

AVANÇO DA CAPACIDADE INSTALADA EM ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Jaqueline Nascimento Deodato¹ (IC), Rogério José da Silva (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Energia Eólica. Capacidade Instalada. Características de operações.

Introdução

Existem diversos tipos de fontes de energia renováveis, e neste trabalho o enfoque refere-se a um estudo sobre o avanço da capacidade instalada em energia eólica no Brasil e seus efeitos. A energia eólica consiste no aproveitamento da energia que possuem as massas de ar em movimento, ou seja, o vento. Os primeiros desenvolvimentos da energia eólica foram realizados pelas civilizações Chinesa, Persa e Grega para o bombeio de água, assim, as máquinas primitivas persistiram até o século XII quando começaram a ser utilizados moinhos de eixo horizontal na Inglaterra, França e Holanda, entre outros países. Os moinhos de vento de eixo horizontal do tipo “holandês” foram rapidamente disseminados em vários países da Europa [1]. Com o avanço da rede elétrica, foram feitas, no início do século XX, várias pesquisas para o aproveitamento da energia eólica em geração de grande escala de energia, como, melhoria no formato aerodinâmico das pás, colocação de sistemas de orientação e de controle no aerogerador. Na Figura 1 mostra os tipos de aerogerador de acordo com o passar dos anos.

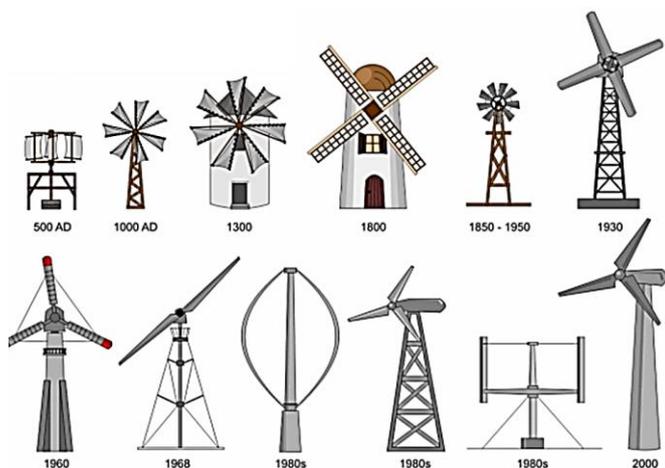


Figura 1 - Tipos de aerogeradores com o passar dos anos.

A energia eólica, possui muitos benefícios, como, geração de renda e melhoria de vida para proprietários de terra com arrendamento para

implementação das torres, os parques eólicos não imitem CO₂ em suas operações, é renovável, não polui, contribui para que o Brasil cumpra seus objetivos no Acordo do Clima e capacitação de mão de obra local [2]. Porém, pode causar impacto visual (mesmo que seja subjetivo), sonoro, e problemas de saúde dos moradores que moram perto.

Nos últimos 7 anos, a capacidade no Brasil saiu de 12,76 [GW] e 500 parques eólicos instalados em 2017, para cerca de 31,1 GW e 1.043 parques eólicos instalados em março de 2024, com 11.183 aerogeradores em operação, estando presente em 12 estados [3].

A energia solar possui mais estabilidade de geração, sendo possível em muitos locais a geração a partir das 7h da manhã e com redução da geração entre 16h e 18h dependendo do local. Por sua vez, no caso da geração eólica, a intensidade dos ventos, a sua direção, podem alterar conforme as horas do dia, da estação do ano, e mudanças no clima, afetando os resultados.

Com todo esse desenvolvimento, a matriz energética brasileira possui 31,1 GW de capacidade instalada em geração eólica comercial, ou seja, compõe 15,4% da matriz energética nacional [3]. Contudo, é importante apresentar a evolução da capacidade instalada da geração eólica na matriz energética brasileira, bem como suas características de operação, dentro da matriz de energia renovável no Brasil.

Metodologia

A proposta tem um caráter meramente descritivo, a fim de promover uma visão ampla da evolução da capacidade instalada de energia eólica no Brasil, os dados de geração de energia nos diferentes estados brasileiros, a contribuição na matriz elétrica brasileira e a característica de operação e as ações do Operador Nacional do Sistema Elétrico devido às elevadas gerações eólicas. Assim, foram realizadas pesquisas em sites de empresas de geração e distribuição de energia, sites de notícias e no site do Operador Nacional do Sistema Elétrico.

Resultados e discussão

O Brasil se destaca no cenário internacional pelo grande potencial e aproveitamento de energia renovável na forma de energia hidráulica. Nos últimos anos houve um grande avanço na capacidade instalada em outras fontes de energia renovável, a saber, a energia eólica e a energia solar. A energia eólica, nos últimos anos, foi umas das que mais ganhou relevância na composição da matriz elétrica. Como consequência, a capacidade instalada de energia eólica experimentou um crescimento significativo ao longo da última década, tornando-se uma fonte de energia renovável importante em muitos países ao redor do mundo. Assim, a Figura 2 mostra os dados da evolução da capacidade instalada no Brasil. No Boletim de Geração de Energia da ABEEólica é possível perceber que o ano de 2023 terminou com 1.027 usinas e 30,45 GW de potência eólica instalada, o que representou um crescimento de 18,79% em relação a dezembro de 2022, quando a capacidade instalada era de 25,63 GW [2].

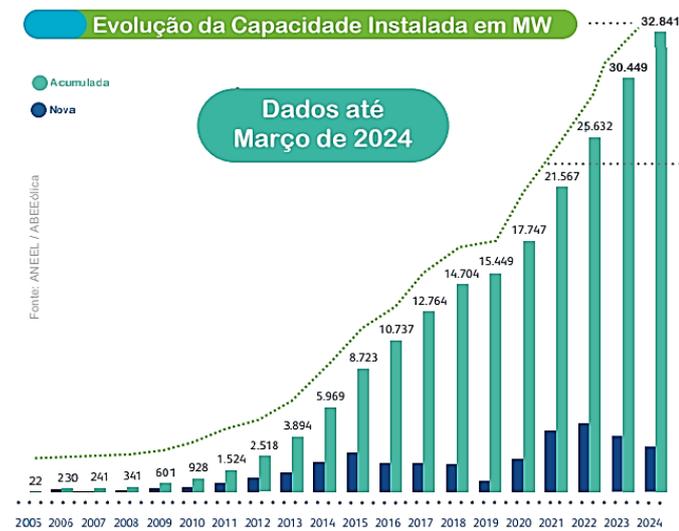


Figura 2 – Evolução da Capacidade Instalada

Essa evolução se deve ao fato de que o Brasil tem excelentes recursos naturais para a geração de energia eólica, especialmente nas regiões Nordeste e Sul, onde os ventos são fortes e constantes, além disso há um movimento global em direção a fontes de energia mais limpas e renováveis. O Brasil, com uma matriz energética já bastante baseada em hidrelétricas, está expandindo suas fontes renováveis com a adição de energia eólica e solar para diversificar a matriz. Pode-se informar que além desses dados há outros 1,2 GW em operação de testes, que devem entrar em operação a curto prazo. Além disso, em 2016 o Brasil estava na nona posição de Ranking Mundial de capacidade instalada para a geração de energia eólica onshore, atrás da Itália, e atualmente ele ocupa a sexta posição [4].

Ao observar a potência instalada em cada Estado brasileiro, é possível notar que em algumas regiões há um

avanço muito alto da capacidade instalada na produção de energia eólica, porém, há outros que tem seu potencial baixo. A Tabela 1 apresenta a geração de energia eólica por Estado do Brasil, em MWmed, durante o ano de 2023, de acordo com os dados da ABEEólica (2024) [2].

REGIÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
RN	2.869,9	3.095,1	2.084,4	1.728,4	2.460,6	3.144,2	3.144,2	3.725,4	3.615,1	4.018,8	3.535,3	3.252,0
BA	2.286,9	3.293,0	3.274,4	2.626,5	3.366,4	4.276,4	4.276,4	3.620,2	3.922,4	3.612,6	2.936,4	3.159,8
PI	833,1	952,1	971,9	965,3	1.542,5	2.115,2	2.115,2	1.836,4	1.889,1	1.772,6	1.248,4	1.373,2
RS	524,5	533,6	524,7	496,7	450,0	412,6	412,6	569,8	765,4	676,1	726,6	673,5
CE	827,6	714,5	443,2	317,0	534,4	666,1	666,1	1.035,8	982,2	1.372,3	1.217,8	1.097,5
PE	421,5	457,1	412,4	330,9	397,4	481,1	481,1	477,5	553,2	505,9	461,5	464,6
MA	176,0	156,7	97,1	68,1	117,2	116,8	116,8	265,8	327,2	334,1	300,8	271,6
PB	233,0	255,2	238,5	206,4	285,4	390,3	390,3	425,8	467,4	437,9	368,4	391,9
SC	42,8	46,4	55,7	56,3	46,3	81,1	81,1	79,4	99,4	58,2	77,2	49,9
SE	7,9	6,5	5,9	4,1	5,2	7,7	7,7	8,7	9,7	10,01	10,9	8,2
RJ	9,0	10,4	7,7	2,5	2,2	4,5	4,5	6,3	12,8	7,3	8,8	7,1
PR	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3

Tabela 1 – Geração de Energia Eólica por Estado 2023

Observando a Tabela 1, é possível notar que a Região Nordeste é a que apresenta a maior capacidade instalada e possui também a maior geração de energia registrada. Os estados de Bahia, Rio Grande do Norte, Piauí, Ceará e Rio Grande do Sul lideraram em geração de energia eólica, em 2023.

Na Tabela 2, mostra a representatividade da fonte eólica nas regiões, onde pode-se observar que o subsistema Nordeste possui geração muito próxima à geração total do sistema, tendo representado, em 2022, 90,3% e em 2023 92,0%.

Região	2022		2023		% de crescimento
	Geração (TWh)	Representatividade	Geração (TWh)	Representatividade	
Sudeste	0,06	0,1%	0,06	0,1%	-7%
Sul	5,95	7,6%	5,50	6,1%	-8%
Nordeste	70,48	90,3%	83,52	92,0%	19%
Norte	1,59	2,0%	1,72	1,9%	8%
Total	78,08	100%	90,80	100%	16,3%

Tabela 2 – Representatividade de Fonte Eólica por Estados considerando a geração em TWh.

Os cinco estados com maior geração no ano de 2023 foram Bahia (29,67 TWh), Rio Grande do Norte (26,77 TWh), Piauí (12,82 TWh), Ceará (7,22 TWh) e Rio Grande do Sul (4,94 TWh).

No Brasil, com o intuito de diversificar a matriz elétrica brasileira, que é basicamente 54,1% de hidrelétrica, outras fontes de energia têm recebido grande incentivo, e dentre estas se destacam a energia solar e a energia eólica. A Figura 3, mostra a composição da matriz de energia brasileira em GW. Analisando os dados do Infovento 34 da ABEEólica, verifica-se um crescimento no último mês de dezembro de 2023, de 55369 MW em novas instalações, levando a capacidade instalada para 32841 MW, em março/2024. Ao considerar todas as fontes de geração de energia elétrica, em 2023 foram instalados 9,3 GW de potência e a energia eólica foi a fonte que mais cresceu, representando

51,73% da nova capacidade instalada no país durante o ano.

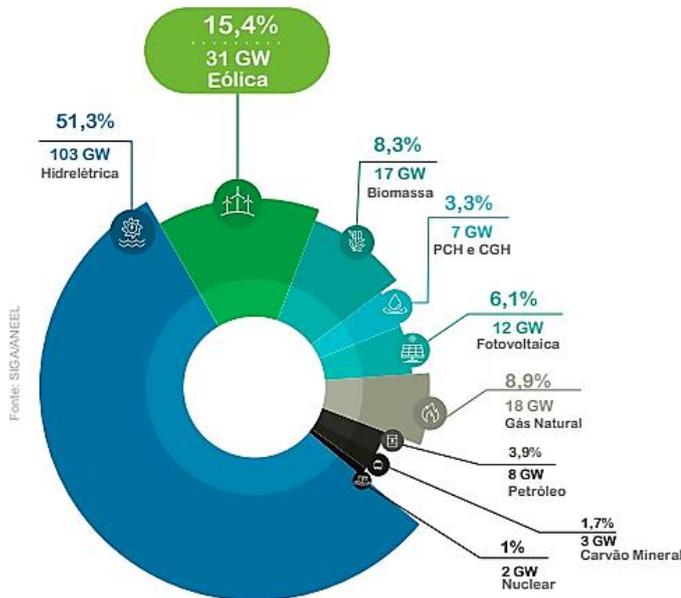


Figura 3 – Matriz Elétrica Brasileira

A geração eólica é dependente da intensidade da velocidade do vento, que pode variar ao longo do dia, e nas estações do ano. Assim, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) publica todos os dias o registro da geração de energia eólica, por regiões e para o SIN – Sistema Interligado Nacional. O segundo semestre é conhecido na região Nordeste como época da safra dos ventos. Assim, como exemplo de geração, a Figura 4, mostra que no dia 05/08/2023 ocorreu uma alta geração de energia eólica. No início da madrugada, às 00h00 estava com uma geração de aproximadamente 17.000 MW, a partir das 8h da manhã ocorreu um decréscimo constante, havendo geração mínima por volta das 14h00, e depois a volta elevação, e das 22h00 em diante com uma geração em torno de 19.000 MW [5].

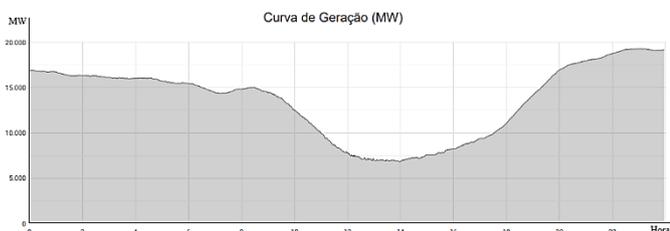


Figura 4 – Geração de Energia Eólica em 05/08/2023

A rede de transmissão, que transporta a energia gerada pelas usinas até os consumidores, possui uma capacidade limitada. Quando a geração de energia eólica e solar, que são fontes variáveis e podem apresentar picos de produção, ultrapassa essa capacidade, a rede pode se tornar instável e até mesmo colapsar. Dessa forma, o

ONS precisa garantir o equilíbrio entre a energia gerada e a demanda dos consumidores, em situações de excesso de geração, especialmente de fontes renováveis, o sistema pode ficar sobrecarregado, exigindo a redução da produção. Assim, nos últimos meses, o ONS vem reduzindo a geração de energia eólica, como pode ser visto na Figura 5, correspondente ao dia 15/09/2024.



Figura 5 – Geração de Energia Eólica em 15/09/2024

Como pode-se notar, ocorreu uma geração “constante” e “equilibrada” durante o período de 00h00 às 04h00 da manhã, depois vai decrescendo e havendo uma geração crescente a partir das 14h. Como pode perceber, a geração em torno de 20.000 MW, de acordo com o Informativo Preliminar Diário da Operação (IPDO). No Nordeste desse mesmo dia ocorreu uma restrição da geração eólica para controle de inequações regionais e fluxos sistêmicos contidos sem instrumentações de operação normal, controle de frequência e intervenções em andamento. A máxima redução foi de 8.465 MW [6]. Além da eólica, a geração solar também teve restrição de geração de máxima de 1.278 MW, das 6h28 às 16h30.

A interrupção da geração eólica e solar, embora possa parecer um desperdício, é uma medida de segurança que visa garantir a confiabilidade do sistema elétrico. Ao evitar sobrecargas, o ONS minimiza o risco de apagões e outros problemas que podem afetar a vida de milhões de pessoas.

O ONS implementou a partir do dia 17 de setembro de 2024, adaptações nos processos de restrições de geração eólica e fotovoltaica, conhecidas pelo termo em inglês *curtailment*. Inicialmente, a metodologia será implementada nos estados do Rio Grande do Norte e do Ceará. O *curtailment* acontece quando o ONS determina a interrupção da geração desses empreendimentos por razões não relacionadas às usinas, como impossibilidade de alocação da geração na carga, indisponibilidade da rede de transmissão ou atendimento a requisitos de confiabilidade elétrica. As normas estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) determinam que os geradores devem assumir os custos dos cortes causados na maior parte das vezes, exceto quando são relacionados à indisponibilidade externa, mas há franquias de horas que limitam o período em que os

custos podem ser alocados aos consumidores por meio de encargo sectorial [7].

Um levantamento feito pela Global Wind Energy Council (GWEC) divulgado em 2024, mostrou que a geração eólica no Brasil se expandiu no último ano, com o país subindo uma posição no ranking mundial de energia eólica onshore. Em 2023, o Brasil se tornou o 6º país com mais eólicas do mundo, com capacidade instalada de 30,45 GW, atrás apenas da China (478,47 GW), Estados Unidos (150,43 GW), Alemanha (61,14 GW), Índia (44,74 GW) e Espanha (30,56 GW). Porém, março de 2024 já tem uma capacidade instalada de 31,1 GW [8].

Conclusões

A partir do estudo, foi possível constatar que a energia, definitivamente, é um dos recursos mais importantes para o desenvolvimento de um país e garantia da qualidade de vida da população. Por meio dela, a humanidade pode atender suas mais diversas necessidades e os países podem alimentar seus sistemas comercial, industrial e de serviços.

Nos últimos anos, as fontes de energia renováveis tiveram um grande crescimento em capacidade instalada e de geração de energia. Com base nos dados da ABEEólica, o ano de 2023 terminou com 1.027 usinas e 30,45 GW de potência eólica instalada, o que representou um crescimento de 18,79% em relação a dezembro de 2022, quando a capacidade era de 25,63 GW. Além disso, em março de 2024 já se teve uma capacidade instalada de 31,1 GW.

Em relação aos dados de geração de energia nos diferentes estados brasileiros, pode-se verificar que a região Nordeste é a que apresenta a maior capacidade instalada e possui também a maior geração de energia registrada.

Verificou-se a geração de energia de energia eólica nas Figuras 4 e 5, ambos em período de safra dos ventos, porém em anos diferentes 2023 e 2024 respectivamente. A diferença dessas gerações foi a limitação da geração eólica em 2024, no qual o ONS para garantir o equilíbrio entre a energia gerada e a demanda dos consumidores, restringiu no Nordeste a energia eólica, com uma máxima redução de 8.465 MW. Porém, essas restrições imposta pelo ONS levantam questões jurídicas importantes para o setor de energia eólica, pois as empresas do setor têm o direito de buscar indenizações ou compensações quando as restrições impostas pelo operador resultam em perdas financeiras significativas.

Desse modo, a expansão e a modernização da rede de transmissão é fundamental para permitir a integração de maior quantidade de energia eólica ao

Sistema, reduzindo as restrições operacionais. Também deve-se lembrar que a geração de energia de um país não deve depender totalmente da energia eólica para suprir sua demanda, pois ele tem sua intermitência e necessita estar num sistema com outras fontes operando de forma complementar.

Agradecimentos

Manifesto um agradecimento especial ao Programa de Educação Tutorial - PET pela concessão da bolsa de estudos pelo FNDE, a Universidade Federal de Itajubá pela oportunidade de estudo e ao tutor do PET, por sempre estar me apoiando e ajudando nas pesquisas realizadas.

Referências

- [1] CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&language=pt&catid=3>.
- [2] ABEEólica ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA E NOVAS TECNOLOGIAS ONSHORE OFFSHORE boletim anual. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2024/07/424_ABEEOLICA_BOLETIM-ANUAL-2024_DIGITAL_PT_V3.pdf>.
- [3] INFOVENTO 34, 2024.
- [4] INFOVENTO 04, 2024.
- [5] ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Boletim Mensal de Geração
- [6] ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. IPDP – Informativo Preliminar Diário da Operação.
- [7] SOUTO, P. ONS muda metodologia em curtailment de geração eólica e solar - MegaWhat. Disponível em: <<https://megawhat.energy/geracao/cortes-de-geracao-eolica-e-solar-tera-nova-metodologia-aplicada-pelo-ons/>>.
- [8] GWEC. Global Wind Report 2024. Disponível em: <<https://gwec.net/global-wind-report-2024/>>.