

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM AEROGERADOR DE PEQUENO PORTE

Alan Roges dos Santos
Valquiria Melo Souza Correia

Resumo

Este trabalho tem como objetivo construir um projeto de aerogerador de pequeno porte que consiga uma tensão capaz de carregar uma bateria de um smartphone. Vendo que a energia eólica é uma fonte de energia renovável e limpa que vem ganhando destaque em nosso país, tivemos esta ideia de construir este projeto. Foram pesquisadas e estudadas formas de como construir este projeto, seu modelo e detalhes para dar início à sua montagem. Depois de ter em mãos todos os materiais, montamos nosso aerogerador e fizemos teste de tensão para coletar seus resultados. Utilizamos uma furadeira de bancada com a qual podíamos ter uma velocidade constante e ter resultados mais exatos. Chegamos a alcançar resultados satisfatórios e esperados, e o fluxo de vento teria que chegar aos 500 e 600 rpm médio. Logo, testamos nosso projeto em um lugar aberto e que tivesse um fluxo de vento alto. Conseguimos alcançar 3,7 V de pico, ou seja, vimos que a velocidade do vento naquele local estava entre 500 e 600 rpm e era necessário um fluxo maior de vento para chegar a nosso objetivo. Este trabalho foi de grande importância para nosso aprendizado, pois, medimos nossos conhecimentos adquiridos na área elétrica, chegamos a alcançar bons resultados e verificar o que podíamos melhorar em trabalhos futuros.

Palavras-chave: Energia eólica. Viabilidade técnica. Aerogerador de pequeno porte.

1 INTRODUÇÃO

Com a crise do petróleo na década de 1970, devido à escassez e à grande dependência de fontes de energias não renováveis, foi preciso ir em busca de energias que pudessem ser encontradas de forma abundante e cuja produção não trouxesse risco para o meio ambiente.

A energia eólica é a transformação da energia do vento (energia cinética) em energia limpa e renovável. Para a geração de eletricidade ou de energia mecânica, este processo ocorre por meio de turbinas eólicas, também conhecidas como aerogeradores, onde acontece a transformação de energia cinética de translação em energia cinética de rotação.

Para conseguir produzir energia elétrica através dos ventos é preciso de aerogeradores. Com a finalidade de converter energia cinética produzida pelo vento em energia elétrica, o vento faz mover as pás do aerogerador fazendo com que rotor gire na velocidade do vento, transmitindo esta rotação ao gerador, por sua vez convertendo energia mecânica em energia elétrica.

Com base em todas as pesquisas feitas e todos os conhecimentos aprimorados, foi feito um aerogerador de pequeno porte com a finalidade de gerar energia elétrica que pudesse carregar um aparelho de celular.

O presente trabalho foi desenvolvido no laboratório de mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), com o objetivo de criar um equipamento que produzisse energia limpa e sustentável, utilizando materiais reciclados. Assim, tivemos a ideia de fazer um aerogerador de pequeno porte, sabendo que nosso projeto teria que chegar a uma tensão de pelo menos 5 volts (V) para atingir nosso objetivo.

Com todos os materiais em mãos demos início à montagem do projeto, tendo que a maior parte dos materiais foram doados pela instituição, sendo gasto apenas com os canos de PVC e com as cantoneiras de alumínio. Montamos o aerogerador e fizemos os testes de tensão em uma furadeira de bancada, onde podíamos alterar suas velocidades e ter resultados mais constantes, pois, teríamos uma velocidade constante.

Foram encontrados bons resultados, mas com uma velocidade muito alta com um fluxo de vento de 600 rpm. Com base nisto fomos para o campo, para ver quais resultados nosso projeto alcançaria com um fluxo de vento não constante. Foi alcançado 3,7 de pico de tensão, ou seja, não se encontrava dentro dos resultados que esperávamos.

Mesmo com todas as dificuldades encontradas, conseguimos colocar nossos conhecimentos em prática e alcançar bons resultados, sabendo que podemos melhorar cada vez mais nosso trabalho e consequentemente levar todo aprendizado para a carreira profissional.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Energia eólica no contexto mundial

No contexto histórico da energia eólica, a Europa foi pioneira na utilização desta energia. Hoje esta região responde por grande parte da produção de energia eólica no mundo, visto que grande parte dos fabricantes de aerogeradores são encontrados especialmente na Alemanha e Espanha.

Segundo o Conselho Global de Energia Eólica (Global Wind Energy Council-GWEC), dados divulgados no dia 3 de abril de 2018, no seu relatório anual global de Energia Eólica, informam que 51,3 GW de energia foram adicionados neste mesmo ano,

contabilizando um total de instalações de 591 GW no mundo inteiro.

Este relatório (anual global de Energia Eólica, do Global Wind Energy Council- GWEC) prevê um crescimento nos próximos 5 anos, contando com uma capacidade de 300 GW de energia eólica, crescimento este que vem do mercado emergente da energia eólica offshore.

Em 2018, o setor eólico cresceu novamente e a eólica é agora uma das mais baratas formas de eletricidade em muitos mercados. A nova capacidade de eólica instalada em 2018 ultrapassou nova capacidade de combustível fóssil pela primeira vez em muitos mercados maduros e emergentes. Estes são fortes fundamentos para uma fonte de energia que já é principal, avalia erten Dyrholm, presidente do Conselho do GWEC.

Os números de instalação não contam, no entanto, a história toda. Abaixo da superfície, uma profunda transformação está ocorrendo em ambos os mercados (maduros e emergentes) e em nossa indústria, que irá preparar o caminho para novas instalações recordes nos próximos anos e um período de crescimento acelerado na próxima década. O principal motor desta transformação é a eólica aparecendo como uma clara vencedora de preços contra os combustíveis fósseis e nuclear, explica Ben Backwell, CEO do GWEC.

No final do ano de 2018 o mundo atingiu uma capacidade 591 GW de energia eólica instalada, totalizando um crescimento de 9,6 % ao ano. A china lidera este rank, contanto com mais de um terço da capacidade instalada desta energia no mundo. Desde 2008, este país lidera o topo do mercado de geração desta fonte de energia, totalizando em número 35% da produção mundial.

2.2 Produção de energia eólica no Brasil

A energia eólica chegou no Brasil em 1992, quando foi instalado o primeiro aerogerador em Fernando de Noronha (PE), foi o pontapé inicial para exploração desta fonte de energia no país.

No ano de 2019 a energia eólica obteve grande destaque na matriz energética brasileira com 10% de toda energia consumida no país, ficando atrás apenas da energia hidráulica com 64% no mesmo ano. Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), em 2019 o mesmo setor possuía em números 15,4 GW de capacidade instalada, 613 parques eólicos e 7536 aerogeradores em funcionamento. Mas as metas do governo é que em 10 anos este número chegue a 40 GW de potência instalada.

Estudos comprovam que um fator de bastante importância na produção de energia

eólica é o local de instalação dos parques eólicos. Hoje 90% da produção desta energia é produzida no Nordeste, local favorecido por ser privilegiado com ventos e uma região escassa em hidrelétricas. No passado esta região dependia boa parte do ano de termelétricas para abastecimento, mas hoje com a energia eólica esta dependência diminuiu.

Estimativas da ABEEólica indicam que o país contará com 21,5 GW de potência instalada em 2023. Para cumprir esta meta, o Governo Federal investirá em usinas offshore buscando aproveitar a força dos ventos nos mares. O país também conta com grande investimento na área tecnológica, onde no ano de 2018 fechou um contrato com uma empresa americana (GE) que disponibilizou a maior turbina eólica do mundo para geração de energia eólica em solo. Esta turbina tinha potência de 12 (MW) megawatts.

2.3 Produção de energia eólica no RN

Visto como o maior produtor de energia eólica do país, o Rio Grande do Norte conta com 4 (GW) gigawatts de capacidade instalada, somando 28% da produção desta fonte de energia no Brasil. Contando com mais de 1,5 aerogeradores espalhados por 30 municípios do estado e com 151 parques instalados, este investimento somou 15 bilhões nos últimos 10 anos.

Segundo o Centro de Estratégia em Recursos Naturais (CERNE), o setor eólico ocasionou a busca de novos mercados de negócios no Rio Grande do Norte, com empresas locais que surgiram ou se adequaram para capacitar e prestar serviço de mão de obra para este setor.

O Rio Grande do Norte é um dos mais atrativos para esse tipo de financiamento e há a continuidade da implantação de projetos para o estado para os próximos anos. Atento que se tratando de renováveis, o estado está apenas iniciando os projetos de geração fotovoltaica centralizada, o que vai contribuir de maneira significativa para todos os pontos listados acima, encerra (SANTOS, D. 2019).

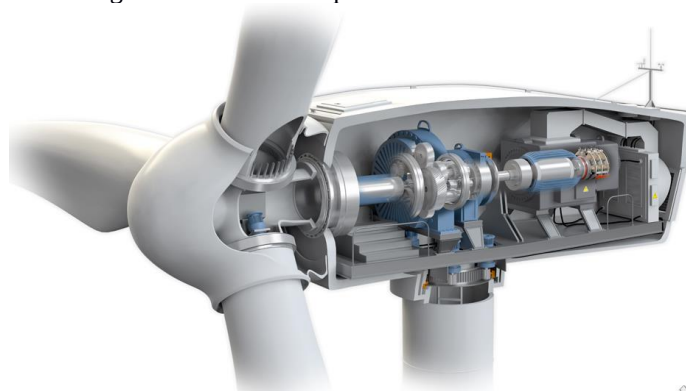
No dia 17 de outubro de 2019 foi anunciado, pelo Ministério de Minas e Energia (MME), o resultado do cadastramento de projetos para participarem do Leilão de Energia Nova A-6, onde foram habilitados 329 projetos com ofertas de 11,748 MW, apenas para o RN. Este leilão tinha como intuito buscar investimento nas áreas de fontes de energias renováveis que tivessem capacidade instalada de 1 a 50 MW de potência. O destaque foi o grande cadastramento de projetos com ofertas de mais de 100 GW que eram divididos para diversas áreas, sendo 41,7 GW de empreendimentos em termelétricos a gás natural, 29,7 GW

de empreendimentos em fotovoltaicos e 25,1 GW de empreendimentos em eólicos.

2.4 Aerogerador

Um aerogerador como conhecemos foi baseado em um moinho de vento, o qual se movimenta gerando energia através da força do vento. O vento faz mover as hélices do equipamento, passando por um processo que faz seu rotor girar transmitindo rotação ao aerogerador que transforma energia cinética do vento em energia mecânica e por sua vez é convertida em energia elétrica.

Figura 1 – Desenho esquemático de uma turbina eólica



Fonte: Turbosquid (2019).

Tabela 1 – Partes que compõe um aerogerador

Pás: captam o vento, convertendo sua potência ao centro do rotor. São construídas em processo praticamente artesanal, a partir de materiais como o plástico e a fibra de vidro. O desenho das pás emprega as mesmas soluções técnicas usadas pela Aeronáutica nos cálculos de engenharia das asas dos aviões.
Rotor: elemento de fixação das pás que transmite o movimento de rotação para o eixo de movimento lento. Um de seus principais componentes é o sistema hidráulico, que permite o movimento das pás em distintas posições para otimizar a força do vento ou parar a turbina, por exemplo.
Torre: elemento que sustenta o rotor e a nacelle na altura apropriada ao seu funcionamento. Embora a maioria das torres sejam de aço, como foram originalmente construídas, hoje já existem modelos em concreto.
Nacelle: compartimento instalado no alto da torre composto por caixa multiplicadora, freios, embreagem, mancais, controle eletrônico e sistema hidráulico. É o componente de maior peso do sistema. Dependendo do fornecedor da turbina, ela pode pesar até 72 toneladas.
Caixa de transmissão: tem a função de transformar as rotações que as pás transmitem ao eixo de baixa velocidade (19 a 30 rpm), de modo que entregue ao eixo de alta velocidade as rotações que o gerador precisa para funcionar (1.500 rpm).
Gerador: converte a energia mecânica do eixo em energia elétrica.
Anemômetro: mede a intensidade, a velocidade e a direção do vento. Estes dados são lidos pelo sistema de controle, que garante o posicionamento mais adequado para a turbina.

Fonte: Adaptado de Turbosquid (2021).

3 METODOLOGIA

O presente projeto foi feito no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Mossoró, com o intuito de fazer um aerogerador capaz de gerar energia que pudesse carregar um aparelho celular.

Foram pesquisados alguns tipos de aerogeradores no canal Milton Galego Motores no YouTube¹, buscou-se métodos e formas que pudessem dar os resultados esperados. O projeto foi desenvolvido no modelo vertical, onde era necessário que as hélices girassem conseguindo alcançar uma velocidade considerável. Este modelo foi baseado em um protótipo visto no YouTube, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Modelo do aerogerador



Fonte: Milton Galego Motores (2019).

Assim, demos início à construção do projeto, onde foram utilizados materiais reciclados, todos os materiais que têm zero na tabela abaixo foram doados, seguindo o modelo do Quadro 1. Os materiais usados foram:

¹ Disponível em: www.youtube.com/watch?v=fyyjvtgo7Yo.

Quadro 1 – Materiais utilizados na montagem do projeto

Materiais	Unidade	Tamanho	Custos (R\$)
Canos PVC 150 mm	8	94 cm de comprim.	225
Ímãs neodímio	8 peças	20 mm x 10 mm	0
Cantoneira de alumínio	8	70 cm de comprim.	56
Aro de bicicleta	1	60 cm de diâmetro	0
Fios de cobre	400 voltas	6,8 m de comprim.	0
Chapa de ferro	1	17 cm de diâmetro	0
Base de madeira	1	17 cm de diâmetro	0
Peça de tecnil	1	17 cm de diâmetro	0
Polia maior	1	24 cm de diâmetro	0
Polia menor	1	5 cm de diâmetro	0
Correia	1	96 cm de diâmetro	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Depois de ter todos os materiais em mãos, foi necessário realizar algumas mudanças no projeto, melhorias que podiam ser acrescentadas na sua parte elétrica. Em seguida, foram acrescentados neodímios (ímãs) na parte de madeira que está fixa no eixo do rotor, fazendo com que conseguíssemos um campo magnético girante que é o diferencial do nosso projeto.

Buscando aumentar a rotação no eixo, fizemos um multiplicador de voltas (caixa de transmissão), cuja função é aumentar o número de voltas dos rotores (catracas de bicicleta), multiplicando suas voltas e aumentando a força de giro de aerogerador.

Figura 3 – Multiplicador de voltas



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Fizemos toda a estrutura técnica do projeto, onde parafusamos as cantoneiras de alumínio em volta ao aro velho de bicicleta. Depois, serramos os canos de PVC ao meio na seção vertical, porque era necessário que existisse alguma curvatura no mesmo, para que o vento pudesse fazê-lo girar.

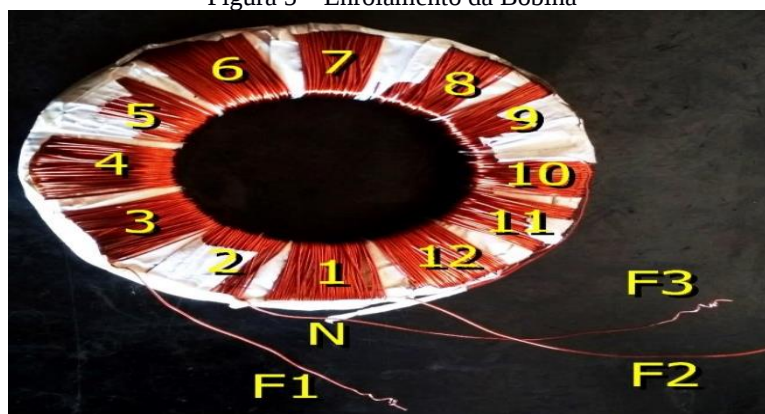
Figura 4 – Canos nas cantoneiras



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Por último, fizemos as bobinas e o esquema onde seriam acoplados os neodímios. As bobinas foram feitas no formato toroidal trifásico do tipo Y, nos dando um melhor aproveitamento e eficiência no campo magnético. Na base que seria encaixado os neodímios, juntamos toda a parte fixa (bobina) e parte móvel (neodímio) no aerogerador.

Figura 5 – Enrolamento da Bobina



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 6 – Esquema de encaixe dos neodímios



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Montamos todas as partes do aerogerador e fizemos um pequeno teste de tensão. Rodamos parte do eixo apenas com a mão, onde pela Figura 7 vemos que era necessária uma pequena força capaz de acender um led.

Figura 7 – Teste da bobina com LED



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4 ANÁLISE DE DADOS

Percebendo que quase todos os dias ou todos os dias utilizamos a energia elétrica para carregar um aparelho celular, foram utilizados cálculos para saber quanto de energia elétrica é gasta com este aparelho. Levando em consideração a potência do carregador do dispositivo em watts (W), o intervalo de tempo que o aparelho passa carregando e a tarifa da concessionária (Cosern), fizemos o cálculo para saber quanto de energia é consumida ao mês e ao ano.

E: energia consumida

Pot: potência

Δt : intervalo de tempo de uso

0,766: tarifa da Cosern

(Equação 1)

$$E = Pot \times \Delta t$$

$$\frac{22,5 \text{ W}}{1000} = 0,0225 \times 1,6h \times 30d$$

$$E = 1,08 \text{ Kwh}$$

$$1,08 \times 0,766 = 0,82 \text{ centavos (mês)}$$

$$0,82 \times 12 = 9,84 \text{ reais (ano)}$$

Sabendo que é necessária uma tensão de mais ou menos 5V para carregar um aparelho celular, fizemos um teste para ver quais resultados seriam encontrados. Sabendo que a força do vento não é constante, utilizamos o laboratório de mecânica do IFRN Mossoró, acompanhados por técnicos do laboratório e orientador do projeto.

Foi usada uma furadeira de bancada, onde podíamos alterar sua rotação sem que ela deixasse de ser constante. Para fazer o ensaio da bobina, utilizamos um multímetro analisador de qualidade, medindo a tensão gerada.

Figura 8 – Ensaio da bobina



Fonte. Elaborado pelo autor (2019).

Utilizando a furadeira de bancada, conseguimos fazer uma tabela dos resultados obtidos neste projeto. Com 4 velocidades: 200 rpm, 390 rpm, 680, rpm e 1330 rpm, podíamos controlar esta rotação e ver qual era a velocidade ideal do vento para conseguir chegar aos 5V

de tensão para carregar um aparelho de celular.

Com isto, identificamos as fases, pintando os fios de cores diferentes. Fio rosa (R), fio marrom (M) e fio branco (B), assim coletamos os testes de tensão de linha e de fase. Conseguimos alcançar resultados bastantes satisfatórios, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Tensão gerada da bobina

Velocidade	Tensão de Linha			Tensão de Fase		
	R + M	R + B	M + B	R + M	R + M	M + B
0 rpm						
200 rpm	1,3 V	1,3 V	1,2 V	0,75 V	0,75 V	0,72 V
390 rpm	2,6 V	2,4 V	2,4 V	1,5 V	1,3 V	1,4 V
680 rpm	4,5 V	4,4 V	4,4 V	2,6 V	2,5 V	2,5 V
1330 rpm	8,5 V	8,6 V	8,7 V	4,8 V	4,9 V	5 V

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Vendo nossos resultados e um bom desempenho do aerogerador, decidimos testá-lo em um local aberto, de fácil acesso e com bastante fluxo de vento. Levamos nosso projeto para um bairro de Mossoró chamado Barrocas, local onde há uma pequena barragem no local. Montamos o aerogerador no local com uma base de 3m de altura, visando encontrar um fluxo de vento com mais facilidade, conectamos um multímetro em suas três fases, fazendo o teste de tensão. Encontramos uma tensão de 3.7V de pico, percebendo que este vento estava entre 500 e 600 rpm, segundo base da Tabela 2.

Figura 9 – Aerogerador instalado



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Segundo nossos resultados encontrados em laboratório e em campo, percebemos que para chegar a uma tensão capaz de carregar um aparelho celular teríamos que ter um grande fluxo constante de vento. Verificamos que em campo com um fluxo de vento não

constante, não chegamos a resultados satisfatórios.

5 CONCLUSÃO

Destacamos nesta conclusão que obtivemos resultados bastante positivos neste projeto. Conseguimos alcançar uma tensão acima do que imaginávamos, chegando a uma tensão de pico máxima de 8,7 V com uma velocidade de 1330 rpm e um pico mínimo 8,4 V, ou seja, uma tensão que poderia carregar um celular com 5V.

Nosso objetivo era criar um aerogerador capaz de gerar uma certa tensão, encontrar uma finalidade para ele, ou servir de estudos experimentais. Com base na tensão gerada, o aerogerador poderia ser instalado em uma residência, onde tivesse um índice de vento elevado e constante. Casas de praia são bons exemplo de onde o aerogerador poderia carregar celulares e aparelhos de porte parecido, tudo isto utilizando energia renovável e economizando um pouco da energia.

Podemos concluir que este projeto foi de bastante aprendizado, pois, testamos nossos conhecimentos que foram usados nesta prática. Neste protótipo conseguimos medir nossos conhecimentos, principalmente na área elétrica e de geração de energia eólica, nos possibilitando saber mais um pouco desta área tão abrangente que pretendemos seguir.

REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA. Energia eólica ultrapassa marca de 14gw de capacidade instalada.

Agência ABEEólica, 2018. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/noticias/energia-eolica-ultrapassa-marca-de-14-gw-de-capacidade-instalada>. Acesso em: 10/10/2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Energia Eólica. In: Atlas da Energia Elétrica do Brasil: 2ª edição. Brasília: ANEEL, 2005. Disponível em:

[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: 02/10/2021.

BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. O leilão de Energia Nova (LEN) A-6 de 2019. Projetos, MME, 2019. Disponível em:

www.mme.gov.br/energiaemineracaoprobrasil/leilao-a6-2019. Acesso em: 18/05/2021.

CENÁRIOS EÓLICA. Crescimento da geração eólica no Brasil: aprendizados para a operação do SIN. Editora Brasil Energia, 2020. Disponível em:

<https://cenarioeolica.editorabrasilenergia.com.br/2020/02/28/crescimento-da-geracao-eolica-no-brasil-aprendizados-para-a-operacao-do-sistema-interligado-nacional/>. Acesso em: 02/10/2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. EPE, 2017. Disponível em: www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2026. Acesso em: 30/09/2021.

IRACEMA, L. C. P.; RAMOS, F. M.; BUENO, E. P. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 6, p. 1082, 2017. Disponível em: www.researchgate.net/publication/321262140_O_mercado_brasileiro_da_energia_eolica_impactos_sociais_e_ambientais. Acesso em: 02/10/2021.

MACHADO, P. C. **Energia Eólica: Análise Teórica E Sua Aplicação No Mundo**. 2010. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/26101?show=full>. Acesso em: 04/04/2021.

MAIS DE 50 gw de energia eólica foram instalados no mundo em 2018. **Renova Energia**, 2019. Disponível em: www.renovaenergia.com.br/Noticias/VisualizaNoticia/144. Acesso em: 30/09/2021.

MILTON GALEGO MOTORES. Turbina Eólica Vertical 2 com Tubo de PVC. **YouTube**, 2019. 9min22s. Disponível em: www.youtube.com/watch?v=fyyjvtgo7Yo. Acesso em: 23/05/2019.

RIO Grande do Norte é o maior produtor de energia eólica do Brasil. 14 ago. 2021. Disponível em: <https://agorarn.com.br/economia/rio-grande-do-norte-e-o-maior-produtor-de-energia-eolica-do-brasil/>. Acesso em: 13/10/2021.

ROBERTO, P. R. **Energias Renováveis: Energia Eólica**. Santa Catarina: Editora Unisul, 2011. Disponível em: www.researchgate.net/publication/259868038_Energia_Eolica_em_Energias_Renovaveis. Acesso em: 16/04/2021.

ROGES, A. S.; ALEX, C. C. S.; RAFAEL, S. S. S. **Desenvolvimento de um Aerogerador Caseiro**. 2019. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Eletrotécnica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2019. Acesso em: 03/04/2021.

SAIBA como funciona o aerogerador, que transforma vento em eletricidade. CGN, 2016. Disponível em: <http://atlanticenergias.com.br/saiba-como-funciona-o-aerogerador-que-transforma-vento-em-eletricidade>. Acesso em: 23/11/2020.

TURBOSQUID. 2018. Disponível em: <https://www.turbosquid.com/3d-models/3d-wind-turbine-model/755190>. Acesso em: 10/11/2021