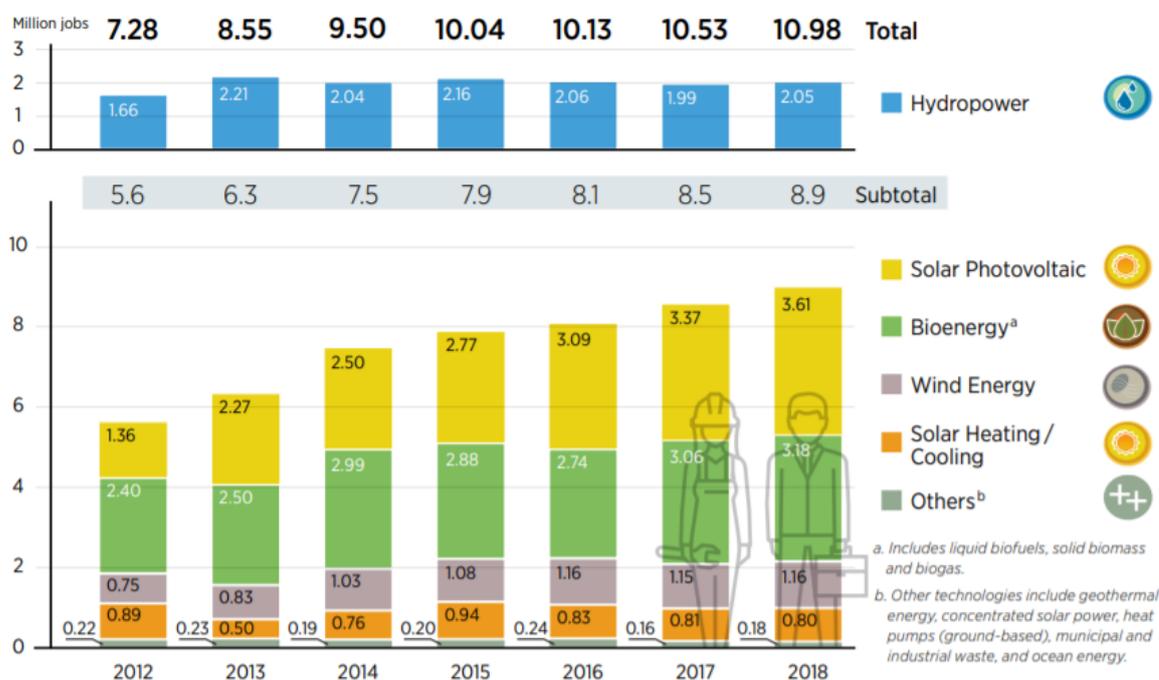


Fonte: IRENA, 2019a

2.3 Geração de Empregos

De acordo com o IRENA (2019b), foram gerados aproximadamente 11 milhões de empregos no setor das energias renováveis no mundo em 2018. É possível observar o crescimento de empregos neste setor, desde 2012, na Figura 4. A fonte que mais gerou postos de trabalho foi a solar fotovoltaica. Já o setor eólico sustenta aproximadamente 1,2 milhões de empregos, ocupando a quarta posição. Em relação aos países geradores de empregos no setor de energia renovável, a China é líder com aproximadamente 4 milhões de postos de trabalho, seguidos da União Europeia com 1,235 milhões e Brasil, com 1,125 milhões (IRENA, 2019b).

Figura 4 Emprego Global De Energias Renováveis Por Tecnologia, 2012-2018



Fonte: IRENA, 2019b

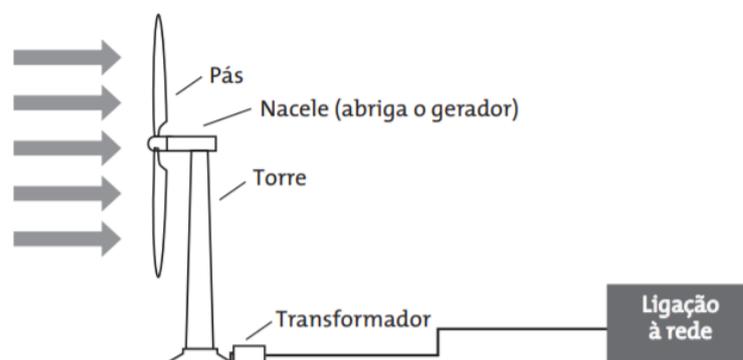
Conclui-se que as fontes renováveis estão em expansão no cenário mundial, principalmente com os conceitos de sustentabilidade sendo fortalecidos no mundo. Por isso, a cada ano aumenta a capacidade instalada dessas fontes e a geração de emprego cresce nesse cenário. Assim como no mundo, essa é a tendência para o mercado de energia no Brasil, principalmente com o setor eólico, que será abordado a seguir.

3 ENERGIA EÓLICA

3.1 Composição e funcionamento das Turbinas Eólicas

A geração de energia eólica utiliza o vento como fonte de energia primária. O processo de geração ocorre através de um aerogerador, que podem ser classificados como aerogeradores de eixo horizontal e de eixo vertical. A primeira configuração é dominante no mundo e no Brasil. O aerogerador, ilustrado na Figura 5 é composto basicamente por uma torre, um conjunto de pás acoplado a um rotor e uma nacela, que abriga vários equipamentos como o gerador (LAGE; PROCCESSI, 2013).

Figura 5 - Componentes de um aerogerador



Fonte: Lage e Processi, 2013

De acordo com o U.S Department of Energy (DOE, 2020), uma turbina eólica transforma a energia eólica em eletricidade usando a força aerodinâmica das pás do rotor. Quando o vento flui através da lâmina, a pressão do ar em um lado da lâmina diminui e essa diferença de pressão cria uma elevação. A força do levantamento faz com que o rotor gire. Dessa forma, o rotor se conecta com o gerador e acelera a rotação, essa conversão da força aerodinâmica na rotação do gerador gera eletricidade.

Segundo o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB, 2008), considerando uma massa de ar em movimento a uma velocidade v , perpendicular a uma seção transversal de um cilindro imaginário com

área A, pode-se demonstrar a potência do vento que passa por essa área através da fórmula:

$$P_{\text{vento}} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

onde:

P = Potência do Vento [W]

ρ = massa específica do ar [kg/m³]

A = área da seção transversal [m²]

v = velocidade do vento [m/s]

A potência do vento não é totalmente aproveitada pelo aerogerador na conversão de energia elétrica. Portanto, é incluído um coeficiente C_p que é definido como a fração da potência eólica disponível que é extraída pelas pás do rotor e depende das características dos aerogeradores, sendo função da razão das velocidades λ e do ângulo β das pás (CRESESB, 2008). A potência dos aerogeradores é dada pela fórmula a seguir:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V_w^3 C_p(\lambda, \beta)$$

com

$$\lambda = \frac{R \omega_{wt}}{V_w}$$

onde:

C_p = coeficiente de potência do aerogerador;

λ = razão entre a velocidade tangencial da ponta da pá e a velocidade do vento incidente

ω_{wt} = velocidade angular do aerogerador [rad/s]

R = raio do aerogerador [m]

ρ = densidade do ar [kg/m³]

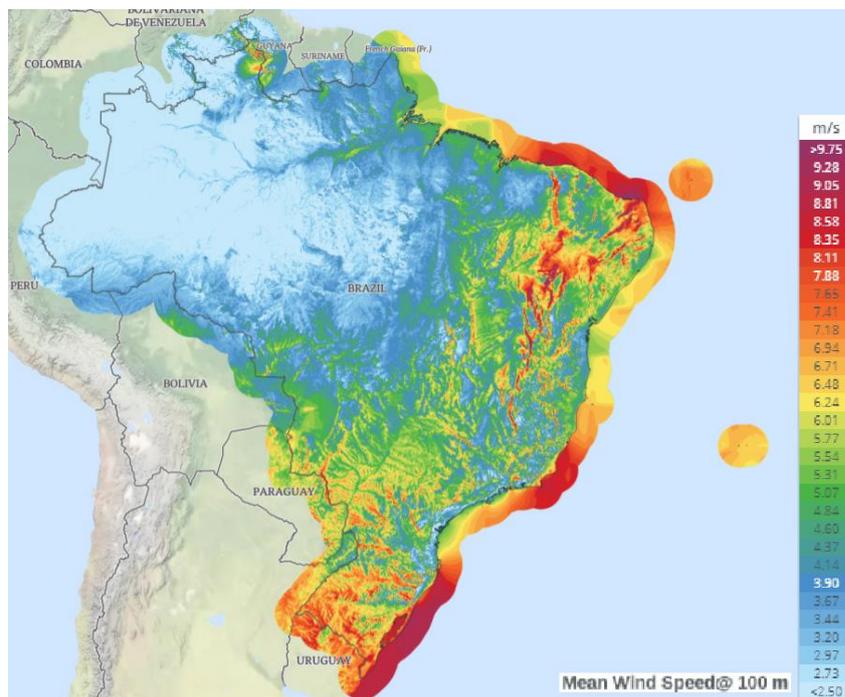
A = área varrida pelo rotor do aerogerador [m^2]

V_w = velocidade do vento incidente no aerogerador [m/s]

3.2 Potencial Eólico no Brasil

A ABEEÓLICA (2020a) estima que o potencial eólico *onshore* brasileiro esteja em torno de 500 GW. Conforme Zapparoli (2019) esse potencial leva em consideração somente os aerogeradores que possuem o padrão atual de 2 MW a 3 MW de potência com torres de 150 m de altura. Com o desenvolvimento dos aerogeradores, esse potencial pode ser ainda maior no futuro. Observa-se na Figura 6 que as áreas que possuem maior potencial para gerar energia eólica no Brasil são as regiões Nordeste e Sul, pois possuem áreas com a velocidade média dos ventos acima de 6 m/s a 100 m, devido a características de relevo, clima e vegetação. Segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2020) os ventos brasileiros se caracterizam por uma presença duas vezes superior à média mundial e possui uma volatilidade de apenas 5%, favorecendo o Brasil, pois assim gera uma maior previsibilidade do volume que será produzido. De acordo com CRESESB (2008) os principais fatores que influenciam no regime dos ventos são a variação da velocidade com a altura, a rugosidade do terreno, presença de obstáculos nas redondezas e relevo que pode causar efeito de aceleração ou desaceleração no escoamento do ar.

Figura 6 - Mapa da velocidade média do vento no Brasil a 100 m – 2020



Fonte: Adaptado Technical University of Denmark (DTU), 2020

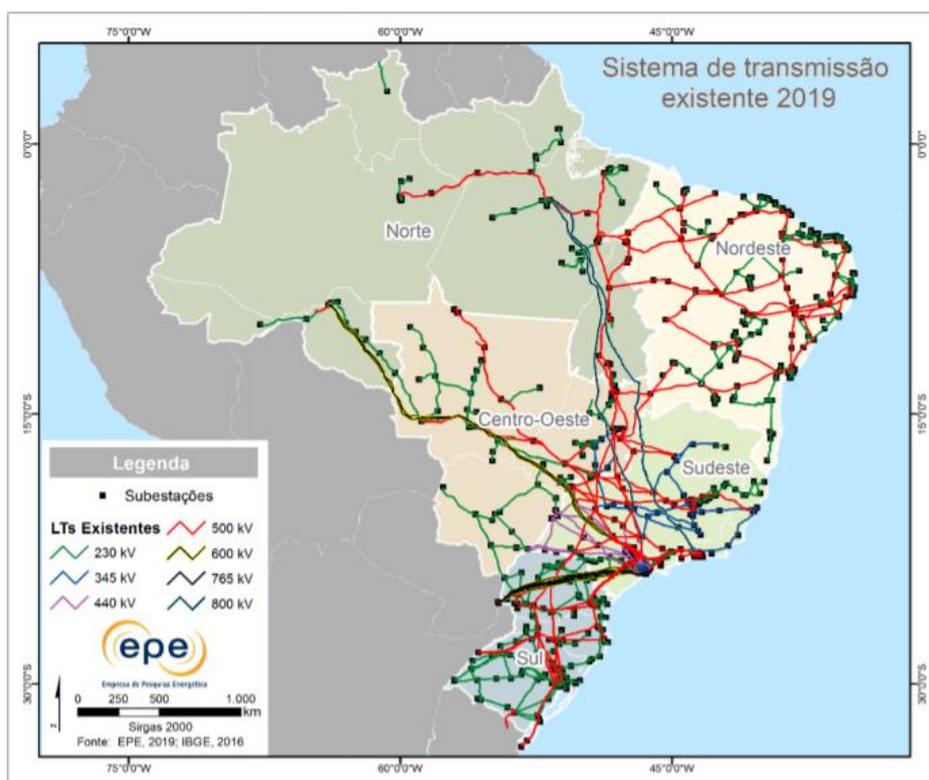
Conforme o DOE (2020), o vento é uma forma de energia solar causada por uma combinação de três eventos simultâneos: o aquecimento desigual da atmosfera, a existência de irregularidades na superfície terrestre, e a rotação da Terra. De acordo com o CRESESB (2008), uma estimativa de energia disponível dos ventos na Terra é de que aproximadamente 2% da energia solar absorvida pelo planeta é convertida em energia cinética dos ventos, o que representa centenas de vezes a potência anual instalada nas centrais elétricas do mundo.

3.3 Sistema Interligado Nacional (SIN)

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é um sistema hidro-termo-eólico de grande porte. O SIN é constituído por quatro subsistemas: Sudeste/Centro Oeste, Sul, Nordeste e Norte, e compreende aproximadamente 99% da geração de energia elétrica no Brasil. Os sistemas elétricos são interligados através da malha de transmissão, ilustrada na Figura 7. A malha de transmissão compreende tensões de

230 kV a 800 kV e tem como funções a transferência de energia entre os subsistemas, garantindo maior confiabilidade na rede e obtenção de ganhos sinérgicos. Além disso, o SIN explora a diversidade do regime hidrológico das diferentes bacias do país e a integração elétrica com os países vizinhos (MME; EPE, 2019; ONS, 2020a)

Figura 7 - Diagrama do Sistema Interligado Nacional em Operação – 2019



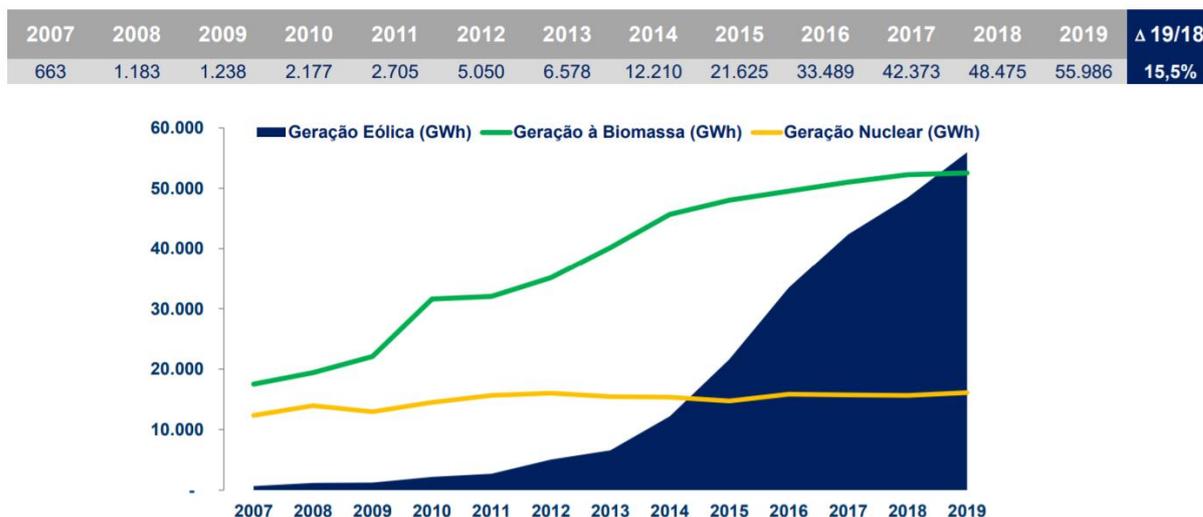
Fonte: MME; EPE, 2019

Segundo o ONS (2020a), são 235 localidades que correspondem aos 1% da geração de energia elétrica fora do SIN, sendo a maior parte desses sistemas isolados na região Norte, além da ilha de Fernando de Noronha, em Pernambuco, e alguns locais no Mato Grosso. De acordo com o MME e EPE (2019), existem estudos e licitações já realizadas para a expansão de interligações no SIN com a integração de usinas de grande porte, expansão das principais interligações entre subsistemas, além de interligações de alguns sistemas isolados ao SIN, como Manaus-Boa Vista.

3.4 Histórico da Geração Eólica no Brasil no Sistema Interligado Nacional

Melo (2012) afirma que entre os anos de 2009 e 2012, com os leilões de energia, foram contratados 7 GW em novos projetos eólicos, esses projetos contratados nos leilões aumentariam a capacidade instalada em 2017 para mais de 8,4 GW. Dessa forma, o ano de 2012 foi marcado pela instalação de 2 GW de potência no SIN, encerrando o ano com 2,5 GW de potência instalada e com 2% na participação da matriz elétrica brasileira. É possível observar na Figura 8 o crescimento da geração eólica no Brasil a partir do ano de 2012. Segundo ABEEÓLICA (2015), a fonte eólica teve um grande salto em 2014, com implantação de 96 parques eólicos e 2,5 GW de potência instalada, tornando o Brasil, na época, o décimo país do mundo em capacidade instalada. Conforme a EPE (2020a), em 2015 a geração eólica já havia ultrapassado a geração nuclear, e em 2019, com um crescimento de 15,5% em relação a 2018, ultrapassou a geração à biomassa, como é ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Evolução da geração eólica (GWh)



Fonte: EPE, 2020a

A geração de energia eólica no Brasil, no SIN, aumentou a partir do ano de 2014, simultaneamente com a capacidade instalada em operação comercial (Tipo I, Tipo II-B e de Conjuntos) que possuem relacionamento com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (Figura 9). As usinas Tipo I são: usinas conectadas a rede básica independente da potência líquida aplicada no SIN, da natureza da fonte primária e que

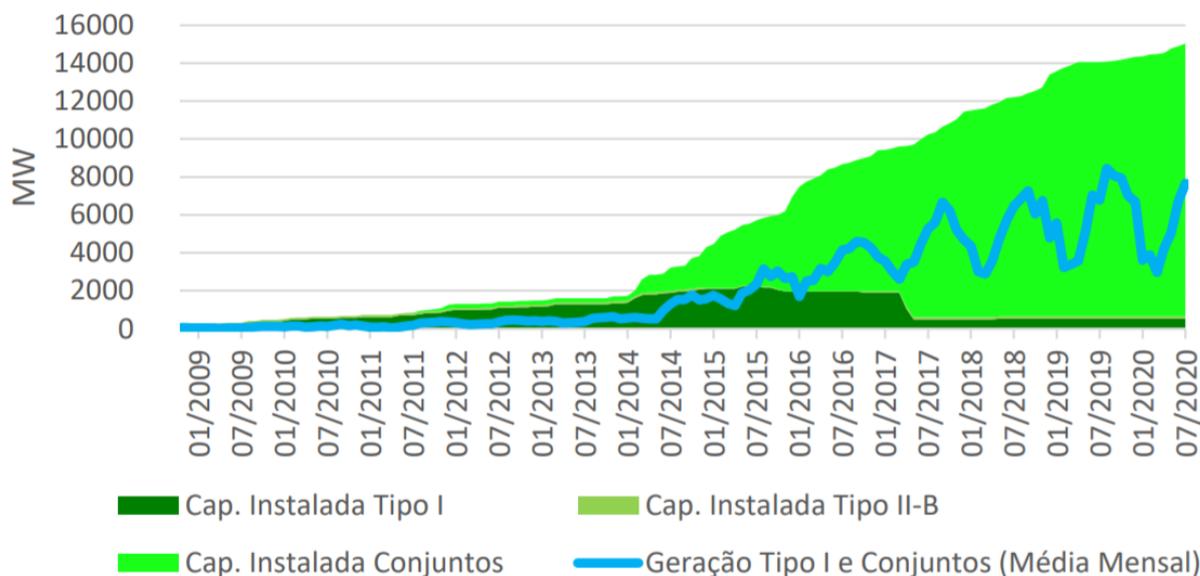
afetem a operação eletroenergética; usinas fora da rede básica que possuam a potência líquida no SIN que contribua para minimizar os problemas operativos e promovam uma maior segurança da operação; usinas hidrelétricas com capacidade superior a 30 MW. As usinas Tipo II são usinas conectadas na rede básica ou não que não causam impactos na segurança elétrica da rede, porém afetam os processos de planejamento, programação da operação, operação em tempo real, pré-operação e pós-operação. Elas podem ser classificadas como Tipo II-A, Tipo II-B e Tipo II-C. A geração eólica no SIN está inserida nas Usinas Tipo II-B: usinas que identificam a necessidade de informação ao ONS para a sua representação nos processos citados acima; usinas que possuem reservatórios que impactam na operação de usinas Tipo I; usinas que em função das características da fonte primária possuem limitações impedindo o atendimento ao despacho centralizado de forma sistemática como biomassa, eólica, fotovoltaica e cogeração. Já os conjuntos de usinas são compostos por usinas Tipo II-C, que não impactam individualmente a operação no SIN, mas quando são analisadas em conjunto e compartilham o mesmo ponto de conexão totalizam uma injeção significativa de potência no SIN, portanto torna-se necessário o seu relacionamento com a ONS, possibilitando a operação em forma de conjuntos. (ONS, 2020b).

Observa-se que a fonte eólica teve uma grande expansão entre os anos de 2014 e 2019 (Figura 9). Em julho de 2020, segundo a ONS (2020b), a fonte eólica alcançou a geração de energia de aproximadamente 8.000 MW médios e capacidade instalada de 15.023,20 MW em operação comercial (Figura 10). Em julho de 2014, conforme o ONS (2014), a capacidade instalada total era de 3.237,5 MW, sendo 1878,1 MW de usinas Tipo I, 131,1 MW de usinas Tipo II-B e 1228,4 MW de Conjuntos. Portanto, a capacidade instalada aumentou de 3.237,5 MW em 2014 para 15.023,20 MW em 2020, com uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 29% nos últimos seis anos.

Além dessa capacidade instalada em operação com o ONS, também existe a capacidade de usinas tipo III de 1.429,52 MW, que não possuem relacionamento com a ONS, totalizando 16.452,72 MW nesse período, como é ilustrado na Figura 10. As

usinas tipo III são: usinas conectadas fora da rede básica que não provocam impacto na operação eletroenergética do SIN; empreendimentos de autoprodução que são conectados à rede básica e que apresentam demanda permanentemente maior que a geração (ONS, 2020b).

Figura 9 - Geração Eólica no SIN em operação comercial



Fonte: Adaptado pelo autor com base em dados da ONS, 2020b

Figura 10 - Capacidade Instalada de usinas eólicas no SIN, contemplando as usinas em operação comercial

Capacidade Instalada (MW)					
Tipo I	Tipo II-B	Conjuntos	Total ONS	Tipo III	Total
526,29	120,78	14.376,14	15.023,20	1.429,52	16.452,72

Fonte: Adaptado ONS, 2020b

Com relação a energia da fonte eólica, ocorre sazonalidade na geração de energia ao longo do ano, como é mostrado na Figura 9, com índices de pico no mês de julho. A geração eólica substitui parte da geração hidrelétrica, principalmente nas bacias hidrográficas da Região Sudeste e Centro-Oeste, e evita o deplecionamento dos reservatórios hidroelétricos, reduzindo o preço a curto prazo no período que a geração hidrelétrica é menor. Assim, as produções de energia dessas duas fontes se

complementam, com maior nível de geração eólica durante o período seco (CHIPP, 2016).

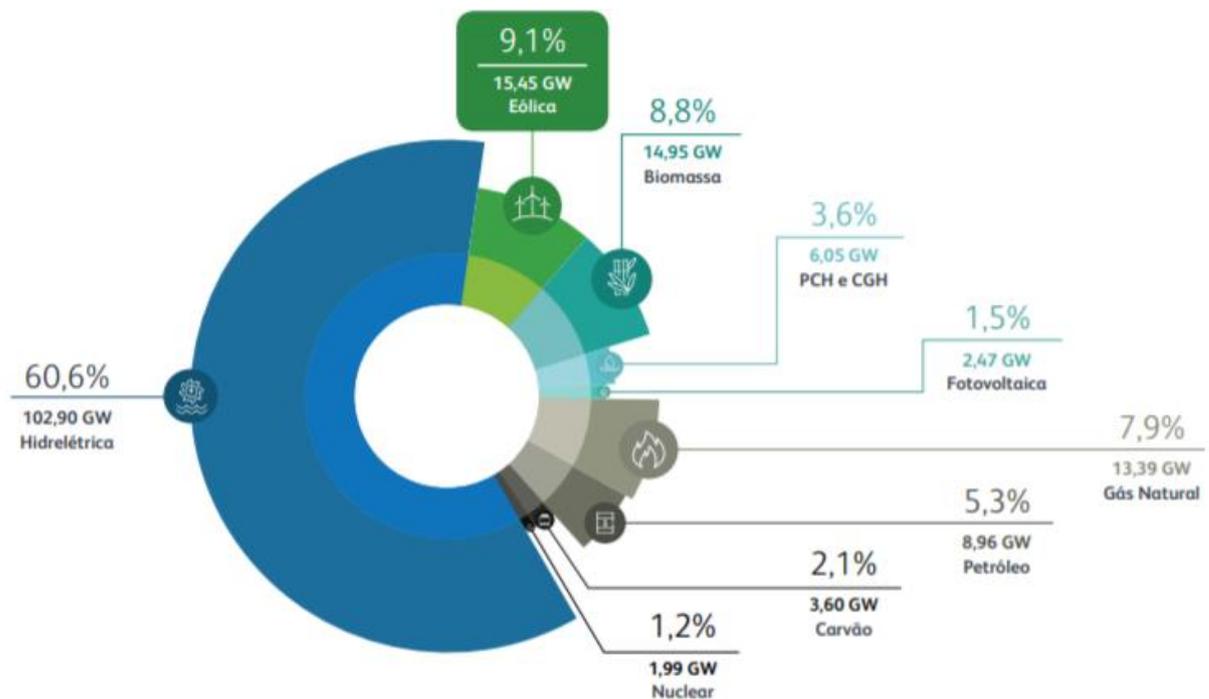
Portanto, o Brasil possui um grande potencial eólico e o histórico da geração dessa fonte de energia mostra a evolução ao longo dos anos, principalmente depois dos primeiros leilões de energia, desde 2009. Dessa forma torna-se necessário explicações no capítulo a seguir sobre a geração de energia no Brasil e a evolução da capacidade instalada eólica no país, além das modalidades de geração centralizada e distribuídas.

4 GERAÇÃO DE ENERGIA E CAPACIDADE INSTALADA

4.1 Matriz Elétrica

Segundo a ABEEÓLICA (2020b) no ano de 2019 foram instalados no Brasil 5,96 GW de potência, considerando todas as fontes de geração de energia elétrica, sendo lideradas pela fonte hidrelétrica (77,40%) e eólica (12,50%). Dessa forma, com a nova capacidade instalada, a fonte eólica atingiu uma participação de 9,1% na matriz elétrica brasileira, com 15,45 GW instalados, como é ilustrado na Figura 11. Essa capacidade instalada é composta por 15,37 GW em parques em operação comercial e 0,07 GW em operação teste.

Figura 11 - Matriz Elétrica Brasileira



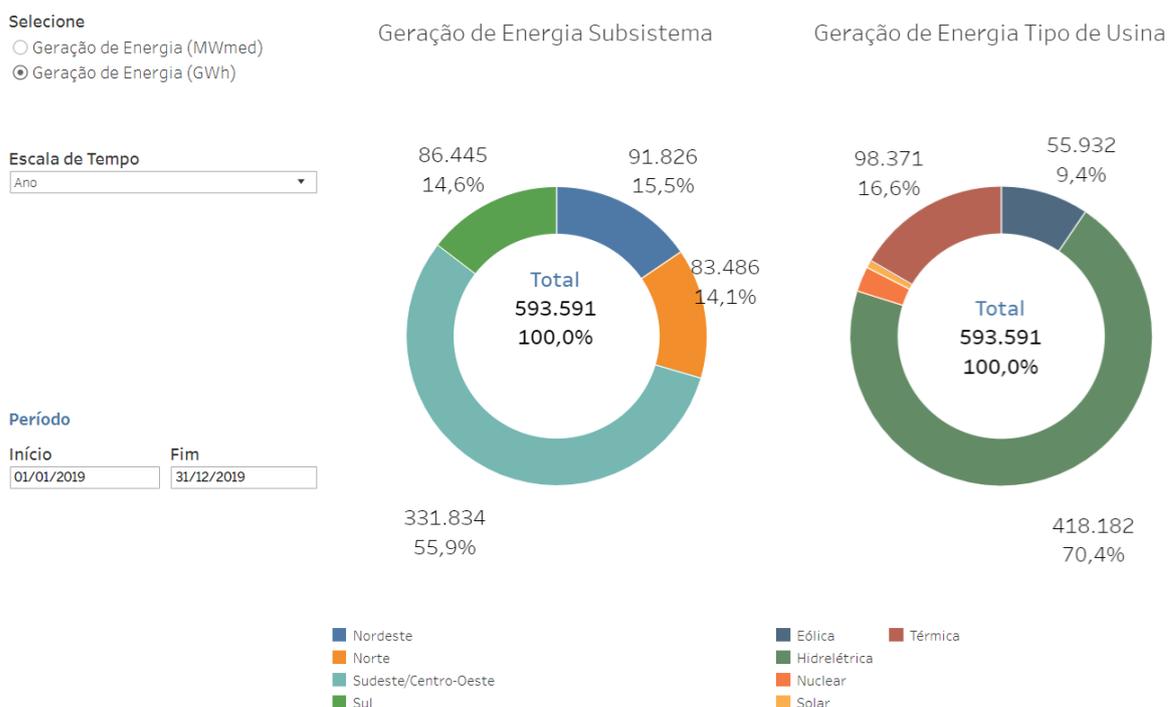
Fonte: ABEEÓLICA, 2020b

De acordo com a EPE (2020b), em relação à matriz elétrica brasileira da geração de energia elétrica, a hidráulica é a principal fonte (64,9%), seguida do gás natural (9,3%), eólica (8,6%), biomassa (8,4%), carvão e derivados (3,3%), nuclear (2,5%), derivados de petróleo (2%) e a solar (1%). Portanto a energia eólica é a segunda principal fonte renovável na matriz elétrica.

4.2 Geração de energia por subsistema e tipo de usina

A geração total de energia no Brasil no ano de 2019 foi de 593.591 GWh, desse total 55.932 GWh (9,4%) correspondem a geração de energia por usinas eólicas. De acordo com a geração de energia por subsistema e por tipo de usina (Figura 12), é possível observar que o subsistema do Sudeste/Centro-Oeste é o que mais gera energia (55,9%) no país, seguidos do Nordeste (15,5%), Sul (14,6%) e Norte (14,1%). Já na geração de energia por tipos de usinas existentes no Brasil, as hidrelétricas presentes em dezesseis bacias hidrográficas foram responsáveis por 70,4% da geração, seguidas das térmicas (16,6%), eólica (9,4%), nuclear (2,7%) e solar (0,8%), como pode ser observado na Figura 12 (ONS, 2020c).

Figura 12 - Geração de Energia por subsistema e por tipo de usina em 2019 (GWh)



Fonte: ONS, 2020c

Em relação à geração de energia elétrica eólica por subsistema (Figura 13), a Região Nordeste é a mais expressiva, representando 86,7% no ano de 2019, seguida das regiões Sul (10,3%), Norte (2,9%) e Sudeste (0,1%). A região que mais cresceu

nessa geração em comparação ao ano de 2018 foi a região Norte (57%), já na região Sul houve uma redução de -2% (ABEEÓLICA, 2020b).

Figura 13 - Geração e Representatividade da Fonte Eólica

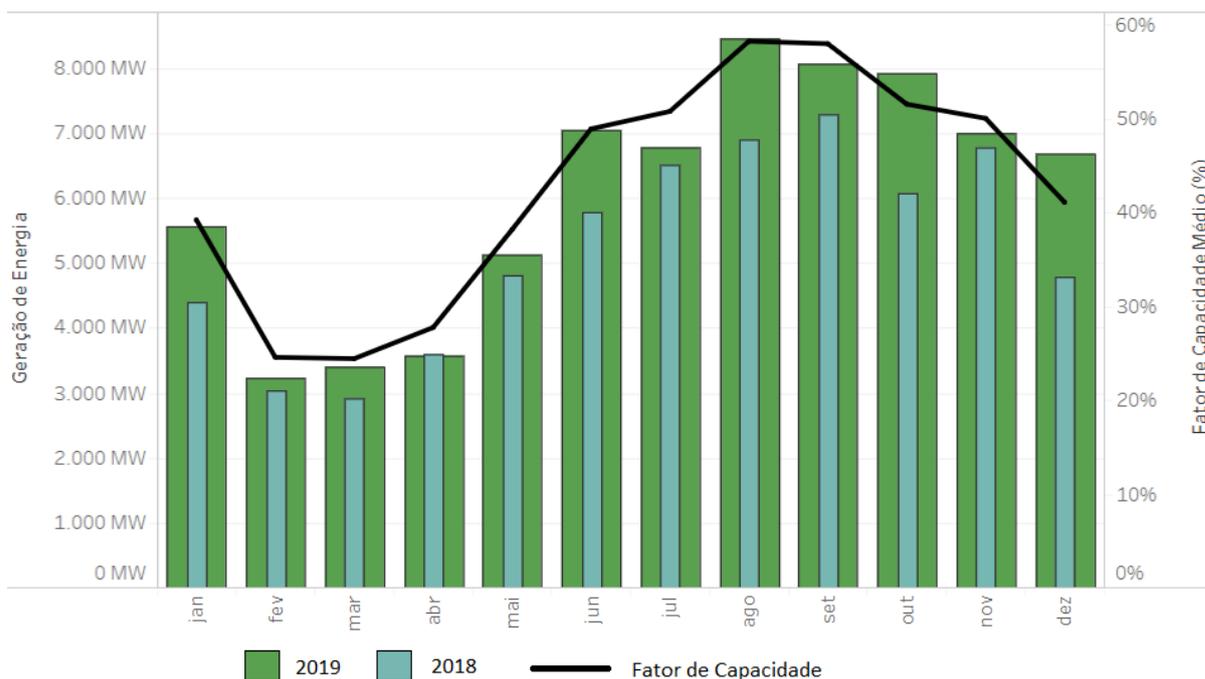
Região	2018		2019		"% de crescimento"
	Geração (TWh)	Representatividade	Geração (TWh)	Representatividade	
SUDESTE	0,05	0,1%	0,06	0,1%	17%
SUL	5,75	12,4%	5,62	10,3%	-2%
NORDESTE	39,69	85,4%	47,13	86,7%	19%
NORTE	0,99	2,1%	1,55	2,9%	57%
Total	46,47	100%	54,37	100%	17,0%

Fonte: ABEEÓLICA, 2020b

Conforme a ONS (2020d), a geração total de energia eólica em 2019 foi superior em relação ao ano de 2018, como é mostrado na Figura 14. Em 2018 o pico da geração eólica no Brasil ocorreu no mês de setembro, com aproximadamente 7.296 MW médios, já em 2019, esse pico ocorreu em agosto, com aproximadamente 8.449 MW médios. De acordo com a ABEEÓLICA (2020b), a produção dos ventos de 2019 em relação ao ano de 2018, foi superior a 15%, com média anual de 6.361 MW médios.

O fator de capacidade representa a proporção entre a geração efetiva da usina em um intervalo de tempo e a capacidade total do mesmo. O fator de capacidade médio no Brasil foi de 42,7% em 2019. O fator de capacidade máximo em 2019 ocorreu no mês de agosto, e foi de aproximadamente 58%. Nos meses de fevereiro e março, a fonte eólica possuiu a menor geração de energia e, também, o menor fator de capacidade (24%) (ABEEÓLICA, 2020b; ONS, 2020d)

Figura 14 - Geração Eólica (MWmed) e Fator de Capacidade Mensal total em 2018 e 2019



Fonte: Adaptado ONS, 2020d

4.3 Geração Eólica Centralizada e Distribuída

4.3.1 Geração Distribuída

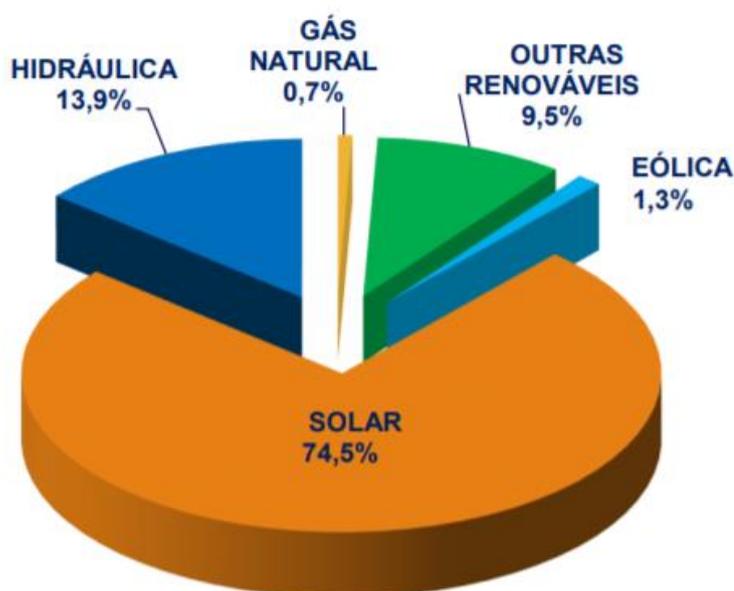
O Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE, 2020) afirma que a Geração Distribuída (GD) é uma expressão utilizada para designar a geração de energia elétrica realizada próxima dos consumidores independente da potência, fonte de energia e tecnologia. Essa geração tem vantagem sobre a geração centralizada porque economiza investimentos em transmissão e distribuição, e reduz as perdas de energia.

Em 2012, a micro e a minigeração distribuídas (MMGD) foram regulamentadas no Brasil através da ANEEL, pela Resolução Normativa N 482 (ANEEL, 2012). Em 2015, essa resolução foi alterada pela Resolução Normativa N 687 e, em 2017, pela Resolução Normativa N 786 (ANEEL, 2015, 2017b). Dessa forma, conforme a ANEEL (2012, 2015, 2017b), é considerada microgeração um sistema com potências inferior ou igual a 75 KW e minigeração um sistema superior a 75 KW e menor ou igual a 5

MW e que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica conectadas na rede de distribuição.

A participação de cada fonte de energia na geração distribuída é ilustrada na Figura 15. A energia solar tem maior participação com 74,5%, e a fonte eólica contribui com apenas 1,3% da geração. Foram produzidos 828 GWh de energia eólica em 2018 e 2.226 GWh em 2019, portanto é um aumento significativo de 169%. Além disso, em 2019, a capacidade instalada total de MMGD é 2.162 MW, desse total, a energia solar contribui com 1.992 MW e a energia eólica contribui com apenas 10 MW (EPE, 2020a).

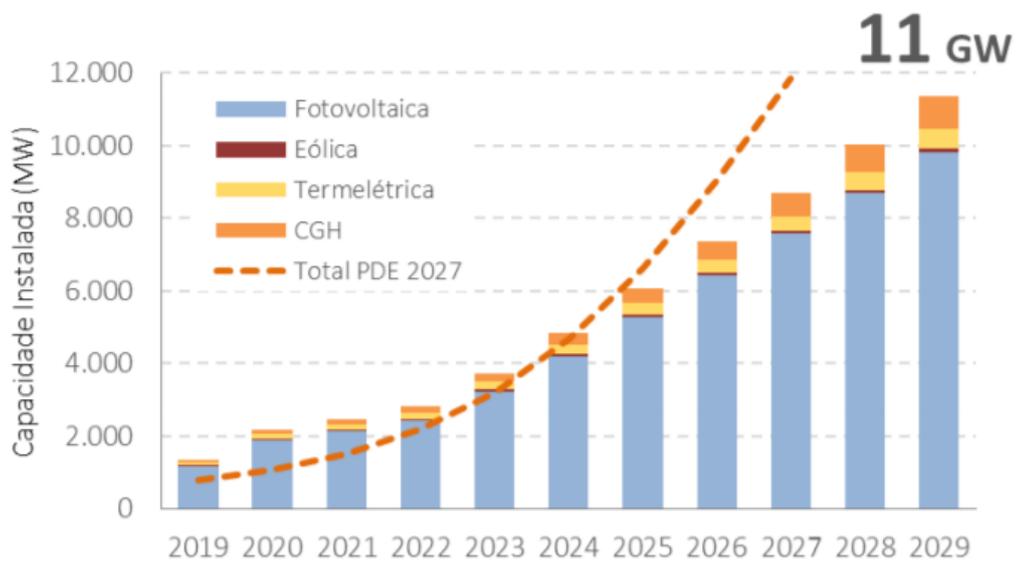
Figura 15 - Participação de cada fonte na geração distribuída em 2019



Fonte: EPE, 2020a

Segundo o MME e EPE (2019) a previsão é que em 2020 haverá mais de 1,3 milhão de adotantes das MMGD, representando em torno de R\$ 50 bilhões em investimentos e podendo atender 2,3% da carga nacional. Observa-se na Figura 16 que a energia solar fotovoltaica é destaque no cenário, principalmente devido ao custo decrescente. Porém, as fontes eólica, termelétrica e hidrelétrica possuem grande potencial para esse modelo de geração, já que podem gerar custos mais baixos que a solar.

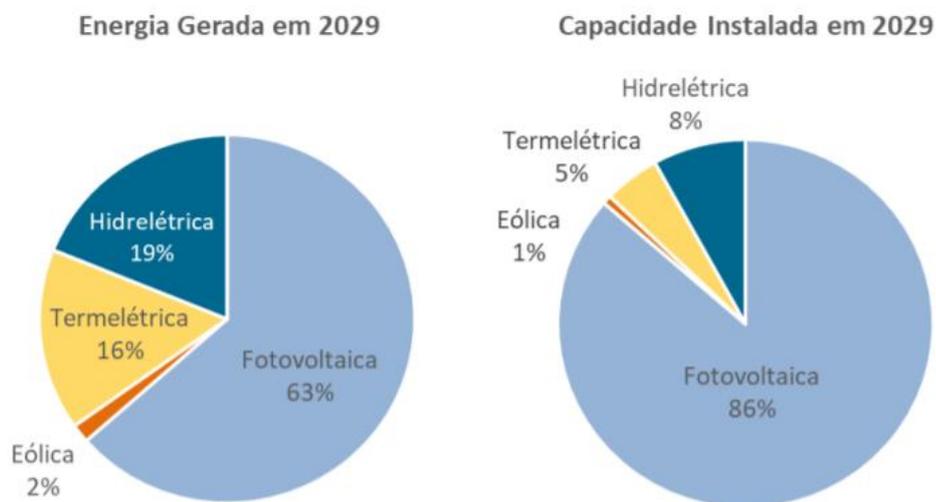
Figura 16 - Projeção da Capacidade Instalada da Micro e Minigeração Distribuída



Fonte: MME; EPE, 2019

Em relação a previsão de capacidade instalada para o cenário das MMGD no ano de 2029 (Figura 17), a capacidade da fonte fotovoltaica é de 86%, enquanto a da eólica é prevista para 1%. Já para a previsão de energia elétrica gerada, a fonte fotovoltaica contribuirá com 63% e a eólica com apenas 2%. Portanto a fonte fotovoltaica liderará o cenário para as MMGD nos próximos anos (MME; EPE, 2019).

Figura 17 - Potência e Energia por fonte em 2029 na trajetória de referência

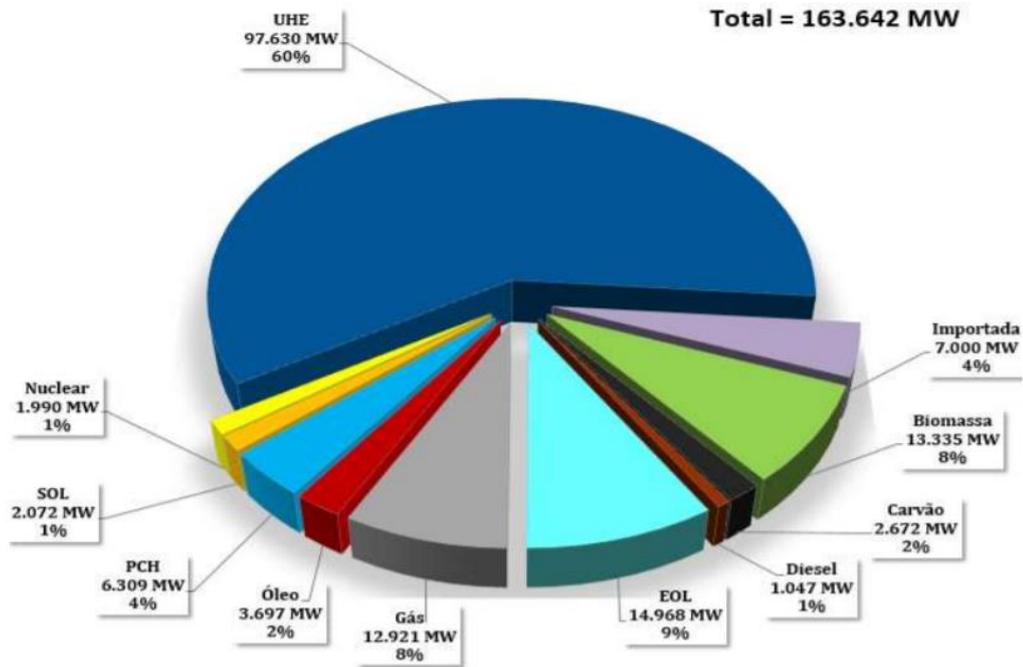


Fonte: MME; EPE, 2019

4.3.2 Geração Centralizada

O Brasil possui de capacidade total instalada no SIN na geração centralizada, ou seja, de grande porte, de 163.642 MW (Figura 18). As UHE lideram essa capacidade com 60%, as eólicas correspondem a 9%, já as usinas solares correspondem a apenas 1% (MME; EPE, 2019).

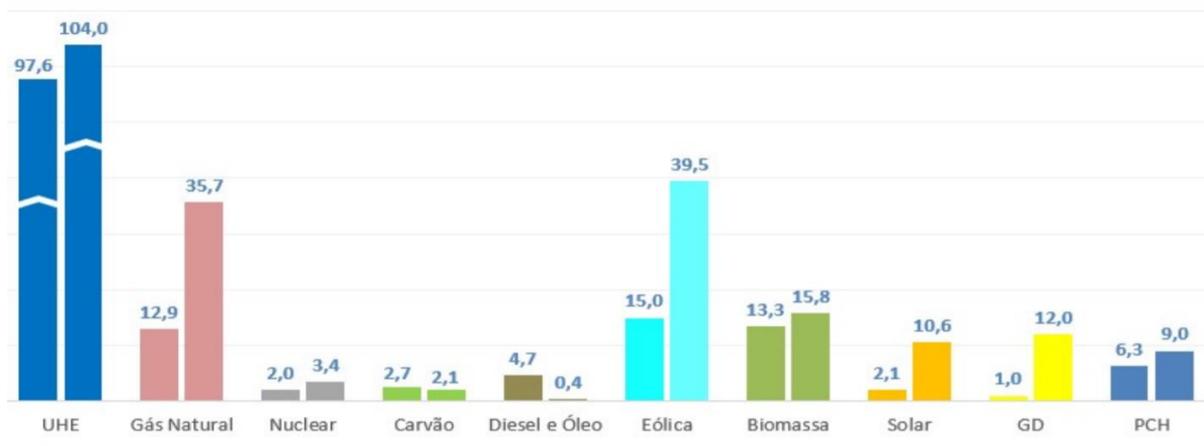
Figura 18 - Capacidade Instalada no SIN em maio de 2019



Fonte: MME; EPE, 2019

A previsão da expansão das fontes de energia do ano de 2019 para 2029 é mostrada na Figura 19. As usinas hidrelétricas continuarão sendo a maior fonte de geração de energia do Brasil, com 104 GW, em 2029. Já a energia eólica, passará de 15 GW, em 2019, para aproximadamente 40 GW, em 2029. A capacidade de energia solar, que está com 2,1 GW em 2019, irá aumentar para aproximadamente 11 GW, em 2029. A geração de energia eólica centralizada será a segunda principal fonte de geração de energia elétrica em 2029 (MME; EPE, 2019).

Figura 19 - Variação da Capacidade Instalada em 2019 e 2029 (GW)



Fonte: MME; EPE, 2019

Portanto, na geração centralizada a fonte eólica tem um crescimento muito maior que a fonte solar. É interessante pontuar que, na geração de energia distribuída, ocorre uma situação contrária, já que a energia solar está em maior expansão que a energia eólica nesse cenário.

4.4 Capacidade Instalada

De acordo com a ABEEÓLICA (2020c), a evolução da capacidade instalada (Figura 20), refere-se a contratos já realizados em leilões e no mercado livre. À medida que novos leilões forem realizados e novas capacidades forem contratadas, a capacidade instalada se elevará nos próximos anos. No ano de 2024 o Brasil terá aproximadamente 24,2 GW de capacidade eólica instalada, um aumento de aproximadamente 9 GW em relação a capacidade instalada em 2019.

Figura 20 - Evolução da Capacidade Instalada em MW



Fonte: ABEEÓLICA, 2020c

O subsistema que mais contribui pra a capacidade total instalada de energia eólica é o Nordeste (13.798 MW), com aproximadamente 83% do total, como pode ser visualizado na Figura 21. Além disso, o Sul contribui com 2.199 MW, o Norte com 426 MW e o Sudeste com 28 MW.

Figura 21 - Capacidade Instalada de usinas eólicas em operação comercial no SIN por subsistemas

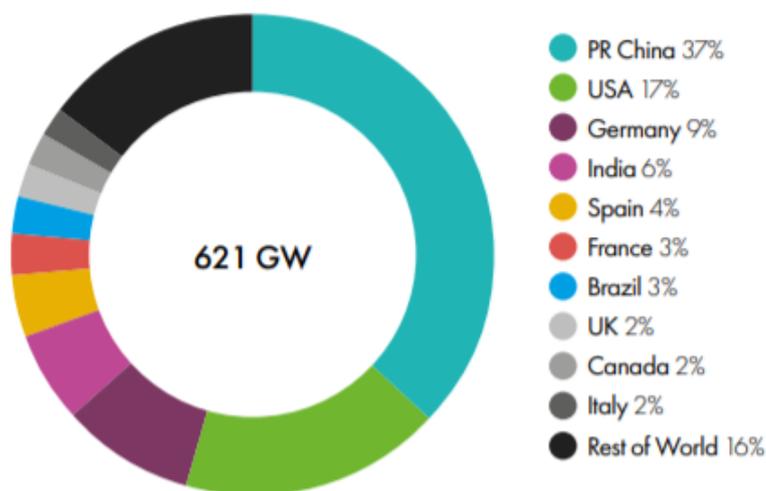
Subsistema	Capacidade Instalada (MW)					
	Tipo I	Tipo II-B	Conjuntos	Total ONS	Tipo III	Total
N	0,00	0,00	426,00	426,00	0,02	426,02
NE	526,29	23,10	12.051,45	12.600,84	1.197,79	13.798,62
S	0,00	97,68	1.898,69	1.996,37	203,50	2.199,87
SE	0,00	0,00	0,00	0,00	28,21	28,21

Fonte: ONS, 2020b

O Global Wind Energy Council (GWEC, 2020) afirma que a capacidade acumulada *onshore* instalada mundialmente é de 621 GW em 2019. O Brasil contribui com 3% desse total, alcançando a sétima posição do Ranking Mundial (Figura 22), que é liderado pela China com 37% da capacidade mundial. Já no Ranking Mundial de nova capacidade instalada em 2019 elaborado pela GWEC, o Brasil ocupa a

décima segunda posição. Segundo a ABEELICA (2020b), houve esse decréscimo em relação aos últimos anos porque não foram realizados leilões de energia entre 2015 e 2017.

Figura 22 - Capacidade Mundial Instalada Acumulada OnShore



Fonte: GWEC, 2020

Dado o exposto, a fonte eólica é a segunda principal da matriz elétrica brasileira tanto em 2019 como no cenário de 2029, o que implica grandes investimentos e adição de capacidade instalada nos próximos anos. Com a expansão eólica, ocorre conseqüentemente a expansão da indústria eólica, são gerados empregos e o fomento da economia, com o aumento da produção dos componentes para construção das usinas, que serão apresentados no capítulo a seguir.

5 A EXPANSÃO DA INDÚSTRIA EÓLICA NO BRASIL

5.1 Cadeia de Valor, Geração de Empregos e Carreiras

5.1.1 Cadeia de Valor e Geração de Empregos

A macro cadeia de valor da indústria de energia eólica (Figura 23) mostra que as atividades são divididas em 6 etapas: Estudos Preliminares, Análise de Viabilidade, Contratos de comercialização, Fornecimentos de equipamentos, Construção e Operação Comercial.

Figura 23 - Macro Cadeia de valor da Energia Eólica



Fonte: SEBRAE, 2017

Segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2017), uma etapa de grande relevância é a de fornecimento de equipamentos, que corresponde até 80% dos investimentos para implantação dos parques eólicos. O aerogerador é o principal item da cadeia, representando em média 60% do investimento dos parques.

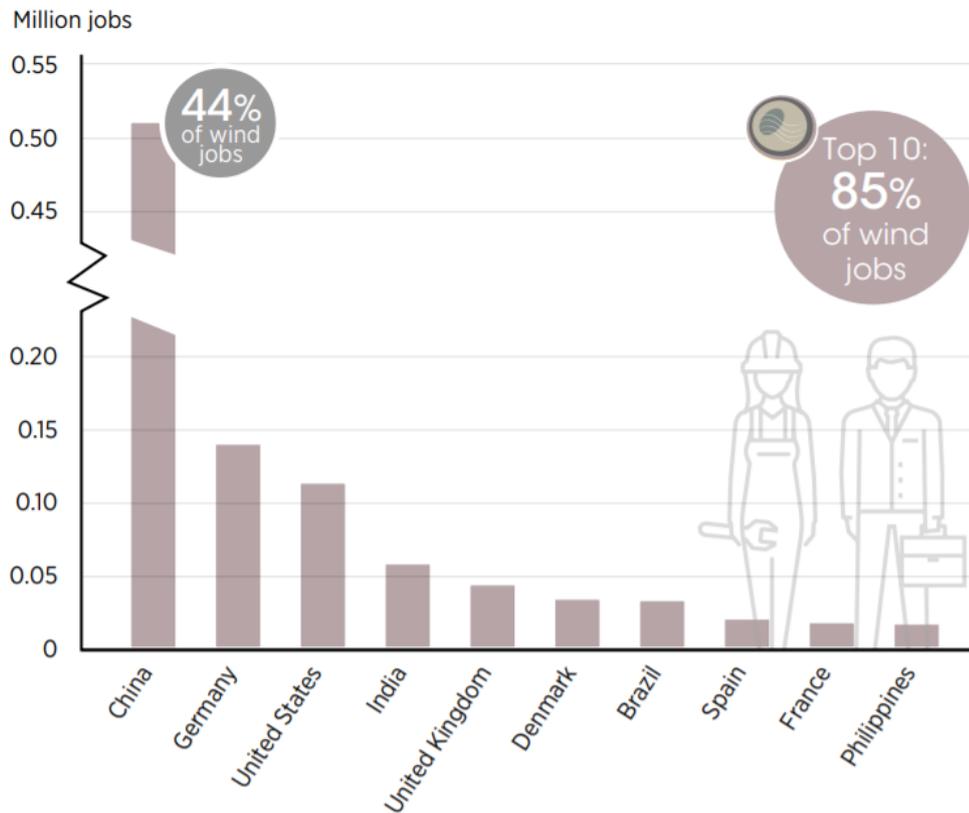
Além dos investimentos em equipamentos, há a contratação de serviços complementares, com impactos na geração de empregos e arrendamentos de terras para a construção de uma usina eólica. A ABEEÓLICA (2019) afirma que para cada MW instalado, é estimado a geração de 15 postos de trabalho diretos e indiretos. Em dezembro de 2019, haviam mais de 200.000 postos de trabalho diretos e indiretos no Brasil. Segundo a ABEEÓLICA (2018), somente em 2017, foram gerados mais de 30 mil postos de trabalho no país. De acordo com Rotta (2018), muitos empregos são gerados na fase da construção e diminui quando o parque entra em operação, já que

a manutenção e a operação possuem menor demanda. Somente na fase de desenvolvimento do projeto são necessários pelo menos 11 tipos de profissionais e entre a manufatura, construção e operação há mais de 34 especializações diferentes. Conforme Gouvêa e Silva (2018), a construção é a etapa com maior geração de empregos diretos e também existe a possibilidade da criação de empregos temporários para a comunidade que o parque será inserido. De acordo com Simas e Pacca (2013) a fase de operação também gera empregos locais, em menor quantidade em comparação à construção, porém possuem a duração da vida útil do empreendimento. Além da geração de empregos, conforme a ABEEÓLICA (2019), é estimado que aproximadamente 4.000 famílias recebam, ao todo, mais de R\$ 10 milhões por mês referente ao arrendamento de terras.

Uma análise de sensibilidade para importação de equipamentos mostra que com a importação pode ocorrer perdas de até 17% dos empregos totais previstos. A redução de conteúdo nacional das pás pode ser o mais afetado, já que essa é a atividade que possui o maior índice de emprego por capacidade instalada de equipamento (SIMAS; PACCA, 2013). Por isso é importante a produção de conteúdo nacional no Brasil.

De acordo com IRENA (2019b), o Brasil possui 34.000 empregos no setor eólico, ocupando a sétima posição no ranking mundial no ano de 2018 (Figura 24). Do total de empregos no país, quase um terço estão na manufatura, 42% estão na construção e o restante ocupa cargos de operação e manutenção. A China lidera com 44% dos empregos mundiais. Os 10 países que compõem a lista ocupam 85% dos empregos no mundo.

Figura 24 - Os 10 principais países para emprego eólico



Fonte: IRENA, 2019b

5.1.2 Carreiras para a indústria eólica

De acordo com a ABDI (2018b), o mapa de carreiras do setor eólico considera cinco grupos de atividades da segmentação da cadeia de bens e serviços: Desenvolvimento de Projetos, Manufatura, Construção e Montagem, Operação e Manutenção e Ensino e Pesquisa.

As carreiras requisitadas dentro dos grupos de atividades são, segundo a ABDI (2018b), mostradas na tabela a seguir:

Tabela 1 Carreiras no setor eólico

Desenvolvimento de Projetos	Técnico em Meteorologia, Advogado, Engenheiro de Projetos, Gerente de Negócios, Gerente Financeiro, Engenheiro de Sistemas Elétricos, Especialista em Regulação, Especialista em Recurso Eólico, Consultor Ambiental/Engenheiro Ambiental/Geólogo/Biólogo, Engenheiro Civil, Engenheiro de Qualidade e Especialista em Prospecção de Áreas.
Manufatura	Trabalhadores em geral para montagem do aerogerador, Motorista de caminhão, Especialista em logística, Vendedor, Operador de Produção, Advogado, Pesquisador Engenheiro, Engenheiro Mecânico, Engenheiro Aeroespacial, Gerente Comercial, Engenheiro Eletricista, Gerente de P&D, Engenheiro de Produção, Engenheiro de Qualidade, Gerente de Suprimentos e Engenheiro de Recursos Eólicos.
Construção e Montagem	Trabalhadores para construção, Operadores de Equipamentos, Técnicos em Meteorologia, Gerente de Obras, Especialista em Prospecção de Áreas, Engenheiro de Qualidade/Segurança, Engenheiro Eletricista, Gerente de Projetos, Engenheiro de Projetos, Engenheiro Mecânico e Engenheiro Civil;
Operação e Manutenção	Técnicos em Operação e Manutenção de Parques Eólicos, Técnicos em Meteorologia, Técnico em Meio Ambiente, Engenheiro de Qualidade, Gerente de Planta/Supervisor de Parque Eólico, Engenheiro Eletricista, Engenheiro Mecânico, Advogado, Engenheiro de Ativos/ Gerente Financeiro
Ensino e Pesquisa	Instrutor Técnico, Gerente de Desenvolvimento e Treinamento/Gerente de Recursos Humanos, Pesquisador em Economia, Professor Universitário e Pesquisador Engenheiro.

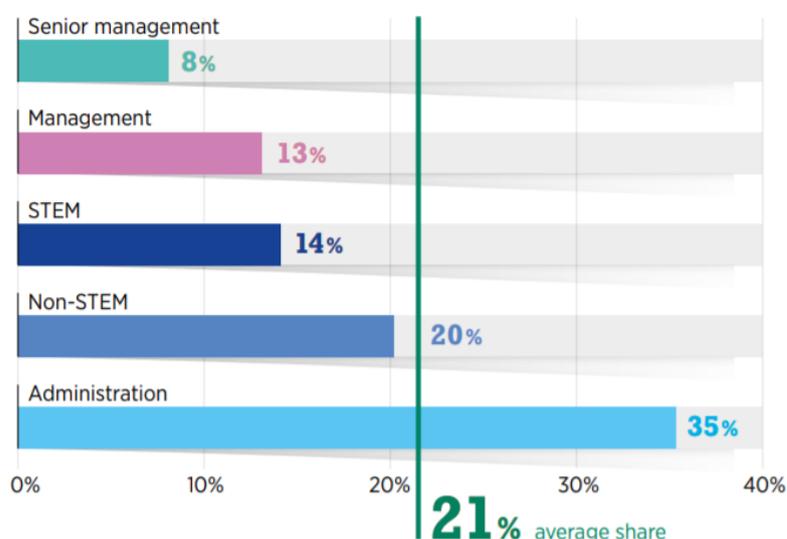
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da ABDI, 2018b

5.1.3 Perspectiva de gênero

O setor de energia está frequentemente dominado pelo gênero masculino. Em uma pesquisa realizada pelo IRENA sobre igualdade de gênero na indústria de

energias renováveis, as mulheres compõem 32% da força de trabalho mundial do setor. Já no setor de energia eólica mundial, as mulheres compõem 21% da força de trabalho total (Figura 25). Em relação às atividades exercidas nas funções administrativas, as mulheres representam 35% da força de trabalho, em cargos que necessitam de conhecimentos em ciência, tecnologia, engenharia e matemática as mulheres ocupam 14%, em cargos que não necessitam esses conhecimentos, 20%. Elas ocupam 13% dos cargos de gestão e 8% das posições de alta gerência. Em relação as regiões, na América Latina e Caribe, onde o Brasil está localizado, o gênero feminino compõe cerca de 19% da força de trabalho no setor eólico (IRENA, 2020).

Figura 25 - Ações das mulheres por função no setor de energia eólica



Fonte: IRENA, 2020

5.2 Indústria de Componentes Eólicos no Brasil

5.2.1 Número de empresas no Setor

Em 2017, havia 26 empresas instaladas no Brasil fabricantes de aerogeradores, torres e pás. Do total, 6 são fabricantes de aerogeradores, 16 de torres (8 de torres de aço e 8 de torres de concreto) e 4 fabricantes de pás. As empresas fabricantes de subcomponentes e insumos para o setor são 198, sendo 88 fabricantes de Nacele, 53 fabricantes de torres e 57 empresas de rotor/pás. Dessas 224 empresas fabricantes

de componentes eólicos, 116 eram novas no ano de 2017 e a maioria está localizada nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil (ABDI, 2018a).

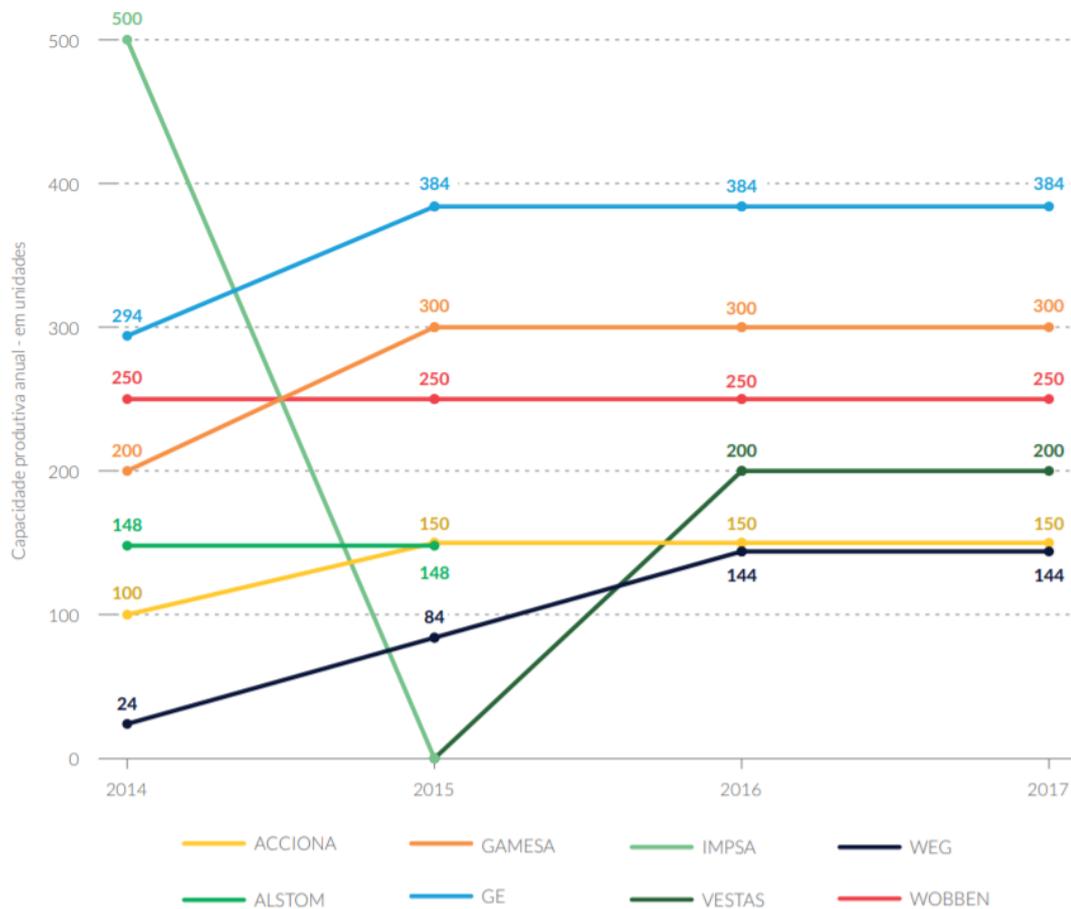
Em relação ao mercado mundial de empresas no setor eólico *onshore* em 2018, as empresas Vestas, Goldwind, GE Wind Energy possuem 48% das ações. A Siemens Gamesa, Renewable Energy e Envision detêm 19% e outras empresas no setor possuem 33% (IRENA, 2019b).

5.2.2 Produção de Aerogeradores

Os fabricantes dos aerogeradores são chamados de montadoras porque a maioria recebe os componentes e subcomponentes que são fabricados por outras empresas e executam a integração do sistema, que são realizadas nos parques eólicos. As fábricas das montadoras se dedicam, normalmente, à montagem da nacelle e do cubo do rotor (ABDI, 2018a).

A ABDI (2018a) afirma que em 2014 haviam dez montadoras de aerogeradores no Brasil e em 2017 o número dessas empresas eram seis, devido a processos de compra-fusão entre algumas empresas. A IMPSA, por exemplo, paralisou suas atividades. A capacidade produtiva total no país manteve-se inalterada nos últimos anos. Em 2017, a capacidade de produção foi de 1.428 unidades de aerogeradores, aproximadamente 3.500 MW/ano, como é ilustrado na Figura 26.

Figura 26 - Evolução da capacidade anual produtiva das montadoras de aerogeradores 2014 a 2017



Fonte: ABDI, 2018a

A Tabela 2 especifica as montadoras de aerogeradores no Brasil, que são credenciadas pelo BNDES, e estavam em atuação em 2017, suas localidades e nacionalidades. É importante ressaltar que apenas uma montadora, a WEG, é de origem brasileira. (ABDI, 2018a).

Tabela 2 Fabricantes de Aerogeradores no Brasil

Montadora	Localidade	Nacionalidade
Nordex Acciona Wiindpower Brasil	Simões Filho- BA	Espanhola/ Alemã (Fusão)
Siemens Gamesa Rewnwable Energy	Camaçari-BA	Espanhola
GE Water & Process Technologies do Brasil LTDA	Camaçari-BA	Norte-Americana
Vestas do Brasil Energia Eólica LTDA	Itaitinga-CE	Dinamarquesa
WEG Equipamentos Eletricos S/A	Jaraguá do Sul – SC	Brasileira
Wind Power Energia S/A (IMPISA)	Santo Agostinho – PE	Argentina
Wobben Windpower Industria e Comercio LTDA	Sorocaba-SP, Caucaíia-CE, Juazeiro-BA e Guaiba-RS	Alemã

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da ABDI, 2018a

A WEG produz dois modelos de aerogeradores no Brasil, AGW 110 / 2.1 e AGW110 / 2.2, com diâmetro do rotor de 110 m, potência média entre 2100 kW e 2200 kW e altura do cubo com possibilidades de 80 m, 95 m ou 120 m. A empresa realizou o lançamento, em 2019, da turbina AGW147/4.0 de 4 MW, com um diâmetro de rotor 147 m (WEG S.A, 2019a; WEG S.A 2019b).

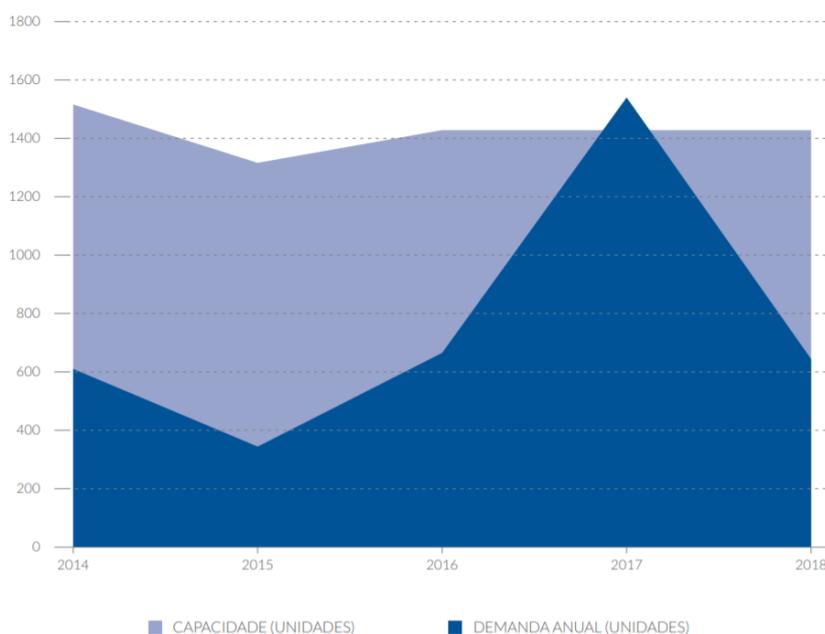
O aerogerador V150-4.2 da Vestas possui diâmetro do rotor de 150 m e altura do cubo de 120 m, além disso foi produzido no Brasil e customizado para as condições de vento específicas do local (VESTAS WIND SYSTEMS A/S, 2019). O complexo Eólico Echo 3, no Rio Grande do Norte, entrou em operação em 2020 e foi o primeiro a utilizar a tecnologia dos aerogeradores (V150-4.2) da plataforma 4 MW da Vestas (ECHOENERGIA, 2020).

De acordo com Zaparolli (2019), a GE anunciou em 2019 que irá vender no Brasil a turbina de 4,8 MW, com diâmetro do rotor de 158 m e a altura do conjunto (torre e pá) que pode chegar a 240 m. A turbina foi lançada mundialmente em 2017 e pode produzir 90% a mais de energia que o modelo antigo da GE utilizado no Brasil de 2,5 MW.

Já a Siemens Gamesa produz no Brasil o aerogerador SG 3.4-132, com diâmetro do rotor de 132 m e 3,4 MW de potência. Em 2019, após negócios da empresa na Suécia sobre o aerogerador SG 5.8-170, que possui a mais alta classificação de potência para turbinas *onshore* com engrenagens, 5,8 MW, e o maior rotor disponível (diâmetro de 170 m), o modelo chegará no Brasil através de um pedido de fornecimento para a concessionária global AES e a Siemens Gamesa irá adaptar a sua fábrica na Bahia para produzir o novo modelo (SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY, 2020).

A demanda anual dos aerogeradores é estimada através dos leilões de energia. A capacidade produtiva de aerogeradores no Brasil (Figura 27) quase sempre foi superior a demanda, exceto no ano de 2017, porém essa demanda foi antecipada nos anos anteriores (ABDI, 2018a).

Figura 27 - Capacidade vs. Demanda em unidades de Aerogeradores de 2014 a 2017



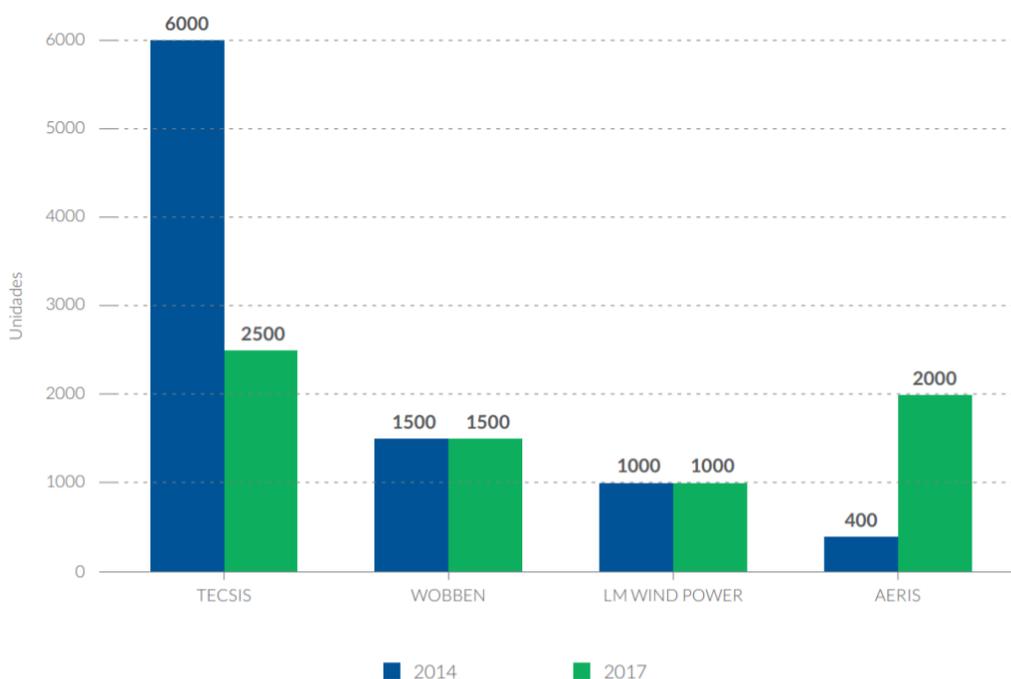
Fonte: ABDI, 2018a

5.2.3 Capacidade Produtiva de Pás Eólicas e Torres de Aço

A ABDI (2018a) afirma que em 2017 haviam quatro fabricantes de pás eólicas no Brasil: Tecsis, Wobben, LM Wind Power e Aeris. Essas empresas possuem

capacidade produtiva de 7.000 unidades de pás por ano (Figura 28). Segundo o SEBRAE (2017), as pás representam aproximadamente cerca de 22% do custo total do aerogerador.

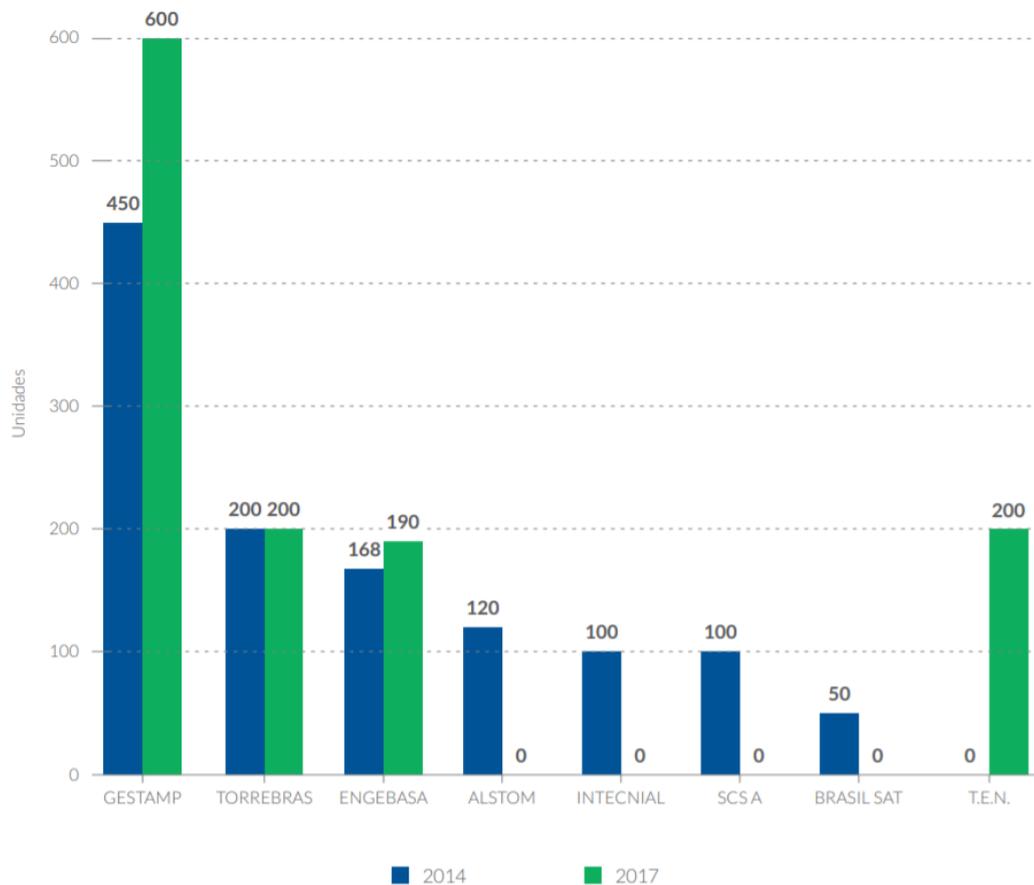
Figura 28 - Fabricantes de Pás Eólicas



Fonte: ABDI, 2018a

São 8 empresas fabricantes de torres de aço no Brasil, porém 4 delas não mantiveram um fornecimento regular no ano de 2017. A capacidade produtiva total das torres é de 1.190 por ano, contando com o fornecimento de 4 empresas: GESTAMP, TORREBRAS, ENGEBASA, TEN (Figura 29). É importante ressaltar que a única fabricante de torres de aço originalmente brasileira é a ENGEBASA (ABDI, 2018a).

Figura 29 - Fabricantes de Torres de Aço



Fonte: ABDI, 2018a

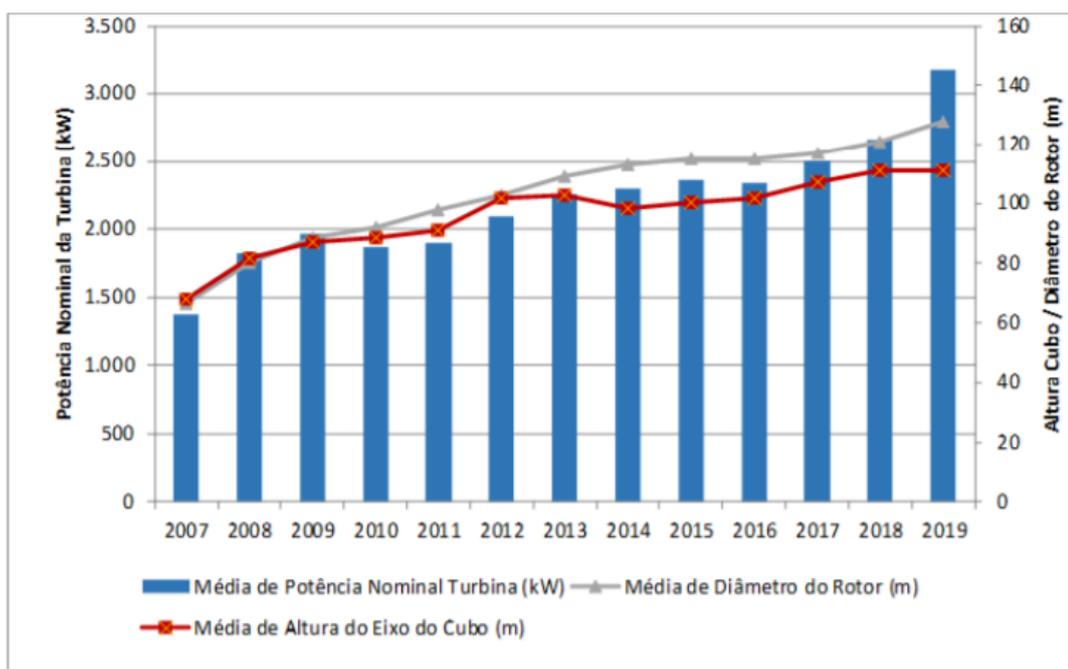
5.3 Crescimento das Turbinas Eólicas

Os custos da energia se reduzem com o crescimento do tamanho das turbinas eólicas e os avanços na tecnologia. Para isso, o diâmetro do rotor e a altura do cubo são elementos importantes para melhorar a capacidade de uma turbina. Quando o rotor aumenta, consequentemente, o fator de capacidade se eleva. Isso se dá, pois aumenta a área de captação de vento, inclusive em locais que o mesmo possui velocidade mais baixa. Assim, é possível conseguir uma capacidade maior, mesmo com menos turbinas em funcionamento nas usinas (IRENA, 2019a).

A evolução dos parâmetros de potência nominal da turbina, média do diâmetro do rotor e média da altura do eixo do cubo (distância do solo até a linha de centro do eixo da turbina) é apresentada na Figura 30, em que os três parâmetros foram crescendo

simultaneamente ao longo dos anos no Brasil. Portanto, à medida que a média do diâmetro do rotor e altura do cubo aumentaram, a potência nominal da turbina também evoluiu (EPE, 2020b).

Figura 30 - Médias de potência nominal das turbinas, diâmetro do rotor e altura do cubo no Brasil referentes aos empreendimentos habilitados nos leilões de energia



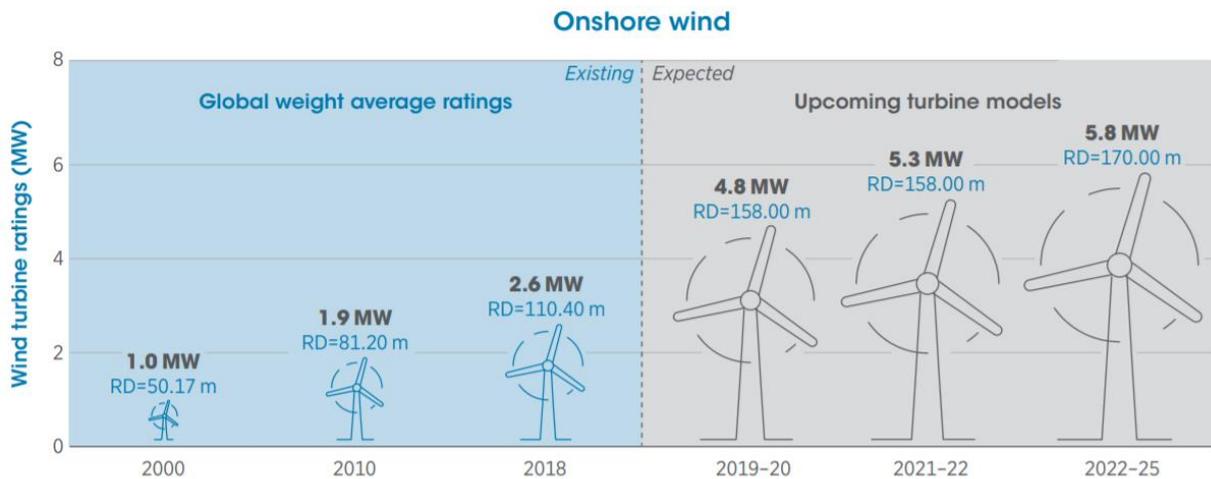
Fonte: EPE, 2020b

Segundo a EPE (2020b), no ano de 2019, 28% dos aerogeradores de projetos habilitados em leilões de energia possuem diâmetros do rotor entre 140 m e 170 m, 59% apresentam altura do cubo entre 120 m e 129 m e, em relação à potência, 43% possuem projetos com capacidade nominal entre 4 MW e 6 MW

O crescimento das turbinas eólicas *onshore* (Figura 31) no mundo é evidente ao longo dos anos. Em 2018, as turbinas apresentavam diâmetro do rotor de aproximadamente 110 m, com capacidade para 2.6 MW, no mundo. A General Electric (GE) já possui turbinas com o diâmetro do rotor de 158 m, com capacidades de 4.8 MW e 5.3 MW e podendo alcançar 240 m de altura. Já a Siemens, apresentou uma turbina maior que as existentes atualmente na indústria, com diâmetro do rotor de

aproximadamente 170 m e capacidade de 5.8 MW, previstas para 2022 (IRENA, 2019a).

Figura 31 - Crescimento das Turbinas Eólicas Onshore



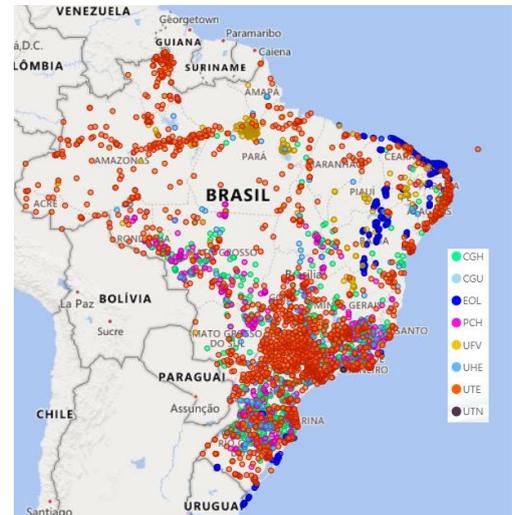
Fonte: IRENA, 2019a

5.4 Empreendimentos de Energia Elétrica

Conforme a ANEEL (2020), o Brasil possui, em Agosto de 2020, 9.854 empreendimentos de geração de energia elétrica em operação, construção e construção não iniciada na matriz elétrica brasileira, como mostrado na Figura 32. As usinas de energia eólica correspondem a 9,85% do total em número de usinas e 12,68% do número da potência outorgada total.

Figura 32 - Empreendimentos de Geração de Energia Elétrica

Tipo	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Quantidade	% (Pot. Outorgada)
CGH	822.877,67	806.150,67	739	0,40%
CGU	50,00	50,00	1	0,00%
EOL	26.365.943,86	15.827.532,86	971	12,68%
PCH	7.138.988,54	5.312.608,57	546	3,43%
UFV	15.260.105,90	2.929.373,95	4203	7,34%
UHE	103.383.328,00	103.026.876,00	223	49,70%
UTE	51.697.461,79	42.914.128,99	3168	24,85%
UTN	3.340.000,00	1.990.000,00	3	1,51%
Total	208.008.755,76	172.806.721,04	9854	100,00%

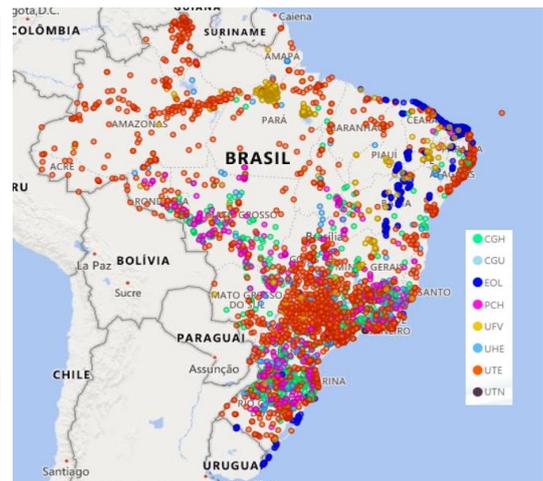


Fonte: Adaptado ANEEL, 2020

Na fase de operação (Figura 33), o Brasil possui o total de 8.972 empreendimentos de geração de energia elétrica. O número de usinas eólicas em operação é 647, correspondendo a 9,14% da potência outorgada total, sendo a terceira maior fonte da matriz elétrica em relação a potência outorgada (ANEEL, 2020).

Figura 33 - Empreendimentos em Operação

Tipo	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Quantidade	% (Pot. Outorgada)
CGH	808.665,67	806.150,67	732	0,46%
CGU	50,00	50,00	1	0,00%
EOL	15.960.603,86	15.827.532,86	647	9,14%
PCH	5.370.040,49	5.312.608,57	417	3,07%
UFV	2.941.759,95	2.929.373,95	3898	1,68%
UHE	102.999.428,00	103.026.876,00	219	58,97%
UTE	44.594.688,29	42.914.128,99	3056	25,53%
UTN	1.990.000,00	1.990.000,00	2	1,14%
Total	174.665.236,26	172.806.721,04	8972	100,00%

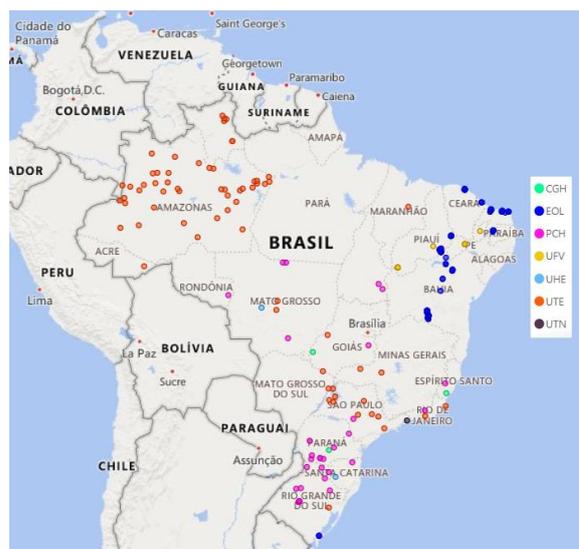


Fonte: Adaptado ANEEL, 2020

Na fase de construção (Figura 34), o Brasil possui 232 empreendimentos. Desse total, 116 são usinas de energia eólica (EOL), evidenciando que é uma fonte com grande crescimento no país em comparação as demais, já que corresponde a 50% das usinas em construção. Em relação a potência outorgada, as Usinas Termelétricas (UTE) lideram com 37,14%, seguidas das EOL com 36,91% (ANEEL, 2020).

Figura 34 - Empreendimentos em Construção

Tipo	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Quantidade	% (Pot. Outorgada)
CGH	5.512,00	0,00	3	0,06%
EOL	3.336.570,00	0,00	116	36,91%
PCH	388.606,00	0,00	30	4,30%
UFV	429.688,00	0,00	12	4,75%
UHE	171.900,00	0,00	2	1,90%
UTE	3.357.989,50	0,00	68	37,14%
UTN	1.350.000,00	0,00	1	14,93%
Total	9.040.265,50	0,00	232	100,00%

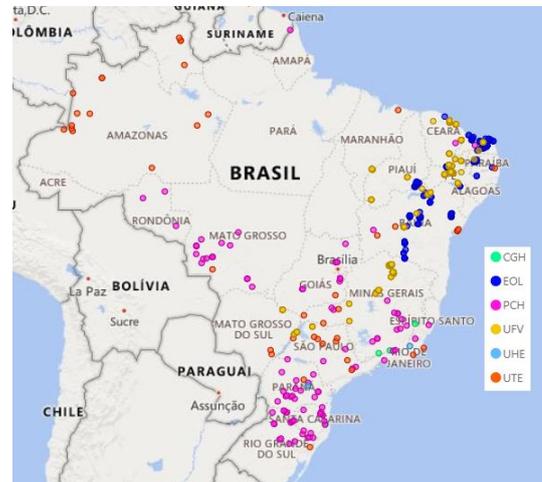


Fonte: Adaptado ANEEL, 2020

Em construção não iniciada (Figura 35), são 650 usinas, dessas, 208 são usinas eólicas, correspondendo a 32% do total. Em relação à potência outorgada, as Centrais Geradoras Solar Fotovoltaica (UFV) lideram com 48,92% do total e as EOL correspondem a 29,09% do total, sendo a segunda maior fonte (ANEEL, 2020).

Figura 35 - Empreendimentos com construção não iniciada

Tipo	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Quantidade	% (Pot. Outorgada)
CGH	8.700,00	0,00	4	0,04%
EOL	7.068.770,00	0,00	208	29,09%
PCH	1.380.342,05	0,00	99	5,68%
UFV	11.888.657,95	0,00	293	48,92%
UHE	212.000,00	0,00	2	0,87%
UTE	3.744.784,00	0,00	44	15,41%
Total	24.303.254,00	0,00	650	100,00%



Fonte: Adaptado ANEEL, 2020

Portanto, os 971 empreendimentos de energia eólica no Brasil (em operação, construção e construção não iniciada) possuem 26.366 GW de potência outorgada total. Desses empreendimentos, 647 estão em operação, com potência outorgada de 15.961 GW e fiscalizada de 15.828 GW, 116 usinas estão atualmente em construção, com 3.337 GW de potência outorgada, 208 usinas ainda não iniciaram a construção, com potência outorgada de 7.069 GW.

As 647 usinas eólicas em operação (Figura 36), estão em maioria no litoral brasileiro. O estado da Rio Grande do Norte é o que possui maior potência outorgada, seguido dos estados da Bahia, Ceará, Rio Grande do Sul, Piauí, Pernambuco, Maranhão, Santa Catarina, Paraíba, Sergipe, Rio de Janeiro, Paraná, Minas Gerais e São Paulo.

Figura 36 - Localização dos Empreendimentos de Energia Eólica em Operação

Origem	UF	Qtde	Potência Outorgada (kW)
Eólica	RN	164	4.450.786,00
Eólica	BA	172	4.225.590,64
Eólica	CE	83	2.115.940,00
Eólica	RS	81	1.835.891,98
Eólica	PI	60	1.638.100,00
Eólica	PE	35	800.365,00
Eólica	MA	16	426.022,50
Eólica	SC	16	245.499,50
Eólica	PB	15	157.200,00
Eólica	SE	1	34.500,00
Eólica	RJ	1	28.050,00
Eólica	PR	1	2.500,00
Eólica	MG	1	156,00
Eólica	SP	1	2,24
Total		647	15.960.603,86



Fonte: Adaptado ANEEL, 2020

Dos 116 empreendimentos de energia eólica em construção, 53 estão localizados na Bahia, 25 no Piauí, 19 no Rio Grande do Norte, 10 no Ceará, 6 no Paraíba e 3 no Rio Grande do Sul. Já dos 208 empreendimentos em construção não iniciada, 84 estão localizados no Rio Grande do Norte, 70 na Bahia, 23 no Piauí, 17 na Paraíba, 9 no Ceará, 5 em Pernambuco. (ANEEL, 2020).

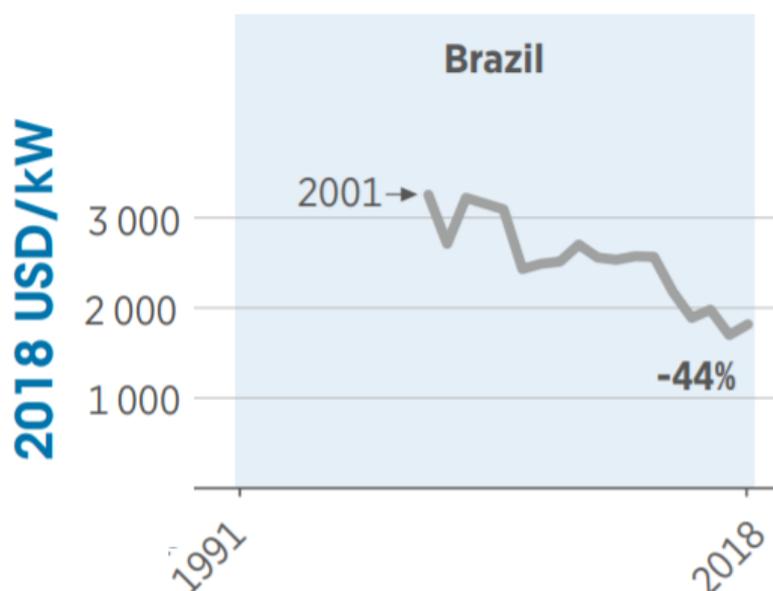
Portanto, o Brasil possui muitos empreendimentos de energia eólica, além dos que estão em fase de construção e construção não iniciada. Esses empreendimentos demandam equipamentos e itens da cadeia eólica, consequentemente mantém as fábricas desses itens em funcionamento no país. Observa-se também que o Brasil está acompanhando a tecnologia mundial dos aerogeradores, já que diversas empresas estão produzindo ou irão produzir os aerogeradores de última geração no país. Dessa forma, tornam-se relevantes maiores explicações sobre os custos e investimentos do setor de energia eólica no Brasil, apresentados no capítulo seguinte.

6 CUSTOS E INVESTIMENTOS

6.1 Reduções nos custos médios para projetos eólicos

De acordo com IRENA (2019c), o custo total instalado varia de acordo com a implantação comercial em larga escala. Observa-se uma queda de 44% desses custos no Brasil (Figura 37), entre 2001 e 2018, reduzindo o custo para aproximadamente USD 1800/KW em 2018.

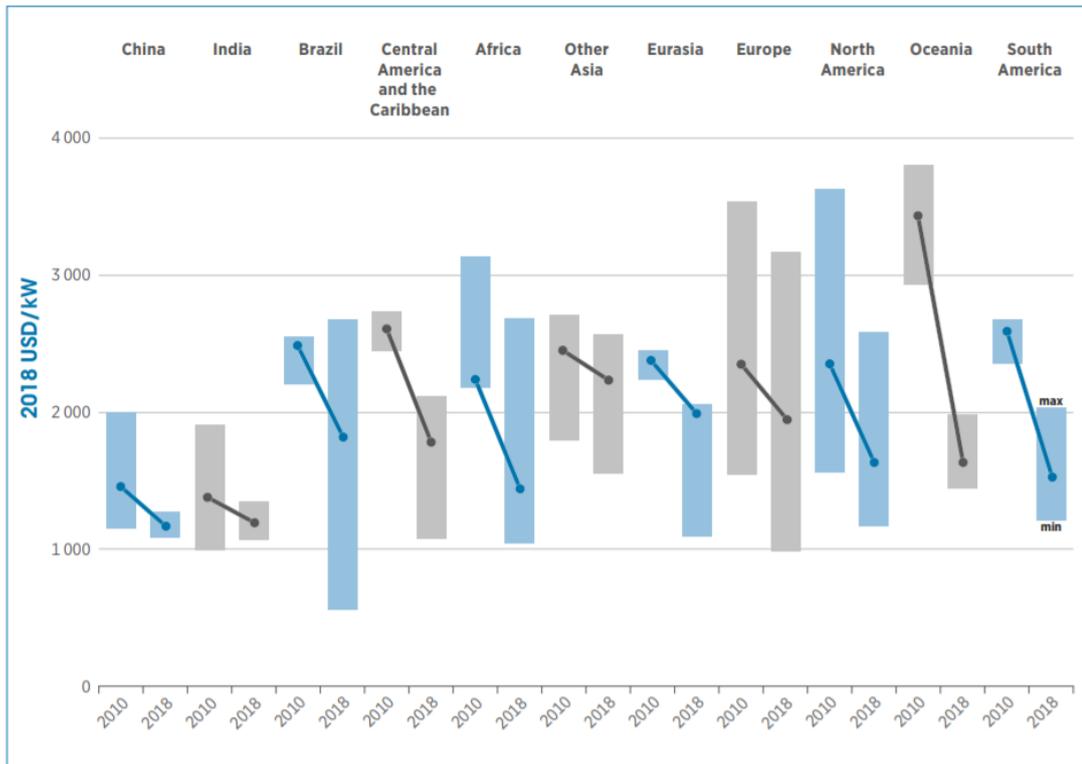
Figura 37 - Custos médios instalados em Terra no Brasil



Fonte: Adaptado IRENA, 2019c

Os preços para instalação desse tipo de usina estão decrescendo ao longo dos anos em nível mundial, mesmo que exista custos diferentes para cada país/região, como é ilustrado na Figura 38 a redução de valores por cada kW instalado em comparação nos anos de 2010 e 2018. Portanto, a inserção de usinas eólicas está mais viável economicamente e deve se tornar ainda mais forte nas próximas décadas (IRENA, 2019c).

Figura 38 - Faixas de custo total instalado e médias ponderadas para projetos eólicos *onshore* por país



Fonte: IRENA, 2019c

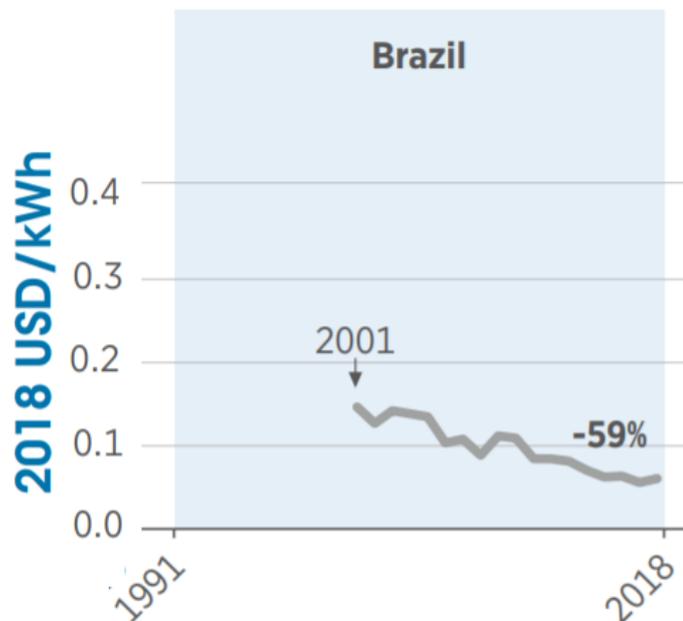
6.2 LCOE médio (Custo Nivelado de Energia) dos projetos eólicos *onshore* comissionados

O *Levelized Cost of Energy* (LCOE) representa o custo médio por unidade de produção de eletricidade. O valor do LCOE baixo para projetos de energia eólica *onshore* significa que a indústria eólica está competindo em custo com os combustíveis fósseis na maioria dos países mundo. Porém na energia de mercados, o valor do LCOE reduzido não quer dizer que a transição energética acontecerá espontaneamente ou que as energias renováveis substituirão os combustíveis fósseis dentro do prazo necessário (GWEC, 2020).

Observa-se na Figura 39 a redução de 59% do LCOE médio dos projetos eólicos no Brasil, entre os anos de 2001 a 2018. O Brasil e outros países como o Canadá,

Dinamarca, Reino Unido e Índia possuíram o LCOE médio de US\$ 0,06/KWh em 2018, de acordo com IRENA (2019c).

Figura 39 - LCOE médio dos parques eólicos onshore no Brasil



Fonte: Adaptado IRENA, 2019c

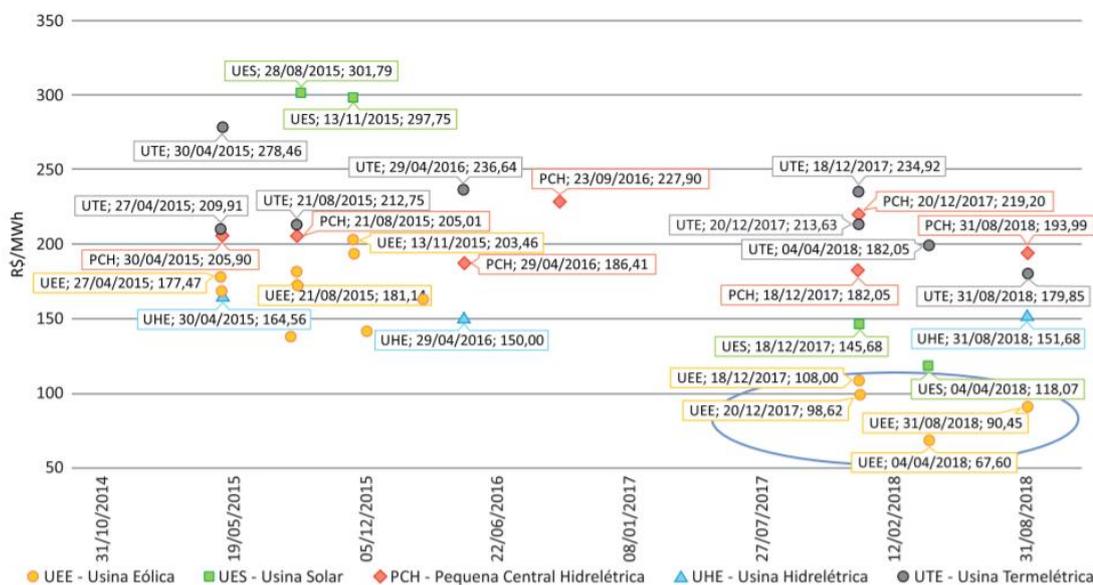
6.3 Competitividade da fonte eólica nos leilões de energia elétrica

O GWEC (2020) afirma que os leilões de energia elétrica se tornaram uma ferramenta popular para criar concorrência nos custos e maior transparência nos preços. A energia eólica foi beneficiada por uma competitividade nos leilões em todo o mundo. Conforme a CCEE (2020), a comercialização de energia elétrica no Brasil conta com dois ambientes de negociação, desde 2004, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). O primeiro com agentes de geração e distribuição de energia e o segundo com geradores, distribuidores, comercializadores, exportadores, importadores e consumidores livres e especiais.

Os preços médios por fonte de energia nos leilões realizados entre 2015 e 2018 são apresentados na figura abaixo. O valor do MWh (R\$/MWh) da energia eólica em agosto de 2015 foi de 181,14 R\$/MWh e em agosto de 2018 foi de 90,45 R\$/MWh, assim podemos observar que essa fonte está cada vez mais competitiva, pois o valor

do MWh está apresentando queda e, além disso, em 2018 foi a melhor opção. Em agosto de 2018, analisando a Figura 40, o valor do MWh das usinas eólicas (90,45 R\$/MWh) é o mais baixo em comparação com as outras fontes de energia, como das usinas hidrelétricas (151,68 R\$/MWh) e usinas termelétricas (179,85 R\$/MWh) (BEZERRA, 2019).

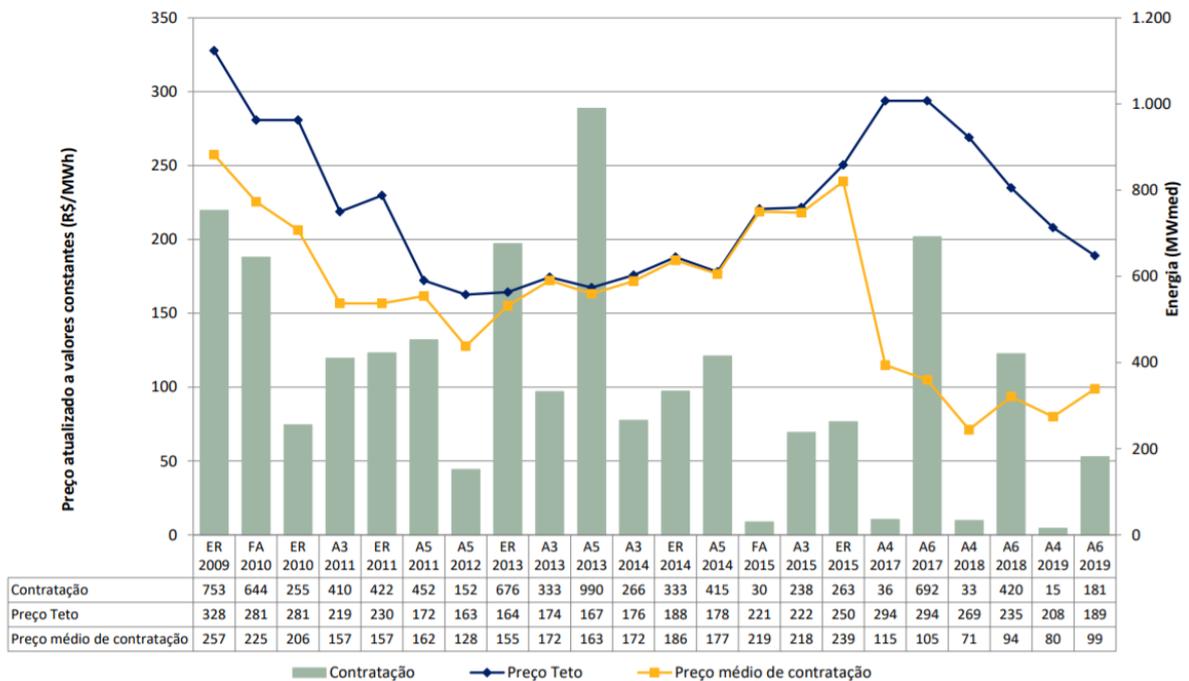
Figura 40 - Preço médio por fonte de energia obtido nos leilões da ANEEL 2015-2018 (Valores históricos em R\$/MWh)



Fonte: BEZERRA, 2019

Analisando somente o mercado de energia eólica nos leilões de energia em ambiente de contratação regulada (ACR) no Brasil, como é mostrado na Figura 41, pode-se verificar que o valor do MWh apresentou queda nos últimos anos, com valores abaixo de 100 R\$/MWh e com o preço muito abaixo do estipulado pelo teto comercial.

Figura 41 - Preço de contratação de empreendimentos eólicos nos leilões de energia do ACR e energia contratada



Fonte: EPE, 2020b

6.4 A crescente demanda dos *Power Purchase Agreements* - PPAs corporativos no Brasil

O Conselho Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS, 2019) afirma que as empresas buscam reduzir o impacto ambiental do consumo de energia elétrica e também seus custos com a gestão de energia. A compra corporativa de energia renovável é uma maneira importante de atingir esses objetivos e é uma forma de reduzir os custos, emissões de carbono na atmosfera e alcançar metas de sustentabilidade. Conforme o REN21 (2020), as corporações podem fornecer energia renovável por meio de contratos de compra de energia (PPAs), certificados de energia renovável (RECs) ou garantias de origem (GO).

O *Power Purchase Agreements* (PPA) é um contrato de energia elétrica semelhante a contratos regulares no mercado livre de energia, assinados pelo comprador e pelo desenvolvedor do projeto e, no geral, possui duração entre 8 a 20 anos. Geralmente existem duas formas de PPAs, os físicos e os virtuais. Os físicos se

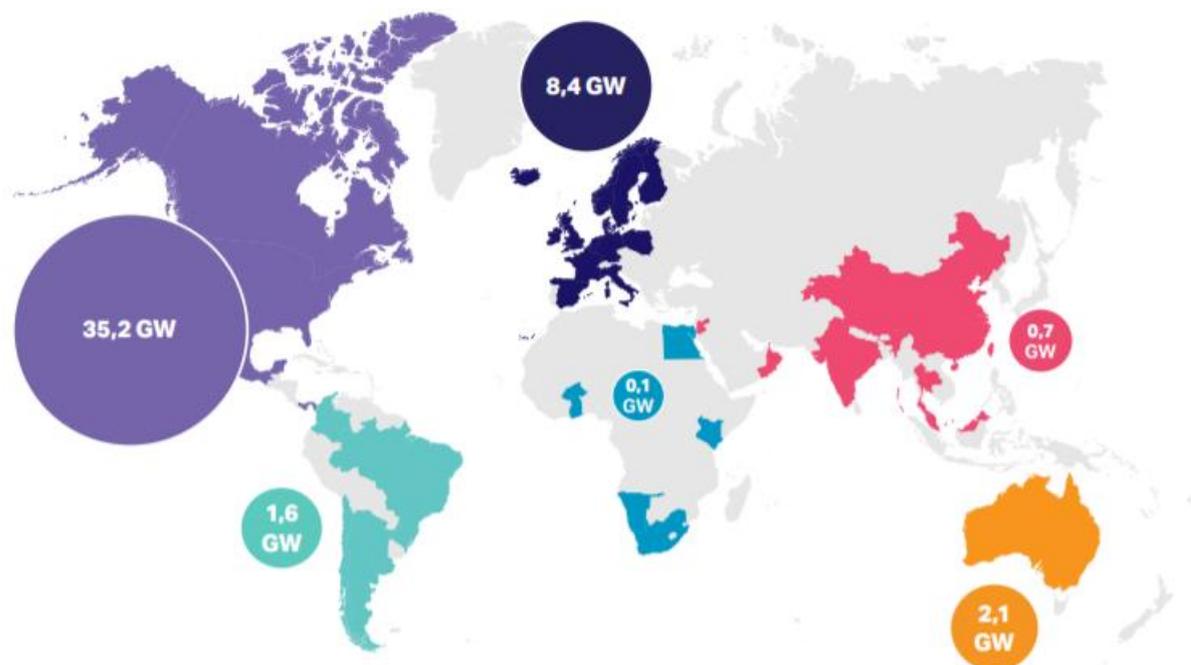
aplicam quando há entrega física da geração de energia, que é o consumo e a geração de fato. Nesse modelo o gerador corporativo contrata um PPA de outros geradores que estão no SIN e essa energia é registrada por meio do operador de mercado, a CCEE. Os PPAs virtuais são flexíveis em sua estrutura já que desenvolvedores e contratados não precisam estar conectados ao mesmo provedor de rede. Esse modelo é um instrumento financeiro em que as partes liquidam suas posições financeiras com base no preço de mercado da energia, sendo mais comum em lugares que ocorrem negociações em bolsa. No Brasil a estrutura regulatória do mercado e a estrutura física que configura o SIN favorece a criação dos PPAs físicos (Cabral, 2019; CEBDS, 2020).

No Brasil, segundo o CEBDS (2019), os grandes consumidores de energia que possuem demanda contratada igual ou superior a 500 KW, podem negociar essa energia renovável no mercado livre. De acordo com CEBDS (2020), em novembro de 2019 o país possuía capacidade de PPAs corporativos de 0.59 GW de energia renovável, assinados e registrados.

Conforme o GWEC (2020), com a fonte eólica melhorando mais a competitividade dos custos, os acordos comerciais, como os PPAs corporativos, mantem os mercados maduros como nos Estados Unidos, Brasil, México, Chile e Argentina e também ajuda no crescimento emergente de outros mercados nos próximos anos. Além disso, em 2019 o volume dos PPAs corporativos assinados no mundo aumentaram em quase 30% em comparação com 2018, atingindo 9 GW de acordos globais.

A tendência de crescimento dos PPAs corporativos no mundo, é impulsionada pelo custo decrescente das tecnologias de geração de energia limpa e por um aumento na conscientização sobre os PPAs. A capacidade atual dos PPAs corporativos no mundo em novembro de 2019 na Figura 42, mostra que a América do Sul está com 1,6 GW e o continente que possui maior capacidade é a América do Norte, com 35,2 GW (CEBDS, 2020).

Figura 42 - Volumes de PPAs corporativos de energia renovável por continente



Fonte: CEBDS, 2020

No Brasil há um aumento pela procura de energia renovável pelas empresas, como por exemplo a Braskem, que se comprometeu a comprar energia eólica por 20 anos e, conseqüentemente, irá ajudar na expansão do Complexo Folha Larga na Bahia. Outras grandes empresas também utilizam das fontes renováveis, como a Google e a Heineken. Em 2018, pelo segundo ano consecutivo, a Google funciona 100% com o uso das energias renováveis solar e eólica, e também utiliza os PPAs corporativos. A Heineken inaugurou um parque eólico no Ceará, investindo aproximadamente R\$ 40 milhões, que é capaz de produzir energia para abastecer 30% do consumo de energia das suas 15 cervejarias no Brasil (CABRAL, 2019).

Segundo o CEDBS (2020), exemplos de PPAs de energia eólica que ocorreram no Brasil em 2018 e 2019 são: um contrato de 10 anos entre as empresas BRF e Voltalia no Rio Grande do Norte com capacidade instalada de 64 MW em 2018; contrato de 15 anos entre a Ambev e Casaforte Investimentos na Bahia com mais de

80 MW de capacidade instalada em 2019; um contrato entre a Vale e Casa dos Ventos por 23 anos com 151 MW de capacidade instalada em 2019.

6.5 Investimentos

O setor eólico representa mais da metade dos investimentos recebidos em energia limpa em 2019 no Brasil. Foram investidos US\$ 3,45 bilhões no setor, o equivalente a R\$ 13,6 bilhões, representando 53% do total investido nas renováveis em 2019. Dessa forma, podemos observar como a fonte eólica está em crescimento e, além disso, possui um maior investimento que as outras fontes de energia limpa na maioria dos anos apresentados na Figura 43. Os investimentos realizados em novos projetos eólicos entre os anos de 2011 e 2018 somam cerca de US\$ 31,3 bilhões (ABEEÓLICA, 2020b). Segundo Oliveira (2019), o BNDES financiou, entre os anos de 2003 a 2018, quase 60% dos investimentos previstos no setor eólico.

Figura 43 - Investimentos Em Novos Projetos



Fonte: ABEEÓLICA, 2020b

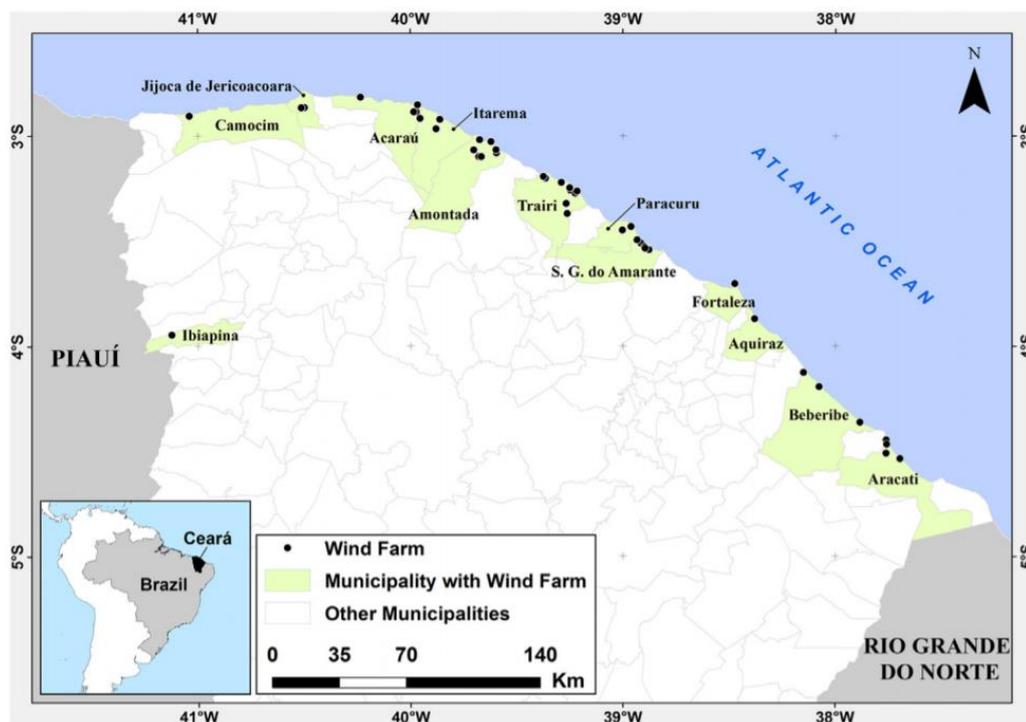
Portanto, conclui-se que os custos para construções dos parques eólicos e o custo médio de produção de eletricidade reduziram nos últimos anos, aumentando a competitividade da fonte. Nos últimos leilões de energia a fonte eólica foi a melhor opção e o valor do R\$/MWh apresentou queda. Também os investimentos no setor ao longo dos anos foi grande. Por isso, é importante analisar a sustentabilidade social e ambiental desses projetos, que será apresentado no próximo capítulo.

7 SUSTENTABILIDADE SOCIAL E AMBIENTAL DAS FAZENDAS EÓLICAS

De acordo com Gorayeb *et al.* (2018), um número significativo de parques eólicos se desenvolveu no Nordeste em resposta a subsídios governamentais, alta qualidade do vento e aumento da demanda por eletricidade. A maioria dos relatórios que tratam sobre o potencial eólico brasileiro ignoram os aspectos sociais, políticos e ambientais e descrevem a energia eólica como praticamente inofensiva. Assim, Brannstrom *et al.* (2017) afirmam que a fonte eólica pode trazer impactos ambientais que podem acarretar conflitos territoriais e erosão do solo, contradizendo o conceito de sustentabilidade da fonte, como exemplo de alguns conflitos na costa do Ceará.

O Ceará foi um dos pioneiros no desenvolvimento da energia eólica no Brasil e a maioria dos seus parques eólicos estão localizados na costa, como é possível observar na Figura 44.

Figura 44 - Fazendas eólicas no Ceará



Fonte: BRANNSTROM, *et al.*, 2016

Um exemplo de conflito em construções de parques eólicos é o resultado de um trabalho de campo que foi realizado nas usinas do Ceará, em Xavier e Aracajú, em

que foi constatado que o parque foi construído em áreas instáveis, com dunas e praias ativas e, além disso, a construção de algumas estradas de acesso ao parque eólico provocaram a morte de lagos intercomunitários e parte da vegetação foi removida. Esses fatores interromperam fluxos entre o sistema fluvial e o sistema lacustre (lagos). Como consequência dessa construção, ocorreu a destruição da água doce entre as dunas e, também, um lago que fornecia peixes para a comunidade desapareceu (BRANNSTROM et al.,2017). Além disso, segundo Gorayeb *et al.* (2018), os moradores de Xavier não tiveram acesso as informações preliminares de construção do parque, mesmo sendo obrigatório na legislação brasileira. Também, no mapa da localidade da usina no Relatório Ambiental Simplificado (RAS) em 2002, não constava que a comunidade vivia no local e o número de lagos mapeados não corresponde ao número real de lagos existentes.

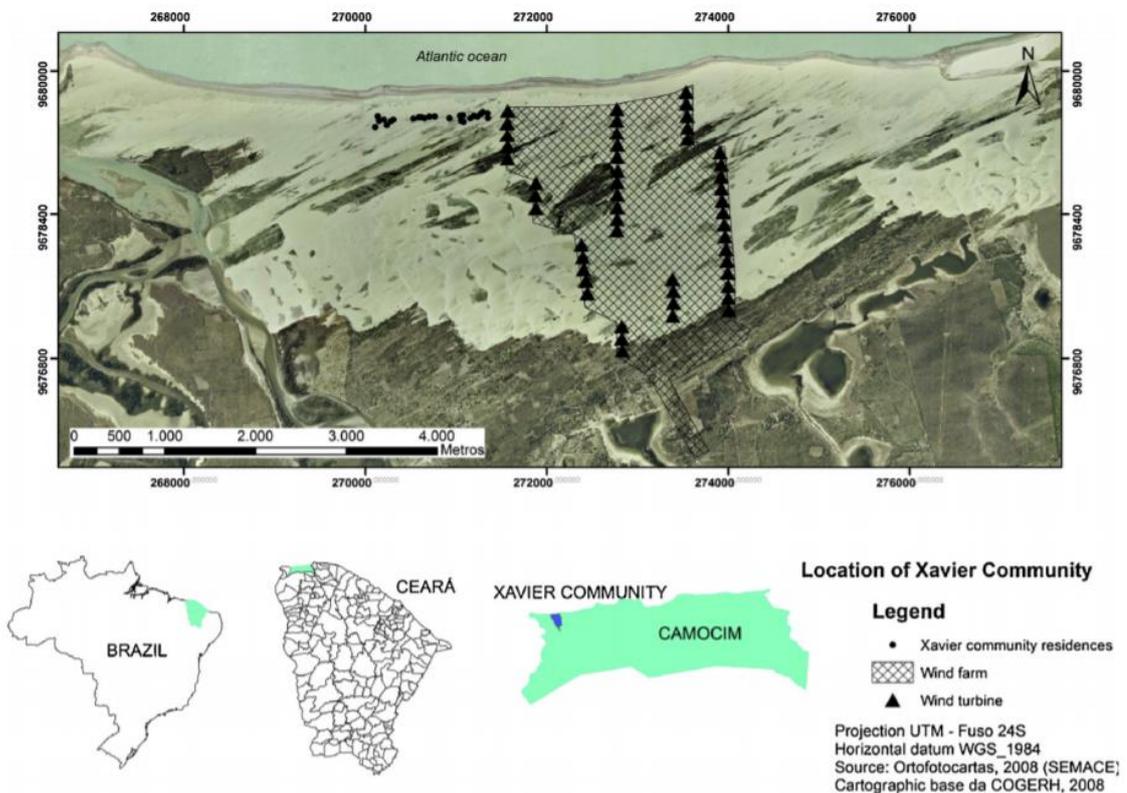
Em 2014, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) implementou um requisito de um Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), através da Resolução 462, somente para projetos eólicos que não são considerados de baixo impacto, ou seja, empreendimentos eólicos que estão localizados em dunas, mangues, planícies fluviais e de deflação, no bioma da mata atlântica que implique em corte e supressão da vegetação primária e secundária no estado avançado de regeneração, em áreas com espécies ameaçadas de extinção, em locais que possam gerar impactos socioculturais diretos que impliquem em inviabilização de comunidades ou sua completa remoção, entre outros (CONAMA, 2014). Já a elaboração do RAS é necessária para o licenciamento de projetos eólicos considerados com baixo impacto ambiental. Porém o estado do Ceará carece de informações, infraestruturas e controles burocráticos para reduzir abusos no regime do RAS, já que em 2008, por exemplo, a polícia federal apreendeu gestores ambientais por emissões de licenças fraudulentas (GORAYEB *et al.* ,2018).

Os desenvolvedores de parques eólicos resistem em construir as usinas no planalto costeiro, que é mais estável e mais adequado para os equipamentos de construção. Os planaltos têm alto potencial eólico, mas geralmente as empresas preferem as planícies costeiras porque possuem menores custos, já que as terras

geralmente costumam ser sem títulos e usadas comunitariamente pela população tradicional que tem pouco acesso ao poder político. (BRANNSTROM et al.,2017).

A Figura 45 mostra que a construção de um parque eólico foi muito próxima à comunidade de Xavier, que possui 66 residentes. Alguns impactos negativos foram analisados no empreendimento, como a criação de barreiras que dificultaram o acesso dos moradores de Xavier à escola, coleta de lixo, saneamento básico, acesso a serviços de saúde, conflitos com pessoas que dependem de frutos do mar, alteração das marés e dificuldade de pesca em lagos antigos. Além disso, os parques eólicos negaram acesso às áreas de mangues para atividades de subsistência. O impacto positivo observado na região foi o fornecimento de apoio financeiro pelo parque eólico para que a comunidade de Xavier substituísse as casas de madeiras e palha por construção de casas de tijolos (BRANNSTROM et al., 2017). Como política de mitigação, o Ministério Público forçou três concessões ao parque eólico: direito de passagem pelo parque para que os veículos transportassem crianças para a escola, programas curtos para mulheres e crianças e permitir a passagem de uma linha de eletricidade para chegar a comunidade de Xavier, já que não possuíam eletricidade mesmo depois que a usina foi construída (GORAYEB *et al.* ,2018).

Figura 45 - Fazendas eólicas no Ceará



Fonte: GORAYEB, et al., 2017

Esses conflitos ocorrem quando o modelo de vida de uma comunidade é ameaçado por impactos negativos, como citado acima, causados por alguma atividade e, mesmo que sejam exigidos relatórios de impactos ambientais, essas usinas provocam impactos em relação ao solo, geração de resíduos, poluição sonora e poluição visual. Os conflitos podem ocorrer nos períodos de construção e de operação e, além de confrontos em relação ao território da região, também ocorrem aumento dos índices de prostituição e do uso de drogas (OLIVEIRA; FERREIRA, 2019).

A imposição desse tipo de energia pode gerar esses conflitos porque é priorizado a qualidade do vento e questões de eficiência acima das considerações sociais, como o apego humano ao lugar, mudança na paisagem e interrupção de alguns meios de

subsistência e, também, as turbinas podem atrair turistas, mas simultaneamente podem interferir na paisagem costeira (BRANNSTROM, et al, 2017).

A ABEEÓLICA (2020) afirma que a inserção da fonte eólica em uma região tem um impacto positivo nas comunidades. Além da capacitação de mão de obra local, gerar renda para os proprietários de terras e permitir que eles continuem com plantações ou criação de animais, são realizados projetos sociais como inclusão digital, projetos de promoção de saúde, fomento ao turismo, projetos educacionais, entre outros, com um percentual do investimento.

É importante que o governo analise os conflitos existentes entre as comunidades e os parques eólicos, para que evitem ocorrer os exemplos citados acima na implantação dos parques e as comunidades vizinhas sejam beneficiadas com a chegada das usinas, havendo um benefício mútuo. Deve haver fiscalização em todas as etapas de implantação de uma usina, desde a elaboração do relatório ambiental até a fase de operação, principalmente se há alguma comunidade inserida no local para que não aconteça como ocorreu em Xavier.

8 CONCLUSÃO

A busca por energias renováveis é crescente no cenário mundial para a construção de um mundo mais sustentável e com menos emissões de poluentes. A oferta de combustíveis fósseis ainda é predominante no mundo, porém as renováveis estão aumentando sua participação na matriz energética mundial promovendo a geração de empregos. O Brasil é o terceiro maior gerador de empregos em indústrias de fontes renováveis, após a China e a União Europeia. A fonte eólica é destaque no cenário mundial, com produção bruta de eletricidade de 4,8% em 2018, havendo um aumento da geração de energia em relação ao ano de 2010, que gerou apenas 1,6%. Também ocorreu o aumento de capacidade instalada no mundo da fonte eólica, sendo liderado pela Ásia. A previsão para as próximas décadas é de que todos os continentes aumentem consideravelmente essa capacidade instalada, dessa forma a América Latina e Caribe terão 182 GW instalados em 2050, sendo que já possuíam 25 GW em 2018.

No cenário do Brasil, a fonte eólica também está em uma acelerada expansão. O potencial estimado do país, com as tecnologias existentes hoje de aerogeradores (torres de 150 m e potência de 2 MW / 3 MW), é de 500 GW. Com a evolução do tamanho e das tecnologias dos aerogeradores, o potencial irá aumentar. É importante ressaltar que esse potencial é apenas da energia eólica *onshore*. O Brasil possui potencial *offshore*, porém ainda não existem usinas nessa modalidade.

A energia eólica apresentou crescimento desde 2009, depois dos primeiros leilões de energia. Entre os anos de 2014 e 2019 houve uma grande expansão da fonte no país, com crescimento médio anual de 29%. Em 2020, a geração eólica já supera a geração nuclear e a biomassa e possui o total de capacidade instalada de 16.452 MW. Essa fonte é importante na matriz brasileira porque complementa as usinas hidrelétricas em períodos de estiagem.

Em 2019, a energia eólica já representava 9,1% da matriz elétrica brasileira de capacidade instalada, sendo a segunda principal, e representava 8,6% da matriz elétrica brasileira de geração de energia, ocupando o terceiro lugar e a segunda principal fonte renovável. O subsistema que mais contribui para a geração eólica é o

Nordeste, com 86,7% em 2019, além de ser o que mais possui capacidade instalada com aproximadamente 83% em 2020. No ano de 2019, o Brasil ocupou o sétimo lugar no *ranking* mundial de capacidade instalada acumulada *onshore*. Para os próximos anos, de acordo com MME e EPE (2019), está prevista uma grande adição de capacidade instalada da fonte eólica para a geração centralizada, totalizando 39,5 GW em 2029, sendo a segunda principal fonte de energia elétrica nacional. Em relação à Geração Distribuída, a energia fotovoltaica lidera o cenário em 2019 e continuará sendo a líder em 2029, porém também há previsão de aumento para a geração distribuída da fonte eólica, que representará 2% da geração de energia e 1% da capacidade instalada em 2029.

Além de contribuir com a matriz elétrica, a instalação de parques eólicos contribui com o desenvolvimento nacional da indústria, pois é necessário que parte dos componentes sejam de fabricação nacional. O setor, em 2017, possuía o total de 224 empresas fabricantes de componentes eólicos no Brasil. Portanto, a cada parque instalado, são gerados mais empregos nas etapas de licenciamento, construção e operação das usinas e na cadeia de abastecimento dos componentes necessários para a construção dos parques. Atualmente existem mais de 40 carreiras possíveis dentro do mercado de empregos da eólica. Em relação ao gênero, as mulheres representam apenas 21% da força de trabalho do setor eólico no mundo e 19% na América Latina e Caribe.

Em relação aos aerogeradores, a indústria eólica brasileira acompanha a tecnologia mundial no crescimento das turbinas e da potência, em parte, já que existem fábricas no país se adequando para produzir aerogeradores de última geração que foram lançados recentemente no mundo e a única fabricante brasileira já anunciou um novo modelo com características semelhantes em 2019. Sobre os empreendimentos de energia elétrica, 971 são da fonte eólica, sendo que 647 estão em operação atualmente, portanto mostra que a fonte está realmente em expansão, com 324 usinas nas fases de construção e construção não iniciada.

Com a grande competitividade da fonte eólica nos leilões de energia, as perspectivas de crescimento são grandes, principalmente porque em 2018 a fonte foi

a melhor opção nos leilões realizados. Os custos para projetos eólicos e o custo nivelado da energia reduziram-se ao longo dos anos no Brasil, conforme IRENA (2019c), sendo o custo médio para os projetos eólicos de USD 1800/KW e o LCOE médio de US\$ 0,06/KWh em 2018. Com a inserção de novos modelos de mercados, como os *Power Purchase Agreements* (PPAs), é possível esperar que mais empresas preocupadas em manter uma produção sustentável busquem pela energia eólica para a compra corporativa de energia renovável, já que somente entre 2018 e 2019 esse tipo de contrato aumentou 30% no mundo. Além disso, segundo a ABEEÓLICA (2020b), o setor eólico possui maior investimento que as outras fontes renováveis, já que em 2019 representou mais da metade dos investimentos recebidos para essas fontes.

Mesmo sendo uma fonte que não emite poluentes na geração de energia, é necessário avaliar os impactos ambientais e sociais nas etapas de licenciamento, construção e operação de um parque eólico, além de maior fiscalização. As usinas podem provocar conflitos e impactos negativos como o que aconteceu com a comunidade de Xavier no Ceará, em que ocorreu a construção da usina em áreas instáveis, morte de lagos intercomunitários, remoção da vegetação, desaparecimento de um lago que fornecia peixes para a comunidade, falta de informação por parte da construção da usina à comunidade local e erros no relatório ambiental. Dessa forma, é necessário que a instalação de uma usina traga mais benefícios que pontos desfavoráveis para a região e a comunidade onde está inserida, por isso é necessária maior fiscalização.

A previsão para o setor eólico no Brasil é de gerar aproximadamente 367.500 novos empregos diretos e indiretos entre 2019 e 2029, já que a ABEEÓLICA (2019) estima que para cada MW instalado são gerados 15 postos de trabalho e a previsão do MME e EPE (2019) é de um aumento de 24,5 GW em capacidade instalada até 2029.

Conclui-se que a análise do cenário do desenvolvimento e expansão da indústria de energia eólica no Brasil é promissora, dado o exposto. Portanto, é proposto que mais pesquisas sejam realizadas com foco no setor, com a finalidade de aumentar os

investimentos para permitir que a energia eólica seja ainda mais relevante na geração de energia nacional. Inclusive estudos para aumentar o desenvolvimento nacional dos produtos para o setor eólico, como a produção dos aerogeradores, já que somente uma das seis empresas fabricantes de aerogeradores no país é de origem brasileira. Para o Brasil, é interessante mais estudos aprofundados para construção de usinas eólicas *offshore*, já que também existe grande potencial ainda não precisamente identificado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL [ABDI]. **Atualização do Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil**. Brasília, agosto 2018a. Disponível em: http://inteligencia.abdi.com.br/wp-content/uploads/2017/08/2018-08-07_ABDI_relatorio_6-1_atualizacao-do-mapeamento-da-cadeia-produtiva-da-industria-eolica-no-brasil-WEB.pdf. Acesso em: 11 out. 2019.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL [ABDI]. **Mapa de Carreiras**. Brasília, 2018b. Disponível em: <http://sitesinteligencia.abdi.com.br/sites/carreiras-eolica/>. Acesso em: 12 nov. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL]. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482**, Brasília, 17 abr. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL]. Resolução Normativa. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687**, Brasília, 24 nov. 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL]. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas**. Brasília, 2017a. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/proinfa>. Acesso em: 15 set. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL]. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 786**, Brasília, 17 out. 2017b. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017786.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL]. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL - SIGA: Capacidade de Geração do Brasil**. 4 ago. 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em: 4 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA [ABEEÓLICA]. **Eólica: energia para um futuro inovador**. São Paulo, 20 maio 2020a. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/energia-eolica-o-setor/>. Acesso em: 8 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA [ABEEÓLICA]. **Boletim Anual de Geração Eólica**: 2019. São Paulo, junho 2020b. Disponível em: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/06/Boltim-Anual-de-Gera%C3%A7%C3%A3o-E%C3%B3lica-2019_V7.pdf. Acesso em: 8 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA [ABEEÓLICA]. **BOLETIM ANUAL DE GERAÇÃO EÓLICA**: 2017. São Paulo, 2018. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/04/Boletim-Anual-de-Geracao-2017.pdf>. Acesso em: 10 set. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA [ABEEÓLICA]. **ENERGIA EÓLICA**: Os bons ventos do Brasil. Infovento 16. ed. São Paulo, 15 jun. 2020c. Disponível em: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/06/InfoventoPT_16.pdf. Acesso em: 4 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA [ABEEÓLICA]. **ENERGIA EÓLICA**: Os bons ventos do Brasil. Infovento 14. ed. São Paulo, 13 dez. 2019. Disponível em: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/02/Infovento-14_PT.pdf. Acesso em: 5 fev. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA [ABEEÓLICA]. **Relatório Anual 2014**: Crescimento Sustentável da Fonte Eólica. São Paulo, 2015. Disponível em: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2016/08/ABEeolica_RA2014.pdf. Acesso em: 4 ago. 2020.

ARAÚJO, Bruno Platteck de; WILLCOX, Luiz Daniel. REFLEXÕES CRÍTICAS SOBRE A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA DE POLÍTICA INDUSTRIAL NO SETOR EÓLICO. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 47, p. 163-220, março 2018. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15360>. Acesso em: 11 nov. 2019.

BEZERRA, Francisco Diniz. ENERGIA EÓLICA NO NORDESTE. **Caderno Setorial ETENE**, Fortaleza, ano 4, n. 66, fevereiro 2019. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/documents/80223/4804489/66_2019_Eolica.pdf/5091550b-0dbb-9613-8502-c1ef650ad074. Acesso em: 11 nov. 2019.

BRANNSTROM, Christian et al. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Fortaleza, v. 67, p.62-71, janeiro, 2017. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.047>. Acesso em: 3 out. 2019.

CABRAL, Kempson. **Empresas apostam em compra de energias renováveis**. Rio de Janeiro, 25 jul. 2019. Disponível em: <https://cebds.org/empresas-apostam-em-compra-de-energias-renovaveis/#.Xj24TjFKhPa>. Acesso em: 17 nov. 2019.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA [CCEE]. **Informações sobre o mercado brasileiro de comercialização de energia elétrica**. São Paulo, 2020. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_adf.ctrl-state=12r2i7qq1q_51&_afLoop=215109884766028#!. Acesso em: 8 ago. 2020.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO [CRESESB]. **Tutorial de Energia Eólica**. Rio de Janeiro, 11 jun. 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=3. Acesso em: 8 ago. 2020.

CHIPP, Hermes. Um desafio trazido pelos ventos. **FGV Energia**: Caderno Opinião, Rio de Janeiro, novembro 2016. Disponível em: <https://cebds.org/empresas-apostam-em-compra-de-energias-renovaveis/#.Xj24TjFKhPa>. Acesso em: 17 nov. 2019.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE [CONAMA]. **Resolução CONAMA Nº 462/2014**. Brasília, 24 jul. 2014. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=703>. Acesso em: 13 set. 2020.

CONSELHO EMPRESARIAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL [CEBDS]. **Por que a Compra Corporativa de Energia Renovável é um bom negócio?**: Guia Executivo sobre Power Purchase Agreements (PPAs) como solução no Brasil. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/14773/1557314536PPAs_site2.pdf. Acesso em: 14 nov. 2019.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL [CEBDS]. **Guia para Power Purchase Agreements (PPA) corporativos de energia renovável**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://cebds.org/publicacoes/guia-para-power-purchase-agreements-ppa-corporativos-de-energia-renovavel/>. Acesso em: 8 set. 2020.

ECHOENERGIA. **Complexo Eólico Echo 3**: Rio Grande do Norte. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.echoenergia.com.br/nossos-ativos/complexo-eolico-echo-3/>. Acesso em: 9 set. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA [EPE]. **Balanco Energético Nacional 2020**: Relatório Síntese / Ano base 2019. Rio de Janeiro, maio 2020a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em: 5 ago. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA [EPE]. **Projetos eólicos nos leilões de energia**: Evolução dos projetos cadastrados e suas características técnicas. Atualização Leilões 2018-2019. Rio de Janeiro, 6 mar. 2020b. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-468/NT_EPE-DEE-NT-017-2020-r0.pdf. Acesso em: 4 ago. 2020.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL [GWEC] (Bélgica). **Global Wind Report 2019**. 15^o. ed. Bélgica, 25 mar. 2020. Disponível em: <https://gwec.net/global-wind-report-2019/>. Acesso em: 7 ago. 2020

GORAYEB, Adryane *et al.* Wind power gone bad: Critiquing wind power planning processes in northeastern Brazil. **Energy Research & Social Science [ELSEVIER]**, Fortaleza, v. 40, p. 82-88, junho 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629617304425?via%3Di> hub. Acesso em: 3 out. 2019.

GOUVÊA, Renato Luiz Proença de; SILVA, Paulo Azzi da. Desenvolvimento do setor eólico no Brasil. **R. BNDES**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 49, p. 81-118, junho 2018. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/16081/1/PRArt_Desenvolvimento%20do%20setor%20e%C3%B3lico%20no%20Brasil_compl.pdf. Acesso em: 10 ago. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA [INEE]. **O que é Geração Distribuída**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp?Cat=gd. Acesso em: 6 ago. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY [IEA]. **Electricity Information**: Overview. Paris, julho 2020a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/electricity-information-overview>. Acesso em: 9 ago. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY [IEA]. **Dados e Estatísticas**: Geração de Eletricidade por fonte. Paris, 2020b. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=ElecGenByFuel>. Acesso em: 3 out. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY [IEA]. **Atualização do mercado de energia renovável**: Relatório de Combustível - Perspectivas para 2020 e 2021. Paris, maio 2020c. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update/2020-and-2021-forecast-overview#abstract>. Acesso em: 9 ago. 2020

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY [IRENA]. **Future of wind**: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. Emirados Árabes Unidos, outubro 2019a. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2019/Oct/Future-of-wind>. Acesso em: 12 nov. 2019

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY [IRENA]. **Renewable Energy and Jobs**: Annual Review 2019. 6^a. ed. Emirados Árabes Unidos, junho 2019b. Disponível em: https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jun/IRENA_RE_Jobs_2019-report.pdf. Acesso em: 9 ago. 2020.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY [IRENA]. **RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2018**. Emirados Árabes Unidos, 2019c. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf. Acesso em: 27 nov. 2019.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY [IRENA]. **WIND ENERGY: A GENDER PERSPECTIVE**. Emirados Árabes Unidos, janeiro 2020. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2020/Jan/Wind-energy-A-gender-perspective>. Acesso em: 9 ago. 2020.

LAGE, Elisa Salomão; PROCESSI, Lucas Duarte. Panorama do setor de energia eólica. **REVISTA DO BNDES**, Rio de Janeiro, n. 39, p. 183-205, junho 2013. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2926>. Acesso em: 8 ago. 2020.

MELO, Elbia. Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 125-142, 2013. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142013000100010>. Acesso em: 07 ago. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA [MME]; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA [EPE]. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>. Acesso em: 28 nov. 2019.

OLIVEIRA, Herbert Emmanuel Lima de; FERREIRA, José Gomes. Energia eólica: Entre o dilema do desenvolvimento regional e o conflito socioambiental. In: ENANPUR, 18., 2019, Natal. **Anais XVIII ENANPUR 2019**. Natal: Anpur, 2019. p. 1 - 18. Disponível em: <http://anpur.org.br/xviiienganpur/anaisadmin/capapdf.php?reqid=1709>. Acesso em: 13 nov. 2019.

OLIVEIRA, Carlos Eduardo Cruz Lopes de. **Avaliação Do Impacto Da Alteração Das Condições De Financiamento Sobre A Energia Eólica No Brasil: Evolução E Perspectivas**. Orientador: André Frossard Pereira de Lucena. 2019. 180 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Carlos_Eduard_o_Cruz_Lopes_de_Oliveira-_MESTRADO_2019.pdf. Acesso em: 10 ago. 2020.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO [ONS]. **O Sistema Interligado Nacional**. Rio de Janeiro, 2020a. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 08 ago. 2020.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO [ONS]. **Boletim Mensal de Geração Eólica**: julho / 2014. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim_Eolica_jul-2014.pdf. Acesso em: 10 set. 2020.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO [ONS]. **Boletim Mensal de Geração Eólica**: julho/2020. Rio de Janeiro, 2020b. Disponível em: http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim_Geracao_%20Eolica_2020-07.pdf. Acesso em: 10 set. 2020.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO [ONS]. **HISTÓRICO DA OPERAÇÃO**: GERAÇÃO DE ENERGIA. Rio de Janeiro, 2020c. Disponível em: http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx. Acesso em: 4 ago. 2020.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO [ONS]. **BOLETINS DA OPERAÇÃO**: DADOS DA GERAÇÃO EÓLICA. Rio de Janeiro, 2020d. Disponível em: <http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/boletim-geracao-eolica.aspx>. Acesso em: 4 ago. 2020.

REN21 (França). **RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT**. França, junho 2020. Disponível em: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>. Acesso em: 9 ago. 2020.

ROTTA, Fernando. **Ventos que trazem empregos**: Energia eólica deve gerar mais de 200 mil empregos no Brasil até 2026. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/postagem/ventos-que-trazem-empregos>. Acesso em: 10 set. 2020.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS [SEBRAE]. **Cadeia de Valor da Energia Eólica no Brasil**. Brasília, 2017. Disponível em: [https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/1188c835f8e432ddd43bc39d27853478/\\$File/9960.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/1188c835f8e432ddd43bc39d27853478/$File/9960.pdf). Acesso em: 13 nov. 2019.

SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY. **Global reach of new Siemens Gamesa onshore platform on display following first order in Brazil**. Spain, 1 abr. 2020. Disponível em: <https://www.siemensgamesa.com/newsroom/2020/03/010420-siemens-gamesa-tucano-brazil>. Acesso em: 9 set. 2020.

SIMAS, Moana; PACCA, Sergio. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 99-115, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142013000100008>. Acesso em: 10 set. 2020.

TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK [DTU] (Dinamarca). **Global Wind Atlas Mean Wind Speed Map Brazil**. 5 ago. 2020. Disponível em: <https://globalwindatlas.info/en/area/Brazil?print=true>. Acesso em: 5 ago. 2020.

U.S DEPARTMENT OF ENERGY [DOE]. Office of ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY. **How Do Wind Turbines Work?**. Estados Unidos, 2020. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>. Acesso em: 8 ago. 2020.

VESTAS WIND SYSTEMS A/S. **Vestas receives 76 MW order for the final phase of the Serra do Mel project in Brazil**. Madrid, 28 jun. 2019. Disponível em: <https://www.vestas.com/en/media/company-news?y=2019&l=82&n=3481381#!NewsView>. Acesso em: 9 set. 2020.

WEG S.A. **Aerogeradores: AGW 110 / 2.1 e AGW 110 / 2.2**. Santa Catarina, 2019a. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%2C-Transmiss%C3%A3o-e-Distribui%C3%A7%C3%A3o/Aerogeradores/Aerogeradores--AGW110-2-1-e-AGW110-2-2/p/MKT_WEN_WIND_AGW110. Acesso em: 9 set. 2020.

WEG S.A. **WEG apresenta lançamento no maior evento de energia eólica da América Latina**. Santa Catarina, 2019b. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/feiras-e-eventos/weg-apresenta-lancamento-no-maior-evento-de-energia-eolica-da-america-latina>. Acesso em: 9 set. 2020.

ZAPAROLLI, Domingos. Ventos promissores a caminho. **Revista Pesquisa FAPESP**, São Paulo, ed. 275, 2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/ventos-promissores-a-caminho/>. Acesso em: 8 set. 2020.