

ENERGIA EÓLICA: PANORAMA ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS

BARRA, Matheus Martins¹
Centro Universitário Academia – Uniacademia
TEIXEIRA, Wesley Carminat²
Centro Universitário Academia – Uniacademia

Linha de pesquisa: Eficiência Energética

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal a revisão bibliográfica da energia eólica. É trazido um histórico de utilização dessa fonte, desde o seu uso antes da existência da energia elétrica até os dias de hoje, seguido por um panorama mundial em que é destacado as matrizes energéticas dos 4 maiores produtores de energia eólica do mundo (China, Estados Unidos, Alemanha e Reino Unido), bem como suas políticas de sustentabilidade e planos para o futuro da geração de energia. Logo após, é descrito quais são as partes constituintes do aerogerador, características do vento e como a geração de energia elétrica por meio dessa fonte acontece na prática. É apresentado também, o crescimento da capacidade de geração projetada no mundo com um panorama até 2025 e, por fim, uma visão da utilização dessa fonte de energia renovável focada no Brasil com a apresentação do mapa do potencial eólico nacional. Além disso, serão expostos dados sobre a participação dessa modalidade na produção de energia elétrica no país, com destaque para a região com maior geração atualmente.

Palavras-chave: Eficiência energética. Energia eólica. Energia renovável. Fontes alternativas. Parques eólicos.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia - UniAcademia

² Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - UniAcademia.

1 INTRODUÇÃO

Esse trabalho trata do tema: geração de energia eólica e sua utilização no Brasil e no mundo, além de suas perspectivas de futuro. Será abordado de onde veio a ideia de utilizar o vento como força motriz para a geração, quais são os países que mais geram energia eólica, as características da matriz energética desses países, projeções futuras acerca da energia eólica no mundo e por fim, um enfoque maior no histórico, presente e futuro potencial eólico do Brasil.

1.1 MOTIVAÇÃO

Desde que o assunto “energias renováveis” se popularizou, ele torna-se cada dia mais forte e relevante. O mundo atual sofre com os efeitos de décadas de desmatamento e gigantescas emissões de gases poluentes na atmosfera que estão matando lentamente a biodiversidade do planeta. Boa parte dessa ação devastadora foi realizada para se gerar energia. Seja para residências ou para a produção das indústrias, gerar energia elétrica é essencial para que o mundo continue funcionando. Felizmente, ainda em tempo, medidas estão sendo tomadas para que as chamadas fontes de energia renovável sejam mais utilizadas a fim de reduzir os impactos ambientais da geração de energia elétrica.

Entretanto, quando se fala em fontes renováveis no Brasil, a conversa, por vezes, fica intrinsecamente ligada à energia solar. A popularização dos painéis solares possibilitou que pessoas comuns pudessem gerar energia em suas próprias residências/terrenos e, em alguns casos, receber créditos junto a concessionária de energia local por injetar o excedente gerado na rede elétrica. Isso certamente fez com que os holofotes fossem focados na energia solar. Todavia, uma outra fonte de energia, igualmente renovável e que em alguns casos é até mais bem aproveitada do que a energia solar, parece ter sido ignorada. A energia eólica é necessária e importante para a matriz energética de qualquer país, seja para atender a demanda industrial, como para a demanda residencial. A concorrência entre fabricantes de painéis solares e fabricantes de turbinas eólicas deve existir em todas as escalas, mesmo na escala residencial de baixíssima potência, até a escala dos grandes parques de geração de energia.

Em poucas palavras, a razão principal desse trabalho é demonstrar as principais características da energia eólica, disseminar o conhecimento sobre essa fonte e servir como base de informações para outros estudos e trabalhos.

Além disso, por sua estrutura (apresentada a seguir) e conteúdo, esse trabalho se caracteriza como uma revisão bibliográfica.

1.2 ESTRUTURA DO ARTIGO

Na primeira seção é apresentada a introdução, motivação e a estrutura do trabalho.

Na segunda seção é apresentado um breve histórico da energia eólica, desde as primeiras vezes em que ela foi usada, até como é usada hoje nos aerogeradores.

Na terceira seção é dada uma visão geral sobre a energia eólica no mundo. Primeiro é mostrado o histórico da utilização e crescimento da energia eólica nos últimos anos, seguido por um detalhamento dos maiores produtores do mundo. Nesse sentido, são apresentados dados dos top 4 países em produção de energia eólica no mundo: China, EUA, Alemanha e Reino Unido, apresentando suas matrizes energéticas, utilização da energia eólica e perspectivas de futuro de cada país no que diz respeito a essa fonte.

Na quarta seção é dada uma visão mais técnica de como acontece o processo de transformação da energia cinética do vento em energia elétrica. É mostrado o aerogerador e as partes que o compõem.

A quinta seção trata do crescimento projetado para a energia no mundo. São apresentadas estimativas de novas instalações para os próximos segmentadas por tipo de parque e por região do planeta.

Na sexta seção discorre sobre o cenário da energia eólica no Brasil. Após conhecer desde o histórico de utilização dessa fonte, como ela está posicionada no mundo e nos países em que ela é mais influente, como a energia eólica é gerada de fato e as projeções para o futuro, é possível ter uma visão mais apurada do cenário atual do Brasil. E é isso de que se trata essa seção.

Na sétima seção o trabalho é concluído e por fim, na seção 8, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas como base para a elaboração desse trabalho.

2 HISTÓRICO DA ENERGIA EÓLICA

Ao falar sobre energia eólica, automaticamente, pensa-se no vento. Ele foi, e ainda é, talvez mais do que nunca, parte fundamental para o desenvolvimento da humanidade. De acordo com Lopez (2002), a energia dos ventos é empregada para a movimentação de diversos engenhos do homem desde os primórdios da civilização. Há milênios o vento já era utilizado pelos egípcios para percorrer o Rio Nilo em busca de comida e matéria prima para suas construções (JOHNSON, 2002). Com a necessidade de produzir mais comida, tanto em quantidade quanto em variedade, mais tarde, o vento começou a ser utilizado pelos persas e chineses para bombear água e mover moinhos a fim de triturar grãos, conhecidos também como moinho d'água. Assim a produção de comida era mais eficiente, automatizada e as pessoas tinham mais tempo para cuidar dos demais afazeres e utilizar os animais que, até então eram parte da força motriz necessária à produção, em outras atividades.

Os moinhos de vento tiveram papel fundamental até pouco antes da revolução industrial, sendo usados em serrarias, prensas de grãos e fábricas de papel (Dutra, 2008). Com a máquina à vapor, que era mais eficiente e mais estável, o moinho de vento foi perdendo seu valor e sendo substituído. Com a descoberta da energia elétrica na década de 1830, discussões surgiram sobre como aproveitar os recursos naturais para produção de energia. E é claro que o vento estava presente na discussão. Várias pesquisas foram desenvolvidas para aproveitar o vento como força motriz para a geração elétrica. Aproximadamente meio século após o descobrimento da energia elétrica, em 1888, o primeiro cata-vento criado com a finalidade de produzir energia foi criado por Charles Brush, nos Estados Unidos (Dutra, 2008). Ele fornecia 12kW em corrente contínua que era armazenada em baterias. A carga dessas baterias era usada para alimentar lâmpadas incandescentes.

Quase um século depois, na década de 1970, o mundo testemunhou a crise do petróleo. Nesse momento as fontes alternativas tiveram mais enfoque. O interesse em desenvolver novas formas de gerar energia atraiu investimentos que possibilitaram, ao longo do tempo, produzir os componentes necessários em menos tempo e menor custo. A aplicação em escala industrial começou a tomar força e a primeira turbina eólica foi ligada à rede elétrica pública Dinamarquesa em 1976 (Burton et al., 2001). Desse momento em diante, o custo dos equipamentos necessários para a construção

da turbina teve uma queda entre as décadas de 1980 e 1990. Ainda na Dinamarca, o primeiro parque eólico *offshore*³ do mundo foi construído em 1991, composto por 11 aerogeradores (também chamados de turbinas eólicas) com potência de 450kW cada, totalizando 4,95MW de potência instalada. Hoje, já existem aerogeradores com capacidade de 9MW de potência (NEOENERGIA, 2019).

3 UMA VISÃO GERAL DA ENERGIA EÓLICA NO MUNDO

Quando se fala em energia eólica no mundo, pode-se ver na figura 1 que houve crescimento em todos os anos entre 2000 e 2020, principalmente dos parques eólicos *onshore*⁴. Apesar de o CAGR⁵ decrescer do período de 2010 – 2015 para 2015 – 2020, ainda assim o crescimento de uma forma geral é bastante significativo, o que corrobora com o fato de que a energia eólica é de extrema importância e necessária para atender a demanda mundial de energia. Todo esse crescimento acelerado pode ser explicado pela revolução tecnológica no desenvolvimento e aprimoramento das turbinas ao longo dos anos e a corrida tecnológica para refinar os aerogeradores a fim de disponibilizar equipamentos cada vez mais eficientes e baratos. Nota-se também o crescimento dos parques *offshore*, que dentre suas vantagens, não ocupa nenhum terreno para construção e operação. Em contrapartida, as turbinas instaladas no mar precisam de cuidados especiais.

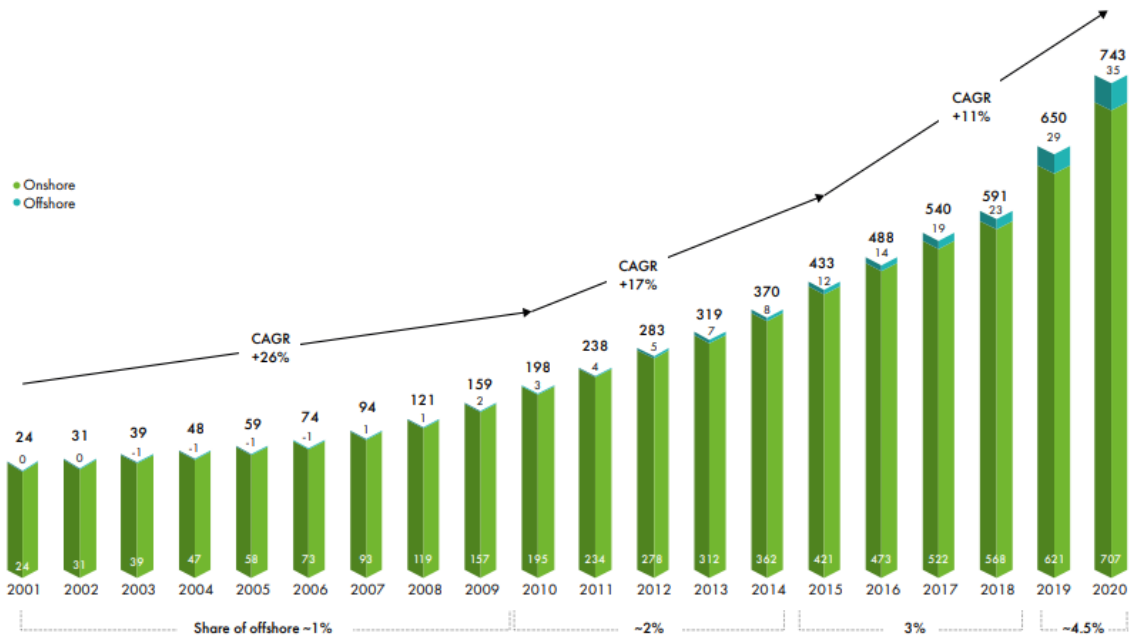
³ Parque eólico construído fora da terra, normalmente no mar.

⁴ Parque eólico construído em terra.

⁵ Compound Annual Growth Ratio, ou taxa de crescimento anual composta.

Figura 1 - Histórico de desenvolvimento do total de instalações no mundo (GW).

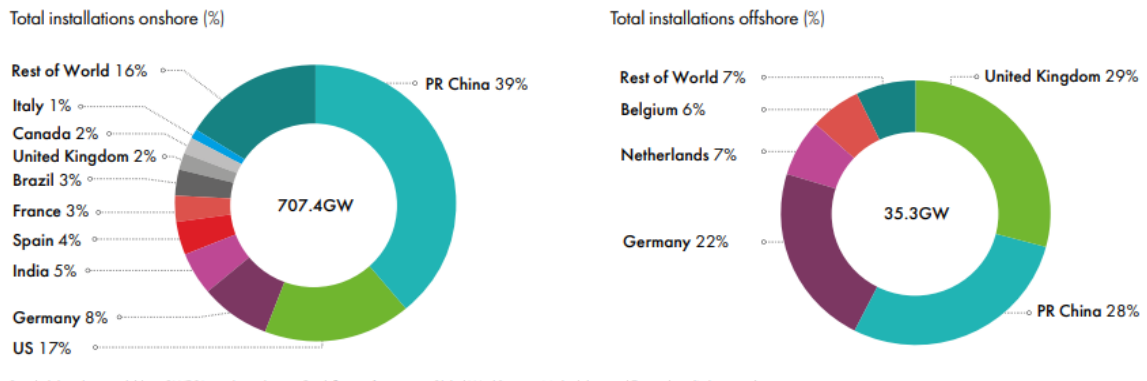
Historic development of total installations (GW)



Fonte: GWEC (2021).

Atualmente, os detentores da maior quantidade de instalações *onshore*, como é possível ver na figura 2, são China (39%), EUA (17%) e Alemanha (8%). Um destaque interessante é que o maior produtor de energia eólica *offshore* é o Reino Unido (29%) seguido pela China (28%) e novamente em terceiro lugar a Alemanha (22%). Seguindo o ritmo de crescimento acelerado e a dominância de mercado em várias frentes, a China não fica para trás em relação a produção de energia eólica. O Brasil é o sétimo colocado, de acordo com a figura 2, representando apenas 3% da geração *onshore*. A geração *offshore* ainda é pequena em todo o mundo, representando menos de 5% do total.

Figura 2 – Total de instalações *onshore* (à esquerda) e total de instalações *offshore* (à direita).



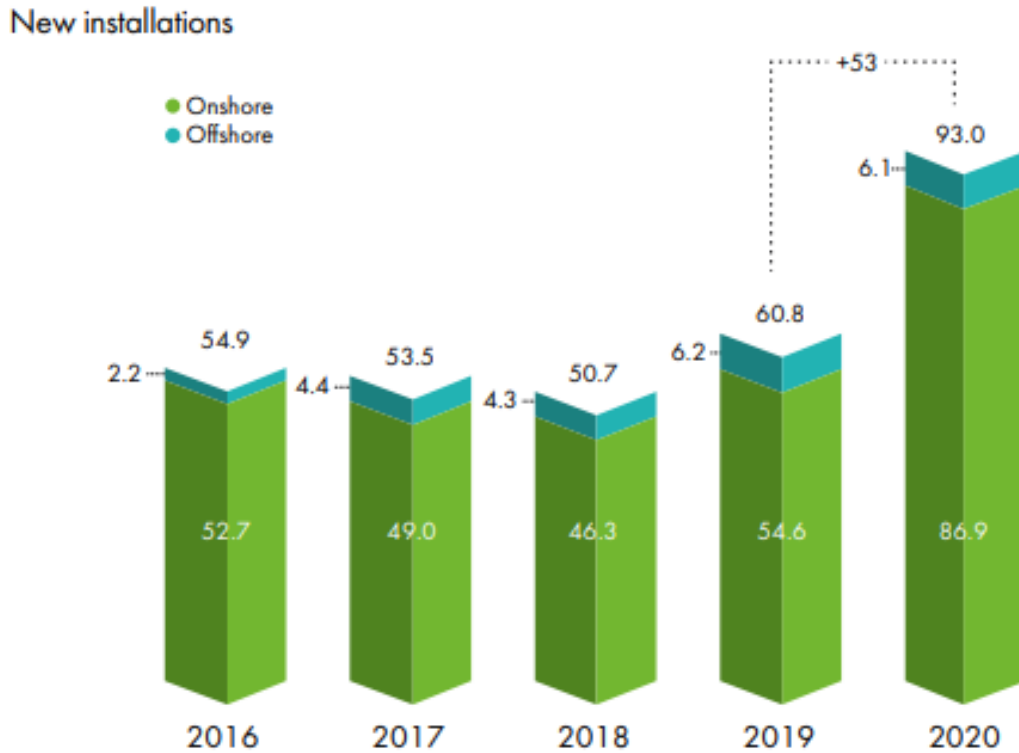
Fonte: GWEC (2021).

Algo de extrema importância para o futuro da geração de energia em qualquer lugar do mundo é o crescimento das instalações ao longo do tempo, vide figura 3. Com demandas cada vez maiores, algo em torno de 3,5% por ano no período de 2017 a 2027 no Brasil (EPE, 2018), devido à crescente produção de equipamentos, destinados a facilitar as tarefas do dia a dia da população, que precisam de energia elétrica para funcionar, sem esquecer, é claro, que as indústrias precisam de energia elétrica para manter a produção desses dispositivos, é necessário que a produção de energia elétrica seja minimamente crescente, por mais que a economia de energia seja um caminho muito mais simples e barato para tentar atender a essa demanda.

Ainda segundo o Global Wind Energy Council: O mundo viu um crescimento em 2020 de novas instalações de geração de energia eólica ultrapassar 90 GW, um crescimento de 53% em comparação com 2019 (GWEC, 2021).

De acordo com a figura 3, de 2016 a 2018 houve uma pequena redução, ano a ano, na quantidade de novas instalações, seguido de um crescimento interessante de 2018 para 2019 e um crescimento vertiginoso de 2019 para 2020.

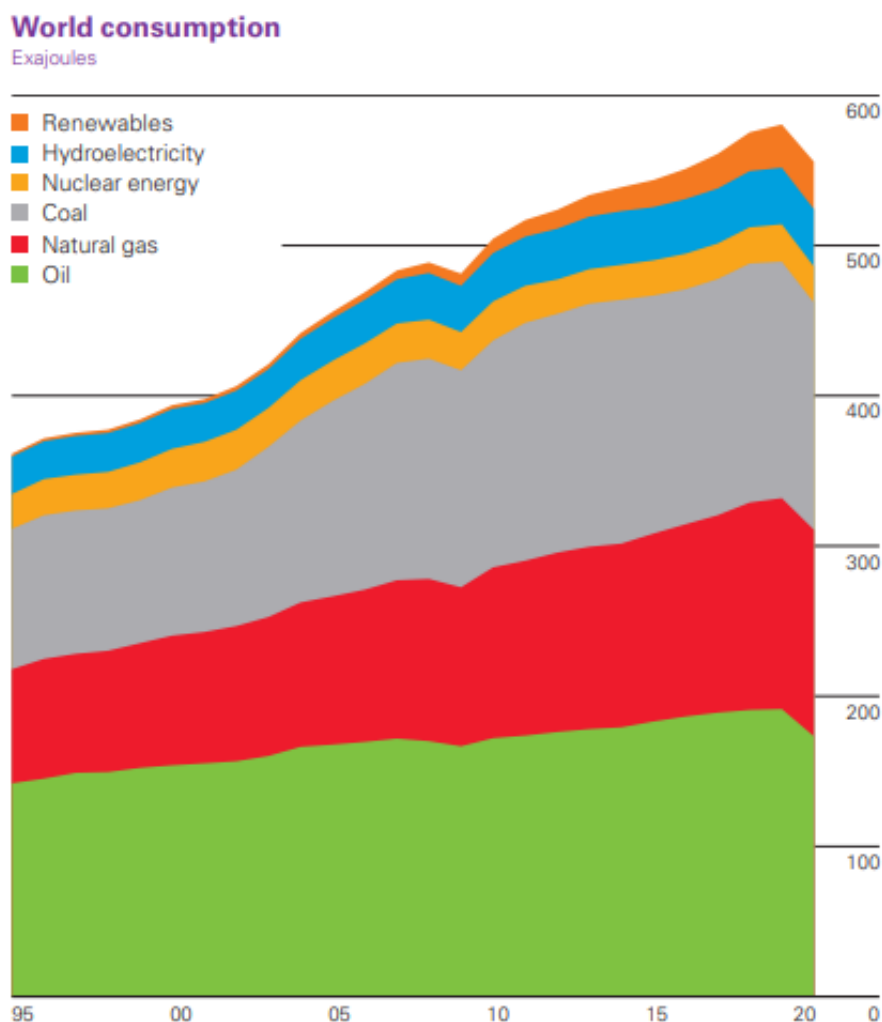
Figura 3 – Novas instalações ao longo dos anos.



Fonte: GWEC (2021).

Esses dados corroboram com o movimento de migração das fontes de geração de energia com combustíveis fósseis para as fontes renováveis. Pode-se comprovar esse movimento comparando o consumo de energia mundial no fim do século XX com o consumo mais recente, na figura 4. É possível comprovar também o rápido crescimento no consumo de energia elétrica ao longo dos anos.

Figura 4 – Consumo mundial de energia por tipo de fonte em exajoules⁶.

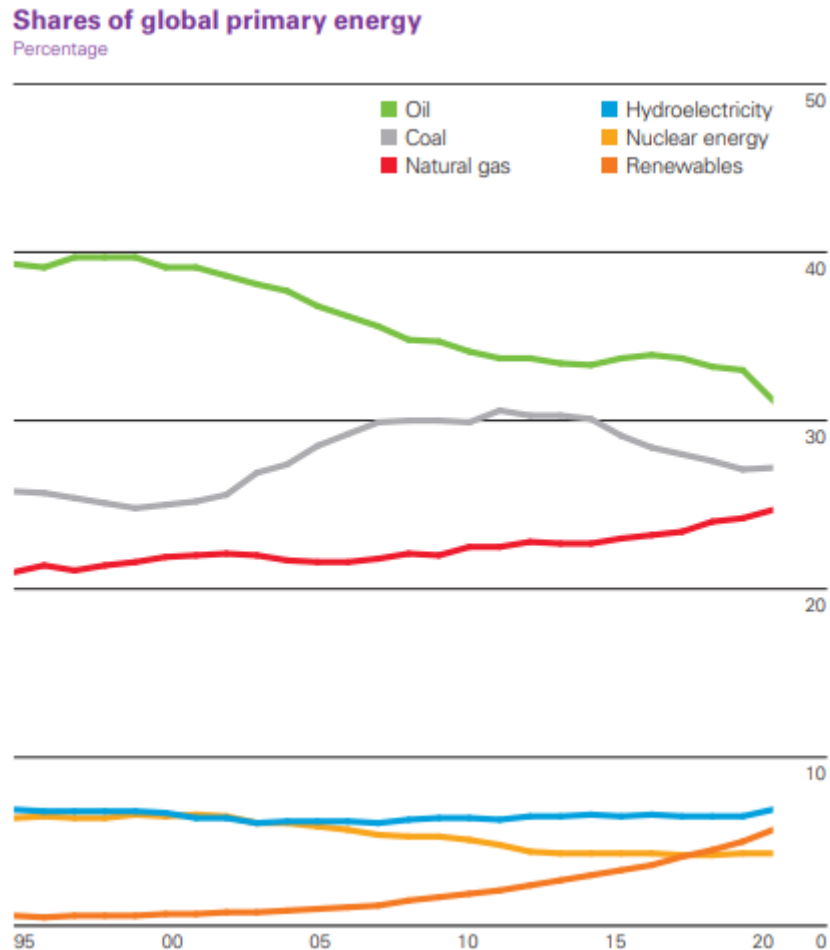


Fonte: BP (2021).

Na figura 5, é possível ter uma visão da participação das fontes energia primária no mundo, em porcentagem. O petróleo foi e, em 2020, continuou sendo a maior participação no mix de fontes de geração de energia elétrica no mundo com 31,2%. O carvão é o segundo maior em 2020 com 27,2% do total. A parcela de gás natural e fontes renováveis tiveram seu pico no período em 2020, representando 24,7% e 5,7%, respectivamente. As fontes renováveis ultrapassaram os 4,3% da energia nuclear. Por fim, a energia hidrelétrica teve um tímido crescimento de 0,4 pontos percentuais atingindo 6,9%, o primeiro crescimento desde 2014 (BP, 2021).

⁶ 1 exajoule é igual a 277.778 GWh

Figura 5 – Participação global das fontes de energia primária.



Fonte: BP (2021).

3.1 OS MAIORES PRODUTORES DE ENERGIA EÓLICA NO MUNDO

Diferente do Brasil, a matriz energética mundial é baseada em combustíveis fósseis principalmente gás natural e carvão. Segundo dados do IEA (2020), em 2019 o carvão mineral representou 36,8% e o gás natural 23,5% da matriz elétrica mundial. Ou seja, mais da metade de toda a energia gerada no mundo foi baseada em combustíveis fósseis. Solar, eólica, geotérmica, maremotriz e outras renováveis, todas juntas, representaram apenas 8,2%.

Dentre os maiores produtores de energia eólica do mundo, como mostrado na figura 2, estão China, EUA e Alemanha com destaque para o Reino Unido como o maior produtor de energia eólica *offshore*.

3.1.1 China

O maior produtor de energia eólica *onshore* no mundo é também o país que mais emite CO₂ no mundo (BBC Brasil, 2021). A China, o país mais populoso do planeta, precisa urgentemente reduzir a emissão de gases que agravam o efeito estufa. Nesse sentido e mantendo o foco na geração de energia eólica, a China tem feito o dever de casa. De acordo com *report* de 2021 do GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL:

Em reconhecimento ao crescente consenso global acerca das mudanças climáticas, a China fez uma série de promessas climáticas nos últimos seis meses. Na Assembleia Geral das Nações Unidas em setembro de 2020, o presidente Xi Jinping anunciou que a China vai aprimorar sua NDC⁷ tendo como alvo o pico de emissões de CO₂ antes de 2030 e a neutralidade de carbono até 2060. (GWEC, 2021)

Uma das várias ações necessárias para cumprir essas promessas é crescente adoção de turbinas eólicas para geração de energia, ainda segundo o *report* do GWEC:

O alvo de carbono zero foi seguido por uma série de compromissos para escalar a capacidade de geração de energia eólica e renovável, com vários ministros e chefes de províncias adotando medidas estratégicas para planejamento e implementação. (GWEC, 2021)

Mesmo com todo o avanço na adoção de fontes renováveis, a China ainda tem um longo caminho a seguir até reduzir de forma significativa a parcela de utilização de combustíveis fósseis em sua matriz energética. A tabela 1 mostra que mais de 75% da geração de energia na China em 2018 foi por meio de combustíveis fósseis. A energia eólica representou apenas 3% do total.

⁷ National Determined Contribution - Contribuição Nacionalmente Determinada

Tabela 1 – Componentes da matriz energética da China em 2018.

Fonte	Percentual
Carvão	59%
Petróleo	21%
Hidroelétrica	8%
Gás Natural	7%
Eólica	3%
Solar	1%
Outras renováveis	1%

Fonte: Elaborado pelo autor utilizando dados da AEPET (2019).

3.1.2 Estados Unidos (EUA)

O segundo maior produtor de energia eólica e de CO₂ no mundo é os EUA (BBC Brasil, 2021). Assim como a China, os Estados Unidos precisam aderir cada vez mais as fontes renováveis. Segundo o GWEC:

A administração revelou uma série de ordens executivas na segunda metade de janeiro que tem como alvo o combater as mudanças climáticas e alcançar um setor de energia sem poluição em 2035 e uma economia limpa em 2050. (GWEC, 2021)

Os EUA têm um alvo de zero poluição 10 anos antes da China, mas até lá, muitos outros presidentes com muitas outras prioridades em mente podem, intencionalmente ou não, retirar parte do foco dessa jornada, já que as ordens executivas citadas são dadas pelo atual presidente e, conseqüentemente, podem ser revogadas por outro (GWEC, 2021).

Sem dúvidas, a forma mais eficiente de atingir esse objetivo é fazer uma transição entre a matriz energética atual do país que é essencialmente dependente de carvão e petróleo para as fontes renováveis. E nesse sentido, falando especificamente da energia eólica, que o é o foco desse trabalho, os Estados Unidos tem feito um trabalho importante. Na figura 6, representada à frente, é possível comprovar que nos últimos 5 anos a capacidade de geração de energia eólica do país cresceu 62%. Um valor considerável, porém, bem abaixo do crescimento chinês no mesmo período.

Assim como a China, os Estados Unidos têm um longo caminho a percorrer para reduzir a parcela de combustíveis fósseis em sua matriz elétrica, que também possui mais de 75% do total utilizando combustíveis fósseis, como mostrado na tabela 2.

Tabela 2 – Consumo de energia por fonte nos Estados Unidos em 2020.

Fonte	Percentual
Petróleo	35%
Gás Natural	34%
Renováveis	12%
Carvão	10%
Nuclear	9%

Fonte: Elaborado pelo autor utilizando dados da U.S. EIA (2021).

Dos 12% que representam a parcela de fontes renováveis, 26% são de fonte eólica, 22% hidroelétrica, 11% solar, 39% biomassa e 2% geotérmica. É difícil comparar as matrizes americana e chinesa com uma diferença de 2 anos sem analisar o crescimento de cada fonte, mas, de uma forma geral, é inegável que os Estados Unidos têm um desafio igualmente grande para zerar a poluição do país.

3.1.3 Alemanha

O terceiro maior produtor de energia *onshore* do mundo também é o terceiro maior produtor de energia *offshore*, como demonstrado na figura 2. A Alemanha, país com mais de 50% de sua matriz energética composta por fontes de energia renovável em 2020, produziu aproximadamente 136TWh utilizando suas fontes renováveis nesse mesmo período (Fraunhofer ISE, 2020).

Mesmo com um número satisfatório em relação à sua matriz energética, a Alemanha é o maior consumidor de carvão da Europa (EIA, 2020) e foi o país que mais emitiu dióxido de carbono em todo o continente europeu em 2020, aproximadamente 16% do total (BP, 2021).

A Alemanha já fez um excelente trabalho rumo à adoção de fontes renováveis de geração de energia como já citado. Ainda assim, de modo geral, as fontes de geração que utilizam combustíveis fósseis ainda representam mais de um quarto da

matriz elétrica do país como mostra a tabela 3. Fato é que a Alemanha está muito mais próxima de zerar a utilização de combustíveis fósseis como fonte de energia do que a China e os Estados Unidos, que ainda vão trilhar um longo caminho rumo a esse objetivo.

Tabela 3 – Geração de energia por fonte da Alemanha em 2020.

Fonte	Percentual
Eólica	27,1%
Carvão	24,2%
Nuclear	12,5%
Gás natural	11,7%
Solar	9,8%
Biomassa	8,9%
Hidroelétrica	5,3%
Outras fontes	0,5%

Fonte: Elaborado pelo autor utilizando dados do Fraunhofer ISE (2021).

3.1.4 Reino Unido

A maior referência no que diz respeito a geração de energia eólica *offshore* do mundo, é o Reino Unido. Composto por quatro países sendo eles Inglaterra, Escócia, País de Gales e Irlanda do Norte, o Reino Unido representa 29%, aproximadamente 10,24 GW, dos 35,3 GW gerados no mundo em 2020, como já mostrado na figura 2.

Sobre as emissões de carbono, o Reino Unido ocupou a 4ª posição no ranking europeu em 2020, com 8% do total de emissões, um número que vem caindo de 512,5 milhões de toneladas em 2012 para 319,4 milhões de toneladas em 2020, de acordo com dados do Statistic Review of World Energy 2021 da BP.

Mesmo sendo o maior produtor de energia eólica *offshore* do mundo, o Reino Unido ainda tem boa parte de sua matriz energética movida a gás natural, como mostra a tabela 4. O gás natural não polui tanto quanto o carvão ou o petróleo, mas ainda assim é um combustível fóssil, segundo o National Geographic: Carvão, petróleo e gás natural são exemplos de combustíveis fósseis. (National Geographic, 2019).

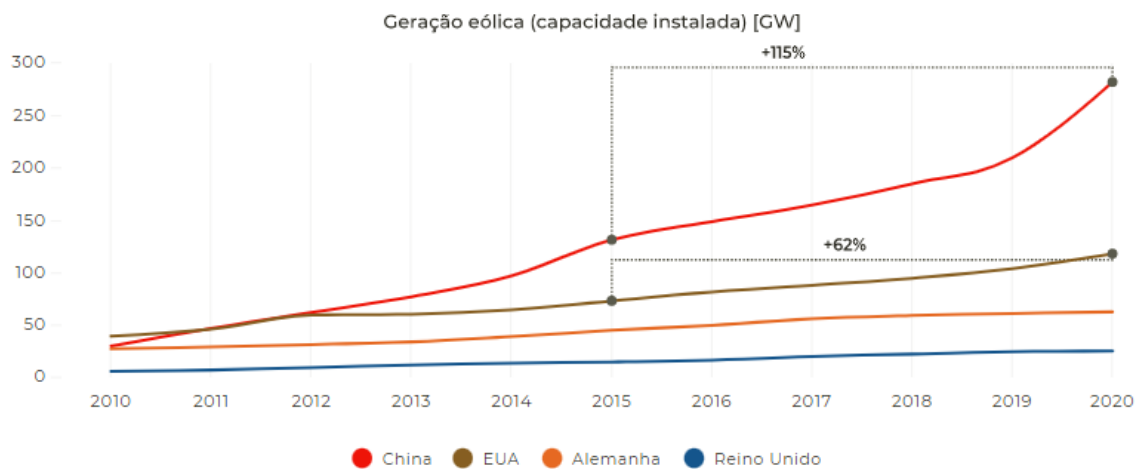
Tabela 4 – Geração de energia por fonte do Reino Unido em 2020.

Fonte	Percentual
Gás Natural	41,6%
Eólica	23,5%
Nuclear	19,8%
Biomassa	7,5%
Solar	4,6%
Hidroelétrica	2,4%
Outras fontes	0,6%

Fonte: Elaborado pelo autor utilizando dados do Fraunhofer ISE (2021).

A figura 6 traz o crescimento da capacidade instalada dos países citados anteriormente, no período 2010 – 2020, em que é destacado o crescimento de +115% e +62% para da China e EUA, respectivamente, entre 2015 e 2020.

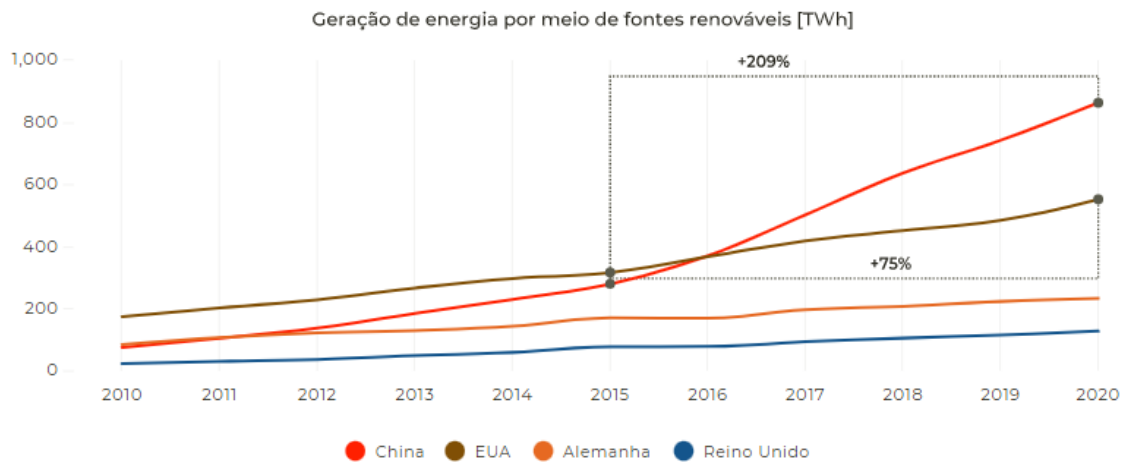
Figura 6 – Geração eólica (capacidade instalada) em GW.



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando dados do Statistical Review of World Energy (2021).

A figura 7, por sua vez, mostra os dados de geração de energia por meio de fontes renováveis no mesmo período e novamente China e EUA são os destaques com as maiores taxas de crescimento, +209% e +75%, respectivamente entre 2015 e 2020.

Figura 7 – Geração de energia por meio de fontes renováveis em TWh.



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando dados do Statistical Review of World Energy (2021).

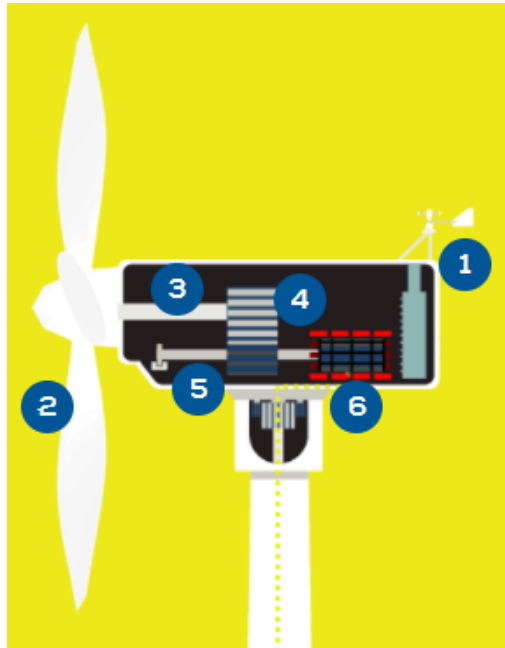
4 GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA: COMO ACONTECE?

A força motriz das turbinas eólicas é o vento. Ele não precisa de nenhuma matéria prima para ser gerado ou existir, já que é fruto dos fenômenos físico-químicos da atmosfera, que acontecem espontaneamente. O vento já foi e ainda é utilizado como força motriz em diversas aplicações, como moinhos de grãos, propulsão de barcos, brinquedos como cata-vento e em especial, para gerar energia elétrica. Mas como exatamente o vento é utilizado para gerar energia? Essa pergunta será respondida ao decorrer dos próximos parágrafos.

4.1 COMPONENTES DO AEROGERADOR

Como mencionado anteriormente, o aerogerador é o equipamento utilizado para converter a energia cinética do vento em energia elétrica. Por mais que o conjunto de componentes do aerogerador seja necessário para que a conversão de energia funcione corretamente, o dispositivo principal do conjunto é o gerador elétrico. É ele que, por meio de indução eletromagnética, transforma, de fato, movimento em energia elétrica. Não menos importantes, estão as demais partes do aerogerador, mostradas na figura 8.

Figura 8 – Componentes de um aerogerador.



Fonte: Wind Europe (2018).

Detalhando cada um dos pontos:

1. Anemômetro⁸: Mede a velocidade e direção do vento. É posicionado na parte traseira da nacela;
2. Lâminas ou pás: Parte do conjunto que, devido ao seu formato semelhante às de um cata-vento, produzem torque no eixo a que estão acopladas por meio da resistência à passagem do vento por elas. Por serem muito longas e pesadas, possuem inercia o suficiente para manter o sistema funcionando nos momentos em que o vento diminui de frequência e/ou velocidade;
3. Eixo de baixa velocidade: As lâminas são acopladas a esse eixo. Em média, esse eixo tem uma velocidade de 7 a 12 RPM⁹ (Wind Europe), mesma velocidade de rotação das pás, que é insuficiente para gerar energia de forma consistente. O torque produzido depende do tamanho das pás e a velocidade de rotação nominal do eixo. Por isso, esse eixo é acoplado a uma caixa de engrenagens;

⁸ Instrumento utilizado para medir a velocidade de um fluido.

⁹ Rotações Por Minuto.

4. Caixa de engrenagens: Transforma o altíssimo torque e baixa velocidade do eixo de baixa velocidade em altíssima velocidade e menor torque no eixo de alta velocidade. Nem todos os aerogeradores possuem caixa de engrenagens. Nesse caso, o eixo do gerador elétrico é o mesmo em que as pás estão conectadas. Esses aerogeradores são chamados de *Direct-Drive*;
5. Eixo de alta velocidade: Eixo que conecta a caixa de engrenagens ao gerador elétrico. Em média, o eixo de alta velocidade atinge mais de 100 vezes a velocidade de rotação do eixo de baixa velocidade, chegando a 1500 RPM (Wind Europe) graças à caixa de engrenagens;
6. Gerador elétrico: Peça fundamental para geração de energia eólica. É ele quem converte o movimento de rotação do eixo de alta velocidade ou do eixo principal nas turbinas *Direct-Drive* em energia elétrica do tipo CA¹⁰.

O encapsulamento em que estão os pontos 3, 4, 5 e 6 da figura 8 se chama nacelle e serve para proteger os equipamentos dos fenômenos físicos do ambiente. Conectado à nacelle, sustentando todo o conjunto, e servindo como passagem para o cabeamento elétrico, está a torre. A altura da turbina eólica depende da altura da torre, e esta, por sua vez, depende da aplicação. Por exemplo, as turbinas do Hornsea One, parque eólico *offshore* do Reino Unido, possuem 190m de altura (Hornsea Project One, 2019).

4.2 CARACTERÍSTICAS DO VENTO

Segundo os dicionários atuais, vento significa: Ar em movimento, que se desloca de uma zona de altas pressões para uma zona de baixas pressões (Dicionário Aurélio, 2022).

Para a geração de energia eólica o vento precisa ter características adequadas para viabilizar a montagem de um aerogerador. Por mais que seja importante reduzir as emissões de carbono e gerar energia de forma sustentável, o ato de gerar energia, independente da fonte, ainda é um componente da economia de qualquer país e, por isso, precisa ser viável financeiramente. Com a energia eólica não é diferente, a

¹⁰ Corrente Alternada.

velocidade e frequência do vento precisam ser altas o bastante para que a instalação do(s) aerogerador(es) seja economicamente viável.

Ao se fazer um estudo de velocidade do vento em uma região, é utilizado um anemômetro para a coleta dos dados. Esse equipamento precisa coletar dados em diferentes alturas, em relação ao solo, para que seja possível definir qual a altura ideal da torre dos aerogeradores.

Com base nas medições pode-se utilizar métodos de previsão do vento. Isso traz mais confiabilidade para a geração de energia. Essas previsões podem ser (Vian et al., 2017):

- Previsão de muito curto prazo: previsão na ordem de minutos até horas. Pode ser considerada uma previsão em tempo real e é muito utilizada em procedimentos de regulação.
- Previsão a curto prazo: de uma hora a algumas horas à frente. Utilizada no despacho de carga e na segurança do mercado de energia.
- Previsão a médio prazo: de algumas horas a uma semana. Utilizada em previsões de acionamento e operação de geradores.
- Previsão a longo prazo: de uma semana em diante. Primordial para planejamento de manutenção, custo operacional ideal e gerenciamento de operação.

Durante a fase de projeto de um parque eólico a previsão mais utilizada é a de longo prazo para atestar a viabilidade da instalação do parque bem como para definir as diretrizes de operação e manutenção de cada equipamento do sistema.

O terreno é um elemento de grande influência sobre a velocidade do vento. Por exemplo, em uma praia o vento é muito mais intenso do que em uma floresta. Essa característica é chamada de rugosidade superficial, dada em milímetros, e é utilizada em métodos de correção. Esses métodos são usados quando já se tem os dados sobre o vento de alguma região, dispendo-se da necessidade de utilização do anemômetro. O valor da rugosidade superficial é entendido como a altura, em relação ao solo, em que se encontra velocidade do vento igual a zero (Martinez, 2003). A tabela 5 traz os valores de referência em milímetros de acordo com o tipo de terreno.

Tabela 5 – Rugosidade superficial em relação ao terreno.

Tipo de terreno	Rugosidade (mm)
Gelo	0,01
Mar calmo	0,2
Mar agitado	0,5
Neve	3
Gramma baixa	8
Pasto	10
Campo	30
Plantações	50
Poucas árvores	100
Muitas árvores/algumas construções	250
Florestas	500
Subúrbios	1500
Cidades	3000

Fonte: Martinez et al (2002).

Outra característica importante do vento é sua variabilidade, tanto no tempo quanto no espaço. Turbulências são mais ou menos frequentes devido à estação do ano, movimentação das grandes massas de ar e até mesmo pelas brisas que acontecem durante os dias. A turbulência é causada por diversos fatores tais como: instabilidade atmosférica, obstáculos, esteiras dos aerogeradores, rugosidade superficial e topografia (Martinez, 2003). A mera existência da turbulência obriga a coleta de dados ser feita com uma frequência na ordem de segundos.

A ocorrência de turbulências deve ser bem conhecida, pois ela acarreta grandes variações no fluxo de ar que chega aos aerogeradores, causando flutuações na geração de energia e reduzindo a vida útil do equipamento devido a efeitos de fadiga. Turbulência e rajadas causam cargas randômicas e tensões mecânicas por toda estrutura e componentes do aerogerador (Rohatgi e Barbezier, 1999)

4.3 CONVERSÃO DE ENERGIA CINÉTICA DO VENTO EM ELETRICIDADE

Para entender o processo de geração de energia, é importante conhecer como um gerador elétrico funciona. No caso da geração de energia de alta potência, como é o caso de uma turbina eólica, o tipo de gerador usado é o de corrente alternada (CA). Os primeiros geradores criados eram de corrente contínua (CC) e foram usados durante muito tempo, mesmo após a popularização dos geradores CA. Porém, os geradores CC são maiores, mais pesados e precisam de mais manutenção do que um gerador de corrente contínua com a mesma potência.

Simplificando o processo de funcionamento, existem 2 peças fundamentais em um gerador: O rotor e o estator. O rotor é a parte da máquina que gira e o estator é a parte que fica estática. Ambas são compostas por eletroímãs¹¹ que interagem entre si por conta de suas propriedades eletromagnéticas. Para gerar energia, é necessário alimentar os eletroímãs do rotor para que ele produza campo magnético. Como o rotor está constantemente em movimento, a intensidade (fluxo) de campo magnético que atinge o estator também está constantemente variando. De acordo com a Lei de Faraday: A variação no fluxo de campo magnético através de materiais condutores induz o surgimento de uma corrente elétrica.

Assim, o movimento de rotação do rotor faz surgir corrente elétrica induzida no estator. Essa corrente induzida é a energia gerada pelo gerador.

A conversão da energia cinética do vento em energia elétrica se inicia quando o vento atinge as pás do aerogerador. O movimento de rotação acontece devido ao formato das pás. Quando o vento as atinge, é criado um movimento de arraste. Como as pás estão presas ao eixo de baixa rotação, o movimento de arraste resulta em um movimento de rotação, que é transmitido até o eixo do gerador elétrico.

O processo de geração de energia propriamente dito do aerogerador se dá por meio do movimento do rotor em relação ao estator do gerador elétrico, como já comentado anteriormente. Ao girar, o rotor produz fluxo magnético, que por estar

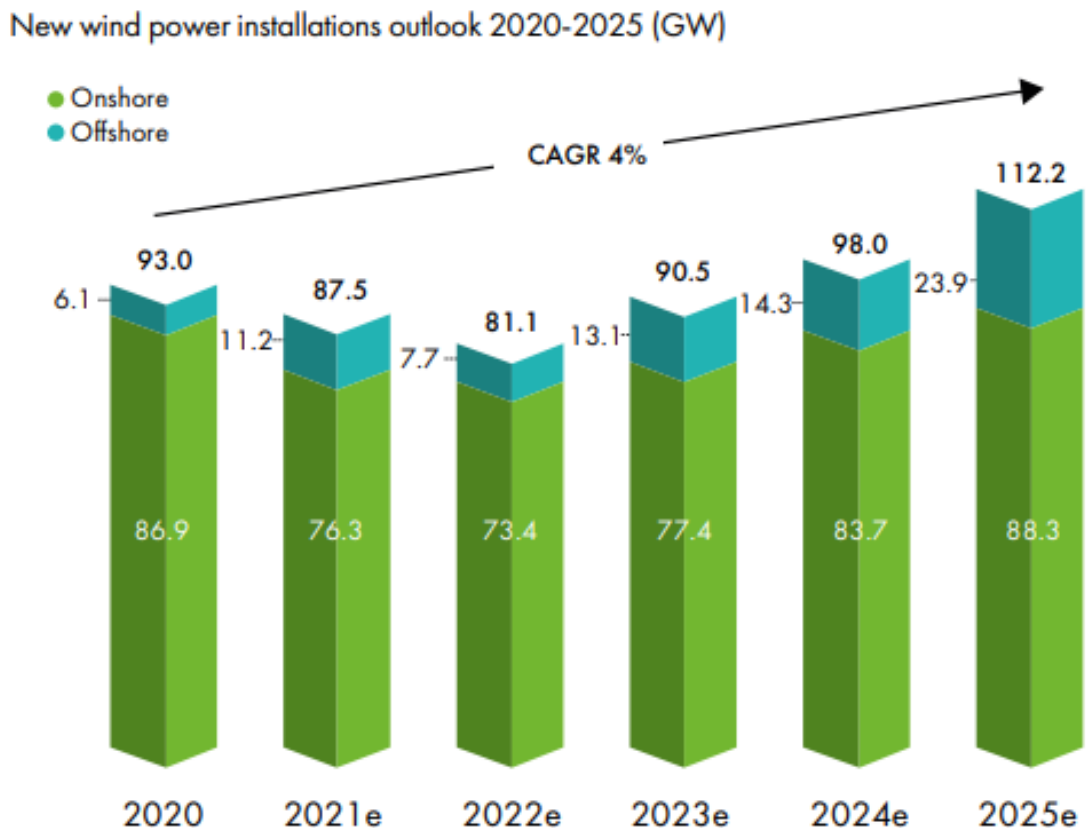
¹¹ Conjunto de espiras (fios enrolados). O fio que compõem as espiras normalmente é de cobre. Um eletroímã, devido as propriedades físicas da corrente elétrica, produz campo magnético, assim como um ímã comum. A diferença é que o ímã produz campo magnético naturalmente enquanto o eletroímã produz campo magnético apenas quando está energizado.

variando constantemente devido o movimento de rotação do rotor, induz tensão e corrente elétrica no rotor.

5 CRESCIMENTO PROJETADO

Felizmente, com o avanço tecnológico e a maior preocupação com o meio ambiente, as fontes alternativas estão sendo cada vez mais utilizadas em todo o mundo. Na figura 1, da seção 2 desse trabalho, foi apresentado o crescimento do total de instalações de geração de energia eólica no mundo de 2001 a 2020. No gráfico em questão é verificado que em todos os anos, sem exceção, houve crescimento no total de instalações. Na figura 9 é possível verificar o panorama de novas instalações até 2025.

Figura 9 – Panorama de novas instalações de energia eólica de 2020 – 2025 (GW).

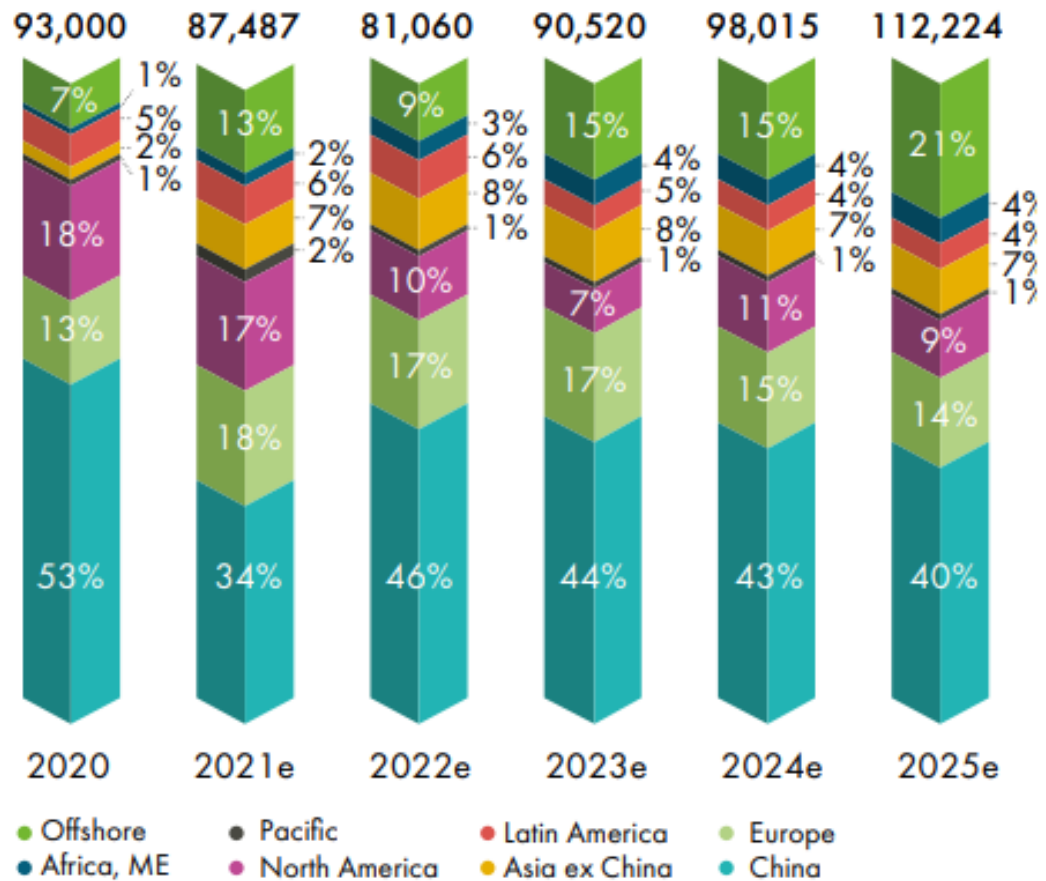


Fonte: GWEC (2021).

Na figura 10 são apresentadas as mesmas informações da figura 9 divididas por região e sua representação, em percentual, do total. Os dados das regiões são para as instalações *onshore*. As instalações *offshore* são a parcela no topo de cada barra e representam a parcela *offshore* mundial no respectivo ano.

Figura 10 – Panorama de novas instalações de geração de energia eólica de 2020 - 2025 por região (MW).

Fonte: **New wind power installations outlook 2020-2025 by region**
 MW and per cent, onshore and offshore



GWEC (2021)

A justificativa para o crescimento apresentado no gráfico, segundo o GWEC:

O crescimento no início dos próximos cinco anos continuará a ser impulsionado pelas políticas governamentais incluindo Contrato de Oferta Padrão, Crédito Fiscal de Produção, Crédito Fiscal de Investimento, Certificados Verdes e leilões/licitações renováveis e de tecnologia neutra. (GWEC, 2021)

O gráfico demonstra uma redução gradual entre 2020 e 2022 e uma recuperação para os anos seguintes, com CAGR positivo em 4%. Resumindo esse crescimento como: a cada ano, são gerados aproximadamente 94GW em novas instalações de geração de energia eólica.

Um ponto interessante é a proporção de instalações *offshore* versus *onshore*. Em 2020, as instalações *offshore* representaram 7% do total. Segundo a estimativa, em 2021 representaria 13% do total, 9% para 2022, 15% para 2023, 15% para 2024 e 21% para 2025. Começando em 7% e chegando a 21% é um forte indício de que, no futuro próximo, as novas instalações de aerogeradores se afastarão da terra firme. O motivo? De acordo com o GWEC:

1) Redução acentuada no Custo Nivelado de Energia *offshore*, 2) aumento das metas de produção de energia *offshore* na Europa, EUA e mercados chave na Ásia como Japão e Coreia do Sul, 3) a comercialização e industrialização esperada do vento longe de terra firme e 4) o papel único dos parques *offshore* em simplificar a cooperação entre indústrias e acelerar a transição energética global de combustíveis fósseis para renováveis. (GWEC, 2021)

É notável o crescimento das novas instalações na Ásia, excluindo a China de 2020 para 2021, partindo de 2% para 7% e se mantendo firme nos anos seguintes. China e América do Norte, em especial os EUA, terão sua participação nas instalações *onshore* reduzida em virtude da expansão das instalações *offshore*.

6 A ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Na figura 2 foi possível observar que o Brasil detém 3% do total mundial de instalações de parques eólicos *onshore*, aproximadamente 21,22GW. Apesar do marco inicial da energia eólica no país datar de 1992 com a instalação da primeira turbina no sistema isolado de Fernando de Noronha que, naquela época, representava 10% da energia gerada no local (Pinto, 2013), essa fonte só teve a devida atenção após a realização do PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas) em 2002, com o objetivo de disseminar o uso de outras fontes, resultando na geração de 3.300 MW de energia oriundos dessas outras fontes (Salino, 2011). O programa teve preços elevados e prazos de instalação postergados diversas vezes. Porém, é

considerado um sucesso por ter viabilizado a entrada da tecnologia no país, desenvolvendo fornecedores, fabricantes, instaladores, entre outros.

Com o segundo leilão de energia de reserva realizado em 2009, o primeiro voltado exclusivamente à fonte eólica, o desenvolvimento do setor no Brasil engrenou com a contratação de 1,8 GW de capacidade (Associação Brasileira de Energia Eólica, 2018).

Nessa época, a maioria dos fornecedores e fabricantes ainda eram estrangeiros, e muitos contratos não tinham cobertura de operação e manutenção. O risco para o investidor era altíssimo já que a mão de obra especializada nessa área era escassa. Isso somado à falta de suporte do fabricante resultava em muitos contratos em que o investidor tinha que assumir toda a responsabilidade de retirar o equipamento do porto, transportá-lo, instalá-lo e mantê-lo em boas condições de funcionamento. Um freio enorme ao desenvolvimento e adoção em larga escala dessa fonte de energia.

Com o passar dos anos, a realização de novos leilões e a redução nos preços dos equipamentos e das instalações, trouxeram mais investidores que, por sua vez, tornaram o mercado interno de geração de energia eólica mais competitivo, o que possibilita, de fato, a diversificação da matriz energética brasileira com mais uma fonte renovável.

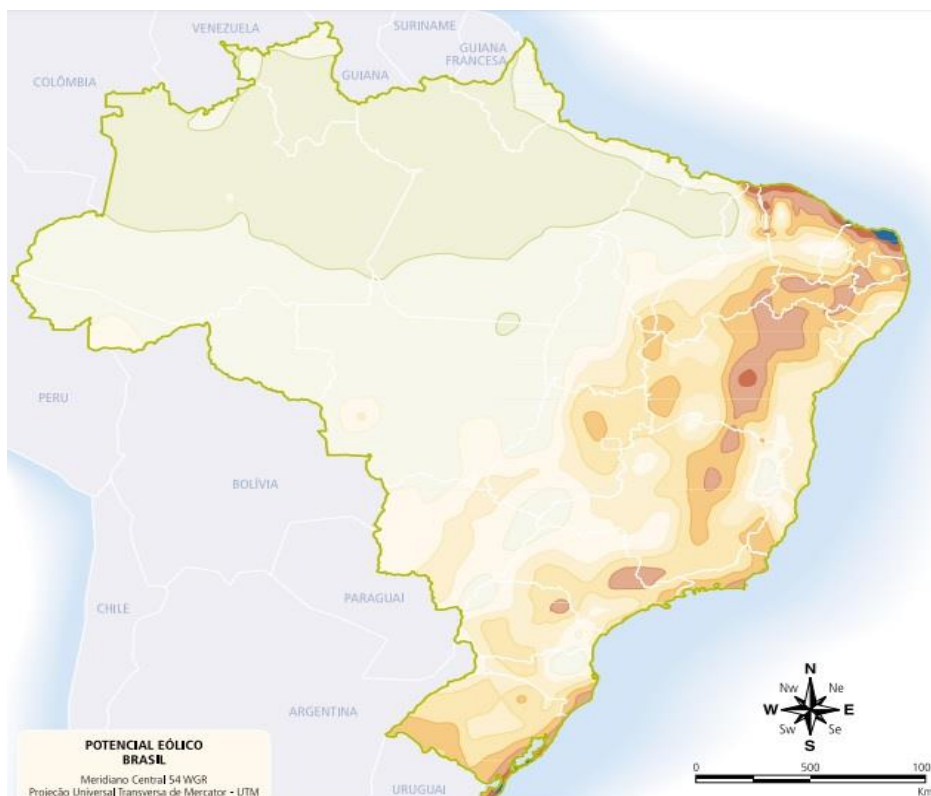
6.1 MATRIZ ENERGÉTICA E POTENCIAL EÓLICO

O Brasil possui uma matriz elétrica com mais de 75% do total proveniente de fontes renováveis, sendo 65,2% hidráulica, 8,8% eólica, 2,2% nuclear e 1,7% solar (BEN, 2021). Comparado com as grandes potências mundiais, que possuem boa parte de sua geração baseada em combustíveis fósseis, o Brasil está muitos passos à frente rumo a zero emissão de carbono na geração de energia elétrica. O relevo e a grande quantidade de rios no país, juntamente com os grandes investimentos no sistema de geração hidráulica, possibilitaram que a matriz elétrica do Brasil seja como é hoje.





Com uma potência instalada de 3150 MW em 2019 (ONS, 2020), o Nordeste foi responsável por gerar aproximadamente 17% do total de energia do país durante

o ano de 2017 (BEN, 2018). Falando especificamente da geração de energia eólica, o Nordeste foi responsável por 84% ou 33,99 TWh do total gerado no país em 2018 (40,45 TWh), seguido pelo Sul com 14,4%, Norte com 1,4% e Sudeste com 0,2% de acordo com dados da ABEEólica. O Nordeste é o maior polo gerador de energia eólica do país por ter as maiores médias de velocidade dos ventos do país, como mostrado na figura 11.

Figura 11 - Potencial eólico do Brasil.



**Velocidade média do vento (m/s)
50 m acima do nível da superfície**

		Mata	Campo Aberto	Zona Costeira	Morro	Montanha
Classes de energia	4	 > 6,0	> 7,0	> 8,0	> 9,0	> 11,0
	3	 4,5 - 6,0	6,0 - 7,0	6,0 - 7,0	7,5 - 9,0	8,5 - 11,0
	2	 3,0 - 4,5	4,5 - 6,0	4,5 - 6,0	6,0 - 7,5	7,0 - 8,5
	1	 < 3,0	< 4,5	< 4,5	< 6,0	< 7,0

Fonte: ANEEL (2003).

O litoral Sul e Sudeste, além de parte do interior da Bahia e de Pernambuco também possuem potencial eólico considerável e que pode ser mais explorado ao

longo dos anos. Como os parques eólicos produzem muito barulho e, idealmente, devem ficar próximos às subestações que farão o controle da energia gerada, visando redução do custo com linhas de transmissão, localidades muito urbanizadas não são as melhores para a instalação dos parques.

6.2 FUTURO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Segundo a EPE (2018), a capacidade instalada e geração de energia eólica no Brasil em 2017 foi de aproximadamente 12 GW. A projeção para 2022 é de 15 GW e para 2027 é estimada uma capacidade de 27GW. Isso representa um incremento de aproximadamente 14 GW ou 116% em apenas 10 anos. Essa expansão será focada no Nordeste que, como mencionado anteriormente, é o principal polo eólico do país pelas características dos ventos do litoral da região.

Dentre as fontes renováveis, a eólica é a que terá o maior incremento de capacidade no período 2017 – 2027 (116% como já mencionado), uma vez que a fonte hidráulica terá um incremento estimado de 11% (de 94 GW para 103 GW), 40% para térmica (de 23 GW para 32GW), 8 GW para energia solar centralizada (de menos de 1GW para 9GW) e 31% para as demais fontes juntas (EPE, 2018).

A grande dependência das hidrelétricas na geração de energia elétrica no país será reduzida se essas projeções se concretizarem. Períodos de seca são marcados pelo aumento no preço da energia já que as termelétricas precisam entrar em cena para suprir a demanda do país. A energia gerada por uma termelétrica é mais cara do que a gerada por uma hidrelétrica. Segundo a ANEEL (2021), o Preço Médio da Energia Hidráulica (PMEH), que é atualizado a cada 4 anos e reajustado anualmente com base no IPCA¹², ficou em R\$ 206,03 por megawatt-hora (MWh). Já o preço médio da energia termelétrica ficou em R\$266,86 por MWh. A energia eólica, por sua vez, assim como a solar possuem preço médio de R\$150,03 por MWh. Sem dúvidas investir em mais parques eólicos é benéfico para toda a cadeia produtiva e consumidora devido ao preço reduzido da energia.

¹² Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo. Dado em porcentagem, é a principal taxa de reajuste de preços de vários produtos e serviços no Brasil. O IPCA, muitas vezes, é interpretado como o valor da inflação.

Um sistema energético diversificado e equilibrado é o mundo ideal para qualquer nação, e chegar nesse objetivo é um caminho longo e complexo, mesmo que economicamente, socialmente e ambientalmente benéfico.

6.3 CONSEQUÊNCIAS SOCIAIS DA ENERGIA EÓLICA

Mesmo com todas as vantagens apresentadas até o momento, a energia eólica também traz consequências negativas à sociedade. Um exemplo disso é uma matéria publicada no dia 3 de maio de 2022, no site oficial da BBC NEWS do Brasil com o título “Por que mulheres tentam barrar complexo de energia eólica na Paraíba”. Nessa matéria é relatado o impacto social negativo, em especial às mulheres, advindo da construção de parques eólicos.

Entre os problemas causados pelos parques eólicos instalados próximos a comunidades do interior, segundo a matéria, estão: Pressão alta, depressão e falta de sono relacionados ao barulho incessante dos aerogeradores, diminuição da área de terras destinadas à agricultura já que não é permitido trabalhar debaixo ou próximo ao aerogerador por questões de segurança e relacionamentos amorosos, especialmente entre os trabalhadores das obras de construção dos parques eólicos e as mulheres das comunidades próximas.

Já foi comentado nesse trabalho que os aerogeradores produzem muito barulho e, como funcionam 24h por dia, esse barulho é constante e pode sim trazer transtornos e mudança na qualidade de vida das pessoas que vivem ao seu redor. Também já foi dito que um parque eólico ocupa grandes áreas e que não é permitido outros tipos de atividades próximo aos geradores. Sendo assim, a área destinada a um parque eólico é inutilizável para outras atividades, pelo menos enquanto o parque estiver ativo. Já a questão dos relacionamentos entre trabalhadores e mulheres das comunidades, na matéria é citado que em alguns casos os trabalhadores, que são em sua maioria homens de outras cidades ou estados, desenvolvem casos amorosos chegando a ter filhos com essas moradoras e, ao fim da obra, voltam para suas cidades, deixando essas mulheres e seus filhos ao relento. Essas crianças chegam a ser chamadas de “filhos dos ventos”, dada a frequência com que essa situação acontece.

A matéria também fala sobre os contratos de arrendamento que em muitos casos oferecem um valor muito abaixo do valor justo para os moradores. É citado um livro da Universidade Federal do Ceará (UFC), lançado em 2019, intitulado "Impactos socioambientais da implantação de parques de energia eólica no Brasil", com 16 artigos sobre o tema. Em um desses artigos presentes no livro é mencionado que o em 2015, no Texas (EUA), cada turbina rendia aos moradores aproximadamente US\$ 6700,00 em royalties por ano. Considerando o dólar a R\$ 4,88 (valor no dia 21/05/2022) essa quantia corresponde a aproximadamente R\$ 32.696,00 por ano, algo em torno de R\$ 2.724,00 por mês. A matéria cita que:

Já no Brasil, segundo um estudo de Mariana Traldi, professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, os pagamentos costumam ser bem menores. Em artigo na revista Ambiente & Sociedade, em 2021, Traldi estimou os pagamentos a moradores de duas comunidades - uma na Bahia, outra no Rio Grande do Norte - com base nos resultados das empresas que atuam nos locais e em contratos a que teve acesso. Os pagamentos por torre eólica variavam de R\$ 684,46/mês (R\$ 8.213/ano) a 1.122,99/mês (R\$ 13.475/ano) e corresponderiam, segundo a pesquisadora, a 0,91% dos ganhos brutos das empresas. (BBC, 2022)

Frente a todos esses problemas causados pela construção de parques eólicos é necessário redobrar a fiscalização de todas as etapas da construção, diversificar a mão de obra incluindo mais mulheres nas equipes e aprimorar a profundidade dos estudos de operação para que o respeito às comunidades, em especial às mulheres, seja primordial e imprescindível.

Por fim, a dignidade dos moradores também deve ser respeitada e eles precisam receber os valores corretos dos contratos de arrendamento. É inadmissível que essas pessoas sejam lesadas recebendo menos do que é justo desses contratos, visto todos os possíveis problemas citados na matéria. Esse é apenas uma matéria, um caso em específico. Mais importante do que gerar energia limpa é fazê-lo de forma íntegra, respeitando as pessoas e as remunerando adequadamente.

7 CONCLUSÃO

Após 6 seções em que foi apresentado desde como o vento era utilizado no antigo Egito, como a energia eólica está presente no mundo, quem são e quais as características dos maiores produtores de energia elétrica utilizando turbinas eólicas do mundo, como funciona um aerogerador, projeções para o futuro da energia eólica e, por fim, uma visão geral dessa fonte no Brasil, foi cumprida a motivação desse trabalho, como descrito na primeira seção, em poucas palavras: “Demonstrar as principais características da energia eólica, disseminar o conhecimento sobre essa fonte e servir como base de informações para outros estudos e trabalhos.”

Gerar energia elétrica o suficiente para atender a demanda atual é um desafio, sem dúvidas. Porém, há um desafio ainda maior: planejar como suprir a demanda futura de eletricidade de forma sustentável. Certamente é importante economizar, utilizar apenas o necessário, todavia apenas isso não é suficiente. É necessário gerar mais energia e para contribuir positivamente rumo a esse objetivo, a energia eólica é um aliado fortíssimo que deve ser conhecido, utilizado, desenvolvido e otimizado.

Há um grande caminho a percorrer por todas as nações rumo a emissão zero de poluentes na geração de energia elétrica. Esse objetivo se torna cada dia mais alcançável, com novas políticas e tecnologias. Felizmente, as gerações futuras poderão viver em um mundo melhor, em que a degradação do meio ambiente será próxima de zero, principalmente ao gerar energia elétrica.

ABSTRACT

The main objective of this work is to review the literature on wind energy. A history of the use of this source is presented, from its use before the existence of electric energy to the present day, followed by a global panorama in which the energy matrices of the 4 largest producers of wind energy in the world are highlighted (China, United States, Germany and the UK) as well as its sustainability policies and plans for the future of power generation. Soon after, it is described which are the constituent parts of the wind turbine, characteristics of the wind and how the generation of electric energy through this source happens in practice. It is also presented the growth of the projected generation capacity in the world with a panorama until 2025 and, finally, a vision of the use of this renewable energy source focused on Brazil with the presentation of the map of the national wind potential. In addition, data will be exposed on the participation of this modality in the production of electricity in the country, with emphasis on the region with the highest generation today.

Keywords: Alternative sources. Energy efficiency. Renewable energy. Wind energy. Wind farms.

REFERÊNCIAS

ABEEólica. Boletim anual de geração eólica 2017. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/04/Boletim-Anual-de-Geracao-2017.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2022.

AEPET. **Energias Potencialmente Renováveis Dependem das Fósseis**. Disponível em: <<https://www.aepet.org.br/w3/index.php/conteudo-geral/item/4597-energias-potencialmente-renovaveis-dependem-das-fosseis>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

ALBUQUERQUE, Marcia Cristina Palheta, et al. **A física da energia eólica**. São Paulo: Alpha Graphics, 2018.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3ª edição**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf)>. Acesso em: 26 abr. 2022.

AVANT GARDE INNOVATIONS PVT LTD. **AVATAR™**. Disponível em: <<https://avantgarde.energy/choose-your-avatar/>>. Acesso em: 03 mar. 2022.

BBC Brasil. **CO2: os gráficos que mostram que mais da metade das emissões ocorreram nos últimos 30 anos**. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-59013520>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

BBC Brasil. **Porque mulheres tentam barrar complexo de energia eólica na Paraíba**. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-61302577>>. Acesso em: 08 jun. 2022.

BP. **Statistical Review of World Energy 2021 | 70th Edition**. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2022.

BURTON, T.; SHARPE, D.; JENKINS, N.; BOSSANYI, E. **Wind Energy Handbook**. Chichester: John Wiley & Sons, 2001.

CHALLERENERGY. **Product page**. Disponível em: <<https://challenergy.com/en/product/>>. Acesso em: 10 mar. 2022.

DALMAZ, Alessandro. **ESTUDO DO POTENCIAL EÓLICO E PREVISÃO DE VENTOS PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE EM SANTA CATARINA.**

Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/90185/244860.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 02 fev. 2022.

DUTRA, R. **Energia eólica: princípios e tecnologia.** Rio de Janeiro: CRESESB, 2008.

EIA U.S. **Energy facts explained.** Disponível em:

<<https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

EPE. **Matriz energética e elétrica.** Disponível em:

<<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 02 fev. 2022.

FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR SYSTEMS ISE. **German Net Electricity Generation in First Half of 2020: Renewables Reach Record Share of 55.8 Percent.**

Disponível em: <<https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2020/net-energy-production-first-half-of-2020.html>>.

Acesso em: 27 jan. 2022.

GONZÁLEZ CELIS, Rosario. **"Matriz energética mundial y el cambio climático: estado actual"**. Expositio Repositorio Institucional Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Disponível em <<http://hdl.handle.net/20.500.12010/15654>>. Acesso em: 11 jan. 2022.

GWEC. **GLOBAL WIND REPORT 2021.** Disponível em: <<https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/03/GWEC-Global-Wind-Report-2021.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2020.** Disponível em:

<<https://iea.blob.core.windows.net/assets/a72d8abf-de08-4385-8711-b8a062d6124a/WEO2020.pdf>>.

Acesso em: 27 jan. 2022.

NATIONAL GEOGRAPHIC. **Fossil Fuels.** Disponível em:

<<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/fossil-fuels/>>. Acesso em: 27 jan. 2022.

NEOENERGIA. **A história da energia eólica.** Disponível em:

<<https://www.neoenergia.com/pt-br/sala-de-imprensa/noticias/Paginas/historia-da-energia-eolica.aspx>>. Acesso em: 03 jan. 2022.

PASTOR, João Cesar Silva; MACÊDO, Ana Vitoria de Almeida. **PANORAMA ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS DAS FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS INTERMITENTES NO NORDESTE BRASILEIRO.** VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Junho de 2020.

VIAN, Ângelo; TAHAN, Carlos Marcio Vieira; AGUILAR, Guido Javier Rostegui; GOUVEA, Marcos Roberto; GEMIGNANI, Matheus Mingatos Fernandes.

"Experiências Recentes da Operação com Alta Penetração de Energias Renováveis". In: Energia Eólica Fundamentos Tecnologia e Aplicações. São Paulo: Blucher, 2021.

WIND EUROPE. **About Wind: Wind Basics**. Disponível em:
<<https://windeurope.org/about-wind/wind-basics/#how>>. Acesso em: 14 fev. 2022.