

GERAÇÃO EÓLICA: ESTUDO SOBRE OS FUNDAMENTOS E APLICAÇÃO DA FONTE EÓLICA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Dionatan de Oliveira Machado¹, Gabriel Ramos Antunes¹, Guilherme Alves dos Santos¹, Milena Cristiane Camargo Riechel¹

dionatanom@gmail.com, gabs_ramos99@hotmail.com, guilhermepl199@gmail.com,
milenac.riechel@gmail.com

Professor orientador: Dr. Clodoaldo Schutel Furtado Neto

Coordenação de curso de Engenharia Elétrica: Marcio Jose Kams Senhorinha

RESUMO

A geração eólica a cada ano que se passa se mostra como uma das fontes geradoras de energia elétrica com excelente potencial para suprir a complementaridade do sistema energético nacional, ou seja, o Sistema Integrado Nacional (SIN), sendo destacado que esta fonte de geração é responsável por 12,5% de toda a energia elétrica gerada no ano de 2022. O fato de ser uma fonte geradora com baixo impacto ambiental, também faz com que a geração eólica tenha um destaque positivo dentre os outros tipos de geração de energia elétrica. Desta forma, compreender as características, e conhecer cada etapa da geração eólica, vem se tornado um fator muito importante para a área de Engenharia Elétrica. Portanto este trabalho buscou por meio da construção de um protótipo apresentar estas características, demonstrando as etapas da geração de energia através da fonte eólica, desde a captação da energia cinética dos ventos até a alimentação da carga final. Apresentou-se as medições, resultados e comportamentos de cada componente e demonstrou-se a viabilidade deste tipo de geração de energia elétrica, para que se alcance um desenvolvimento sustentável do setor elétrico nacional, não sendo dependente de apenas um tipo de fonte de geração de energia elétrica.

Palavras chave: Geração Eólica, Sistema Integrado Nacional, Fontes Alternativas de Energia, Fontes Renováveis.

ABSTRACT

Wind power generation, each year that passes, is one of the sources of electricity with excellent potential to supply the complementarity of the national energy system, that is, the National Integrated System (SIN), highlighting that this source of generation is responsible for 12.5% of all electrical energy generated in the year 2022. The fact that it is a generating source with low environmental impact also makes wind generation stand out among other types of electricity generation. In this way, understanding the characteristics, and knowing each step of Wind power generation, has become a very important factor for the Electrical Engineering area. Therefore, this work sought, through the construction of a prototype, to present these

characteristics, demonstrating the stages of energy generation through the wind source, from capturing the kinetic energy of the winds to feeding the final load. The measurements, results, and behaviors of each component were presented and the viability of this type of electricity generation was demonstrated, to achieve a sustainable development of the national electricity sector, not being dependent on only one type of electricity generation.

Keywords: Wind power generation, National Integrated System, Alternative Energy Sources, Renewable Sources.

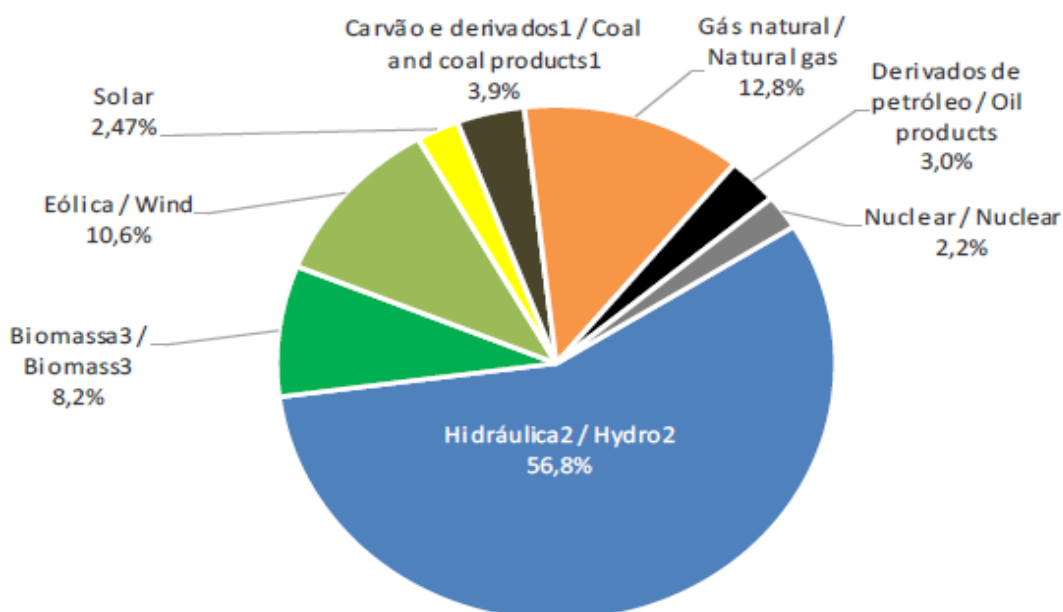
1. INTRODUÇÃO:

No Brasil, segundo o Plano Nacional de Energia 2050, realizado pela Empresa de Pesquisa Energética, junto ao Ministério de Minas e Energia, projeta-se que no ano de 2050 a demanda elétrica poderá chegar à 2100 TWh, caracterizando um aumento significativo, de cerca de 320% além do que é encontrado no cenário atual no país, tendo em vista que, o total de geração elétrica no ano de 2020, no último levantamento realizado, é de 656,1 TWh (PNE 2050, 2020).

Esse aumento iminente da demanda de energia elétrica no Brasil, se dá devido ao crescimento populacional e à maior demanda de energia elétrica por pessoa. Desta forma a busca por fontes alternativas de geração de energia elétrica tornou-se ao longo dos últimos anos um assunto de extrema importância, buscando alcançar a capacidade de suprir essa demanda. Outro fator que pesa para a busca por um outro tipo de fonte energética sustentável é a dependência de combustíveis fósseis, que são altamente poluentes, além de serem um recurso finito na natureza (CUNHA; SOUZA; TITO; NASCIMENTO, 2019).

Portanto a importância de realizar estudos sobre as características da geração eólica, se torna cada dia mais necessário, isso porque, esta fonte de geração de energia elétrica é responsável pela segunda maior geradora de eletricidade no país, com cerca de 10,6% do total de energia elétrica gerada no ano de 2021, como mostra o Balanço Energético Nacional de 2022, realizado pela Empresa de Pesquisa Energética, junto ao Ministério de Minas e Energia e a Figura 1 (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2022).

Figura 1: Total percentual de geração de energia elétrica no Brasil em 2020



Fonte: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2022

Contudo, o presente trabalho tem como objetivo geral, demonstrar por meio de um protótipo montado em laboratório, como produzir energia elétrica a partir da fonte de energia eólica induzida. Para a sequência do objetivo geral do trabalho alguns processos são necessários, onde se destacam os seguintes objetivos específicos: montar um protótipo em laboratório capaz de analisar este tipo de geração de energia, demonstrar as etapas para geração de energia eólica, realizar medições e analisar a viabilidade deste tipo de geração.

Esse trabalho justifica-se à medida que busca demonstrar a comunidade acadêmica e a sociedade em geral a importância do uso da energia eólica para suprimento da evolução da demanda energética e como fonte de energia alternativa às energias não renováveis, as quais são esgotáveis e escassas.

Quanto ao tipo de trabalho, esta é um estudo de caso, pois busca gerar conhecimentos com aplicação prática. Buscou-se, também, neste estudo demonstrar as etapas presentes na geração de energia elétrica através da fonte eólica, buscando conhecer com maior profundidade o assunto sobre este tipo de geração de modo a torná-lo mais claro; Quanto aos procedimentos este estudo foi desenvolvido em laboratório, tendo como base de pesquisa bibliográfica sites, livros e artigos gerando maior lucidez ao assunto.

2. DESENVOLVIMENTO:

Contudo para o desenvolvimento e entendimento deste trabalho, visando o melhor conhecimento sobre a geração eólica, deve-se também conhecer os seguintes tópicos:

2.1 Geração Eólica

A energia eólica, também conhecida como energia dos ventos, é basicamente a energia cinética captada pela incidência de ventos em um conversor a transformando em energia que possa ser utilizada em alguma determinada função, ou seja, contida nas massas de ar, que tem condições de ser convertida para a geração de energia útil. Historicamente, não há registros oficiais sobre o início da utilização desta fonte para algum fim específico, mas relatos que as primeiras utilizações da fonte eólica, foi no Egito, afim de movimentar barcos a vela contra a correnteza no rio Nilo (SALLES, 2004).

Há indícios também, que os moinhos de vento tiveram origem na Pérsia, por volta do século VII, sendo utilizados como moendas para moer grãos. Esta tecnologia destes moinhos, depois foram levados ao Oriente Médio e para a Índia, adequando-os para que realizassem o bombeamento das águas nos rios com finalidade de irrigar as terras para plantio (SALLES, 2004).

No continente Europeu, os moinhos de ventoso foram trazidos pelos soldados que participaram das Cruzadas, no século XII, que se interessaram pela tecnologia de utilizar os ventos como fonte de energia para a geração de um determinado trabalho, desta forma, esta tecnologia foi evoluindo, sendo no início da Idade Contemporânea, na Holanda, a função destes moinhos passaram a ser a drenagem de terras, tendo em vista que no século XV, houve um grande avanço desta tecnologia, sendo inventado a cúpula giratória, que trazia a possibilidade de adequar as pás do moinho na direção contrária aos ventos, melhorando assim a captação deste tipo de fonte energética (SALLES, 2004).

Após esses períodos e com a chegada da revolução industrial do século XIX e das máquinas a vapor, os moinhos continuaram a ser utilizados apenas em serviços agrícolas como bombeamento de água para lavoura, ou em serrarias e prensas de grãos produzindo azeite, porém suas características continuaram a ser

aprimoradas, como por exemplo a aerodinâmica de suas pás para melhor aproveitamento do vento (SALLES, 2004).

No ano de 1888, foi quando pela primeira vez a energia eólica foi utilizada para a geração de energia elétrica, isso ocorreu devido ao americano Charles Brush (1849-1929), que projetou um sistema de carregamento de baterias, capaz de gerar 12KW e contendo 144 pás. Logo após, no ano de 1891, Poul La Cour (1846-1908), destacou que ao diminuir o número de pás o sistema obtinha mais velocidade, se tornando assim mais eficiente. Na Europa, o sistema de geração de energia elétrica através da fonte eólica, chegaram no final do século XIX, sendo em 1929, foi construída a primeira turbina de grande porte, que devido a intensidade dos ventos foi destruída (SALLES, 2004).

A geração de eletricidade através dos ventos, passou a ter mais destaque a partir dos anos de 1970, devido à crise do petróleo, foi necessário buscar outras fontes alternativas para a geração de energia elétrica, sendo assim a geração eólica passou a ser uma grande componente do setor energético, tendo a sua construção mais difundida, tanto na América, como a Europa. Chegando a até competir com as fontes geradoras convencionais da época em capacidade de gerar energia elétrica por volta dos anos de 1980. Sendo melhorado o sistema dos geradores eólicos até os dias atuais (SALLES, 2004).

Outra questão importante é que a energia eólica é considerada limpa, pois para sua geração não há emissão de gases poluentes ao meio ambiente, porém ela possui alguns impactos na sua geração, sendo elas a mortes de pássaros que batem em suas pás, a emissão de ruídos e a alteração da paisagem onde estão instaladas (PURIFICAÇÃO; FONTE, 2012).

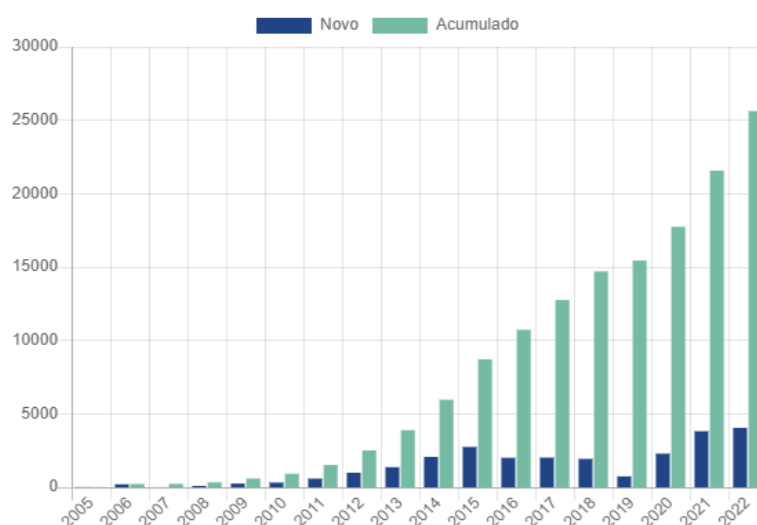
2.2 Desenvolvimento da geração eólica no Brasil

No Brasil, segundo a Abeeólica - Associação Brasileira de Energia Eólica (2022), a geração de energia elétrica no Brasil teve início no arquipélago de Fernando de Noronha, no ano de 1992, surgindo de uma parceria entre o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), com financiamento do instituto de pesquisas dinamarquês Folkecenter. Porém a geração eólica não teve um incentivo significativo neste período.

Esta fonte geradora de energia elétrica, passou a ser mais difundida no país no início dos anos 2000, quando o país passou por uma crise energética. Deste modo a necessidade de fontes alternativas de geração de energia elétrica passaram a ter seu destaque, principalmente a geração eólica, sendo criado o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA), que tinha o objetivo de contratar 1.050 MW de projetos de energia eólica até dezembro de 2003. Juntamente com esse programa, também teve início as discussões sobre a utilização na fonte eólica afim de amenizar a sazonalidade hídrica nos reservatórios (ABEEÓLICA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA, 2022).

Porém o programa PROEÓLICA não conseguiu resultados satisfatórios, sendo então substituído pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que visava incentivar o desenvolvimento de fontes alternativas de energia renováveis, sendo este um programa muito importante para a fixação da indústria de componentes e turbinas eólicas no Brasil com exigências de conteúdo nacional para os aerogeradores. Mas mesmo com o PROINFA, sendo criado naquele momento, o custo para a implementação da geração eólica era muito caro e leilões que viabilizaria esta implementação só viria anos depois, em 2009, recebendo o nome de Leilão de Energia de Reserva (LER), sendo este um marco para o desenvolvimento da geração eólica no país, que a partir deste marco houve uma grande expansão, como mostra a Figura 2 (ABEEÓLICA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA, 2022).

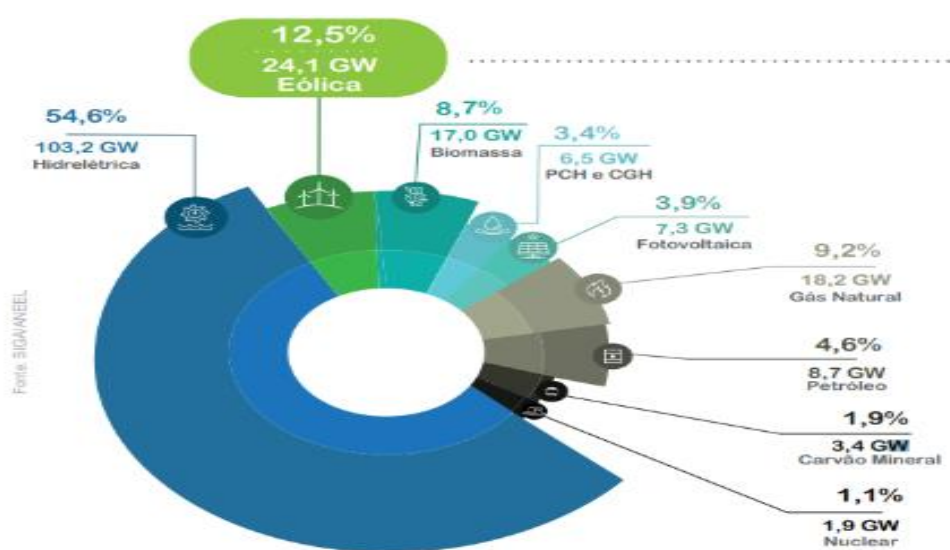
Figura 2: Evolução da Capacidade Instalada (MW)



Fonte: ABEEÓLICA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA, 2022

Nos dias atuais, segundo a Abeeólica - Associação Brasileira de Energia Eólica (2022), o Brasil conta com uma capacidade de geração instalada de 24,13 GW, com mais de 9770 aerogeradores, distribuídos por 869 parques eólicos em 12 estados do Brasil, sendo a maioria destes parques estão localizados na região Nordeste do país, devido as melhores condições dos ventos. Desta forma a distribuição na matriz energética brasileira desta distribuída desta forma, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3: Matriz Energética Brasileira em GW



Fonte: ABEEÓLICA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA, 2022

2.3 Panorama regional da energia eólica no Brasil

As regiões com maiores gerações de energia eólica são as regiões nordeste e sul do Brasil. Tendo como destaque o nordeste brasileiro que apresenta características que diferenciam este local do restante do mundo, essas diferenças evidenciam o porque desta região ser a responsável pela maior parte da geração eólica que ocorre no Brasil (SILVA, 2003).

Localizada na zona intertropical, a região nordeste possui uma incidência de radiação solar elevada durante todo ano, com uma média de radiação global de cerca de 5,9 kWh/m². Outro fator é a localização costeira e presença de chapadas e planaltos em seu relevo, o que favorece a incidência de ventos com velocidades elevadas, podendo passar de 4,0 m/s à superfície de média anual. Logo, estes

fatores são características que evidenciam a utilização desta região brasileira para o aproveitamento eólico (COSTA, 2022).

A região sul do Brasil devido a complementaridade entre os recursos eólicos e solar, também possui uma grande importância no setor eólico brasileiro, isso porque essa região possui uma boa incidência de velocidades dos ventos, além de um bom índice de irradiação global horizontal (POZZATTI; ARANHA NETO; SCUZZIATO, 2023).

A tabela 1 demonstra a geração e a representatividade por região:

Tabela 1: Geração e Representatividade da Fonte Eólica

Região	2020		2021		% de crescimento
	Geração (TWh)	Representatividade	Geração (TWh)	Representatividade	
Sudeste	0,05	0,1%	0,06	0,1%	4%
Sul	6,33	11,5%	6,20	8,7%	-2%
Nordeste	47,00	85,6%	63,20	88,7%	34%
Norte	1,50	2,7%	1,76	2,5%	17%
Total	54,88	100%	71,22	100%	29,7%

Fonte: BOLETIM ANUAL 2021, 2021

Ao analisar a cada estado, tem-se como destaque na geração eólica no ano de 2021, o Rio Grande do Norte (21,23 TWh), Bahia (21,15 TWh), Piauí (9,10 TWh), Ceará (7,91 TWh) e Rio Grande do Sul (5,63 TWh) (BOLETIM ANUAL 2021, 2021). Conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Geração por Estado - 2021 (MWmed)

REGIÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
RN	2.153,7	1.703,5	1.454,7	1.678,1	1.810,4	2.112,5	2.777,0	3.404,2	3.207,4	2.906,9	2.906,9	2.906,9
BA	2.115,3	1.272,1	1.831,7	1.948,5	2.398,0	2.589,2	2.957,9	3.175,5	2.993,1	2.533,2	2.533,2	2.533,2
PI	767,0	408,5	482,0	760,1	1.185,3	1.287,1	1.514,0	1.513,4	1.364,3	1.045,2	1.045,2	1.045,2
RS	609,9	544,1	489,3	641,1	595,8	724,2	608,6	597,8	736,3	722,0	722,0	722,0
CE	936,6	725,5	454,8	574,5	485,5	642,4	946,5	1.163,2	1.272,1	1.206,7	1.206,7	1.206,7
PE	377,5	306,5	277,0	238,3	271,8	244,6	338,4	388,9	376,3	398,3	398,3	398,3
MA	231,4	175,5	105,4	130,1	71,2	117,0	140,4	245,8	314,7	294,4	294,4	294,4
PB	62,2	45,5	44,7	48,8	57,5	59,8	75,8	93,5	153,7	154,6	154,6	154,6
SC	66,4	48,2	46,6	50,4	58,4	68,3	82,1	86,3	75,8	62,2	62,2	62,2
SE	7,4	7,9	6,4	4,0	4,7	4,3	5,2	8,1	7,7	8,1	8,1	8,1
RJ	13,3	7,0	5,1	3,0	2,8	4,0	4,4	8,4	8,7	6,7	6,7	6,7
PR	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4

Fonte: COEEL/ABEEólica

Fonte: BOLETIM ANUAL 2021, 2021

2.4 Aerogerador

O gerador eólico basicamente é composto com 3 componentes, sendo eles o rotor com as pás, a nacele e a torre. O rotor com as pás são as partes responsáveis por captar a energia provinda dos ventos, realizando a transferência da energia cinética por eles captadas para o gerador que está localizado dentro da nacele. A nacele é onde estão localizados os diversos componentes necessários para este tipo de geração: gerador elétrico, caixa multiplicadora de velocidades, eixos, mancais, mecanismos de giro da turbina e sistema de freios. Os geradores elétricos utilizados para este tipo de geração podem ser classificados de duas formas, os motores de indução (assíncronos) podem ser utilizados em caso de um sistema de caixa multiplicadora que proporciona uma rotação constante, sendo propícios para este tipo de trabalho. O outro tipo são os geradores síncronos, que possuem a capacidade de trabalho em sistemas com rotação variável (PURIFICAÇÃO; FONTE, 2012).

Os mecanismos de giro também são de extrema importância para a geração eólica, sendo que este tipo de sistema, ajuda as turbinas de eixo horizontal a se adequarem para a direção de maior incidência de ventos, otimizando assim a geração. As turbinas de eixo vertical não possuem a necessidade de possuírem este tipo de mecanismo, pois elas conseguem captar os ventos em qualquer direção. Outro componente da nacele a ser destacado é caixa multiplicadora de velocidades, isto porque ela é a responsável pela adequação da velocidade de giro do rotor para a velocidade de giro do gerador, sendo que os rotores neste tipo de geração possuem uma velocidade de giro obtida através dos ventos muito baixa, sendo necessário, um mecanismo para a elevação desta velocidade afim de adequação da mesma para os geradores (PURIFICAÇÃO; FONTE, 2012).

As turbinas da geração eólica possuem também a divisão em dois grupos, sendo elas: as turbinas de eixo vertical e horizontal. As turbinas de eixo vertical, possuem sua utilização muito atreladas ao seu melhor comportamento em ventos turbulentos, além de emitir ruídos em um nível mais baixo se comparado com as turbinas eólicas de eixo horizontal. Outro fator que pesa na sua escolha de utilização é a sua estética, sendo que esse tipo de possui uma aparência atrativa. Desta forma, os aerogeradores de eixo vertical são mais indicados para regiões urbanas ou semiurbanas (EÓLICA FÁCIL , 2020).

As turbinas de eixo horizontal são mais comuns devido à sua alta eficiência, investimento tecnológico e custo benefício. Estes tipos de turbinas, são encontradas em regiões com grandes áreas abertas, sem obstáculos atrapalhando a incidência de ventos, pois requerem vento com uma menor turbulência o possível. Normalmente composta por 3 pás, os aerogeradores de eixo horizontal podem ser classificados entre sistemas *upwind* e *downwind* (PURIFICAÇÃO; FONTE, 2012).

As turbinas *upwind*, com suas pás de maneira frontal ao vento, fazendo com que o vento incida diretamente na área de varredura do rotor pela frente da turbina. Este tipo de turbina são as mais utilizadas entre os dois modelos pois possuem a vantagem de sua torre não ser um obstáculo direto ao vento, porém como o vento já começa a desviar da torre antes mesmo de encontrá-la (pressão do ar contrária à sua direção), gerando assim um pequeno desvio em sua direção, este sistema necessita de um mecanismo de giro direcional da turbina em relação a direção do vento, ocasionando assim uma redução de potência (PURIFICAÇÃO; FONTE, 2012).

O sistema *downwind*, os ventos incidem na parte de trás da turbina eólica, ou seja, por trás das pás, desta forma a grande desvantagem deste modelo é que ela está sujeita a uma turbulência maior, se comparado com as turbinas *upwind*, isso pelo motivo que o primeiro contato será com a torre do que com as pás, a vantagem deste tipo de aerogerador de eixo horizontal é a sua construção, podendo ela ser realizada com materiais mais leves, tornando o conjunto mais flexível e barato (PURIFICAÇÃO; FONTE, 2012).

Os aerogeradores de eixo horizontal, são normalmente constituídos de 3 pás, isso porque com um número menor de pás, o sistema sofreria com um nível de ruído mais elevado, além de no caso de apenas uma pá, também haveria um desbalanceamento das turbinas, o que poderia danificar este aerogerador. Normalmente, as pás destes aerogeradores são feitas de fibra de vidro, devido a leveza, a resistência e a durabilidade deste material. A carenagem e o cone também normalmente utilizam a fibra de vidro como matéria prima, afim de melhorar o desempenho aerodinâmico do vento projetada ao redor da turbina e auxiliar na proteção dos componentes internos do aerogerador (PURIFICAÇÃO; FONTE, 2012).

2.4 Controlador de carga

O controlador de carga é um dispositivo utilizado em sistemas alternativos de geração de energia ao qual possuem baterias em sua composição, eles são utilizados para controlar a voltagem de entrada ao qual a bateria recebe, fornecendo maior segurança ao sistema (NEOSOLAR, 2022).

Os controladores de cargas possuem a sua função comparada a um regulador de tensão, isso porque, ele realiza um controle de tensão, evitando na entrada da bateria se tenha sobrecarga ou descargas excessivas, fazendo com que o uso de baterias neste tipo de sistema seja otimizado, prolongando a vida útil deste dispositivo de armazenamento de energia (NEOSOLAR, 2022).

2.5 Inversor senoidal

Os inversores são componentes utilizados afim de realizar a conversão da tensão DC recebido do controlador de carga em tensão Ac em níveis adequados para o abastecimento das cargas (NEOSOLAR, 2023).

Normalmente os tipos de inversores senoidais utilizados são de dois tipos. Os Inversores de Onda Senoidal Modificada, que produz uma onda senoidal intermediária entre a quadrada e a senoidal pura. Sua desvantagem esta destacada em aparelhos que exigem uma onda senoidal pura, ou seja, aparelhos com controle de velocidade ou *timers*, cada vez mais comuns, podem não funcionar adequadamente. Este tipo de inversor é indicado para pequenas instalações (NEOSOLAR, 2023).

O outro tipo é o Inversor de Onda Senoidal Pura, que produz uma onda senoidal praticamente perfeita, sendo esta muitas vezes até mais limpa do que a onda senoidal fornecida pela rede elétrica convencional. Podendo ser utilizados para a alimentação de qualquer aparelho, sua desvantagem está no seu custo mais elevado (NEOSOLAR, 2023).

2.6 Conversor DC – DC

O Conversor DC-DC, conhecido também como controle do inversor *Chopper* (*Chopper Control*), é utilizado quando um equipamento necessita de uma tensão

contínua de valor diferente da que está sendo fornecido pela fonte energética, ou seja, a tensão disponível de um retificador fixo ou de uma bateria elétrica se difere do que a carga exige, sendo necessária uma adequação na tensão de alimentação (LOCATELLI, 2021).

Esta conversão é realizada utilizando o método de modulação por largura de pulso (*pulse width modulation*, PWM). Em outras palavras, o Conversor DC-DC mantém a corrente de forma contínua, realizando apenas a amplificação ou redução de tensão (LOCATELLI, 2021).

2.7 Voltímetro/Amperímetro

O Voltímetro/Amperímetro possuem a responsabilidade de realizarem a medição das grandezas referentes a diferença de potencial entre dois pontos que é medido pelo voltímetro e da corrente elétrica que passa por essa malha que é medido pelo amperímetro (FALCONÍ, 2019).

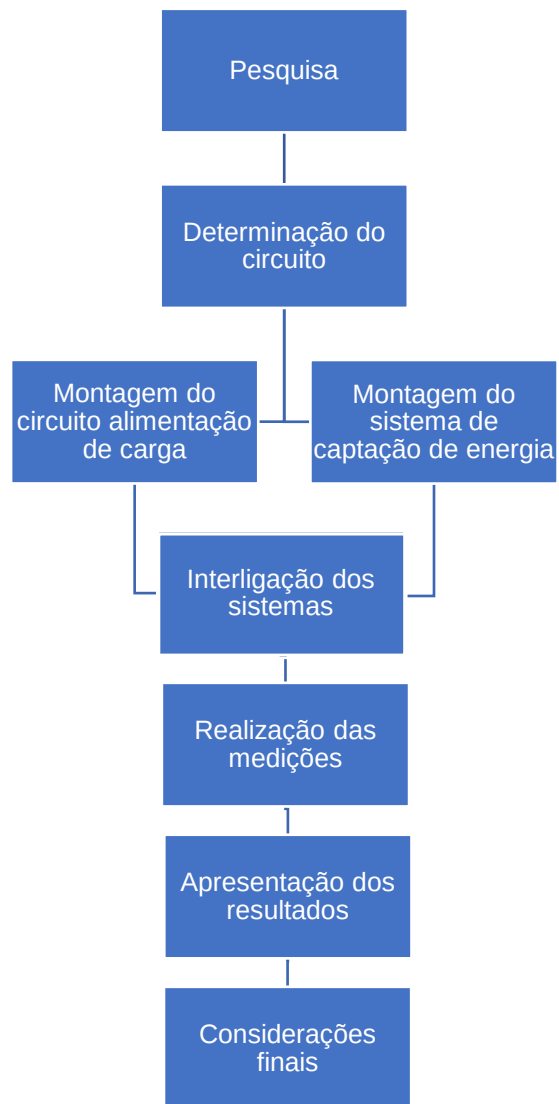
O voltímetro, responsável por medir a diferença de potencial, ou seja, a tensão entre dois pontos, deve ter sua ligação em paralelo ao ponto a ser medido (FALCONÍ, 2019).

Já o amperímetro possui o comportamento oposto, ou seja, para realizar a sua medição este equipamento de medição deve estar ligado em série com a malha em que se deseja realizar a medição (FALCONÍ, 2019).

3 MATERIAIS E MÉTODOS:

O presente estudo obedeceu a seguinte ordem de trabalho, conforme mostrado na Figura 4:

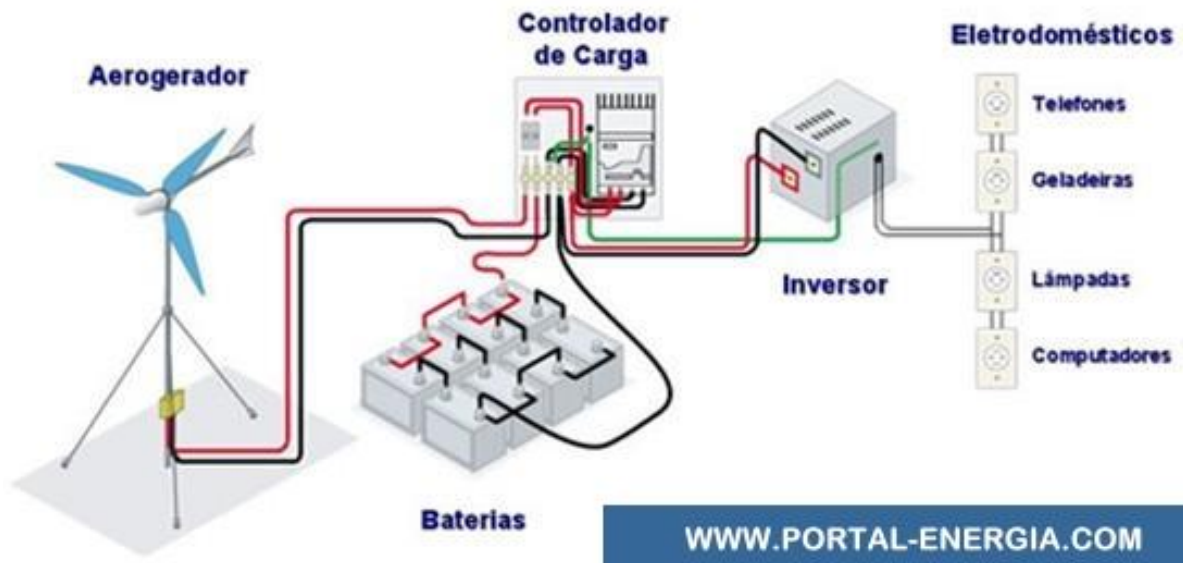
Figura 4: Fluxograma do processo de montagem do protótipo eólico



Fonte: Os Autores, 2023

Primeiramente, realizou-se a maneira de montagem de um circuito capaz de demonstrar as características da geração eólica, analisando a possibilidade de replicação em laboratório, com seus componentes e afins. O circuito encontrado que se adequou a este objetivo está evidenciado na Figura 5.

Figura 5: Diagrama de Sistema Micro Eólico Isolado



Fonte: Reis, 2018

Para início da montagem do circuito, primeiramente utilizou-se uma prancha em MDF, para a instalação do circuito de simulação do sistema eólico. Desta forma, com o auxílio da Cortadora a Laser ST 100W CNC, desenhou-se o circuito nesta placa, destacando o espaço de cada componente em seu *layout*. A Figura 6 demonstra a realização deste processo.

Figura 6: Processo de criação do *layout* da placa em MDF



Fonte: Os Autores, 2023

Após a adequação do *layout* da prancha de MDF, deu-se início a instalação de cada componente, tendo como a primeira etapa a instalação de um disjuntor de 25A na entrada do sistema, logo após foi adicionado o controlador de carga Phocos CX 10, tendo em vista que este componente é elo entre a bateria, o inversor

senoidal, o voltímetro e o disjuntor ligado ao aerogerador. Ficando destacado que este dispositivo tem a responsabilidade de auxiliar no aproveitamento da energia eólica gerada pelo aerogerador, diminuindo os riscos ao sistema. A Figura 7 demonstra o controlador de carga CX 10.

Figura 7: Controlador de Carga CX 10



Fonte: Os Autores, 2023

Em seguida realizou-se a instalação do inversor senoidal com potência máxima de 300 W para que a energia gerada possa ser aproveitada, tendo em vista que as cargas finais no Brasil têm como padrão a frequência de 60 Hz. Este dispositivo tem como função adequar o nível de tensão esperado na saída, recebendo uma tensão de 12 Vcc em sua entrada e fornecendo em sua saída uma tensão de aproximadamente 110 Vca, sendo possível assim alimentar a carga final do circuito. A Figura 8 demonstra o inversor senoidal utilizado.

Figura 8: Inversor de Onda Senoidal Modificada



Fonte: Os Autores, 2023

Neste circuito foram adicionados três voltímetros/amperímetros, sendo estes localizados em locais estratégicos para a medição da tensão e na corrente no sistema, o componente de medição, foi adicionado logo após ao disjuntor de entrada, tendo a função de medir qual a tensão e a corrente fornecida do aerogerador. O segundo dispositivo foi adicionado na saída do controlador de carga para o inversor, medindo demonstrando qual a tensão está sendo fornecida após a atuação deste componente, afim de se obter maior segurança no sistema. O terceiro equipamento medidor foi adicionado após o inversor senoidal, este por fim tendo a função de medir a tensão e a corrente de saída do circuito. A Figura 9 demonstra o voltímetro/amperímetro.

Figura 9: Voltímetro/Amperímetro



Fonte: Os Autores, 2023

Instalou-se uma bateria de 12V ao sistema, esta bateria faz com que o sistema seja mais estável, diminuindo os danos causados pela sazonalidade do sistema, ou seja, em plena geração, esta bateria se carrega e se descarregando em um momento posterior quando a geração alcançar um baixo nível, sendo assim a energia armazenada auxilia na composição da geração. A Figura 10 demonstra a bateria utilizada.

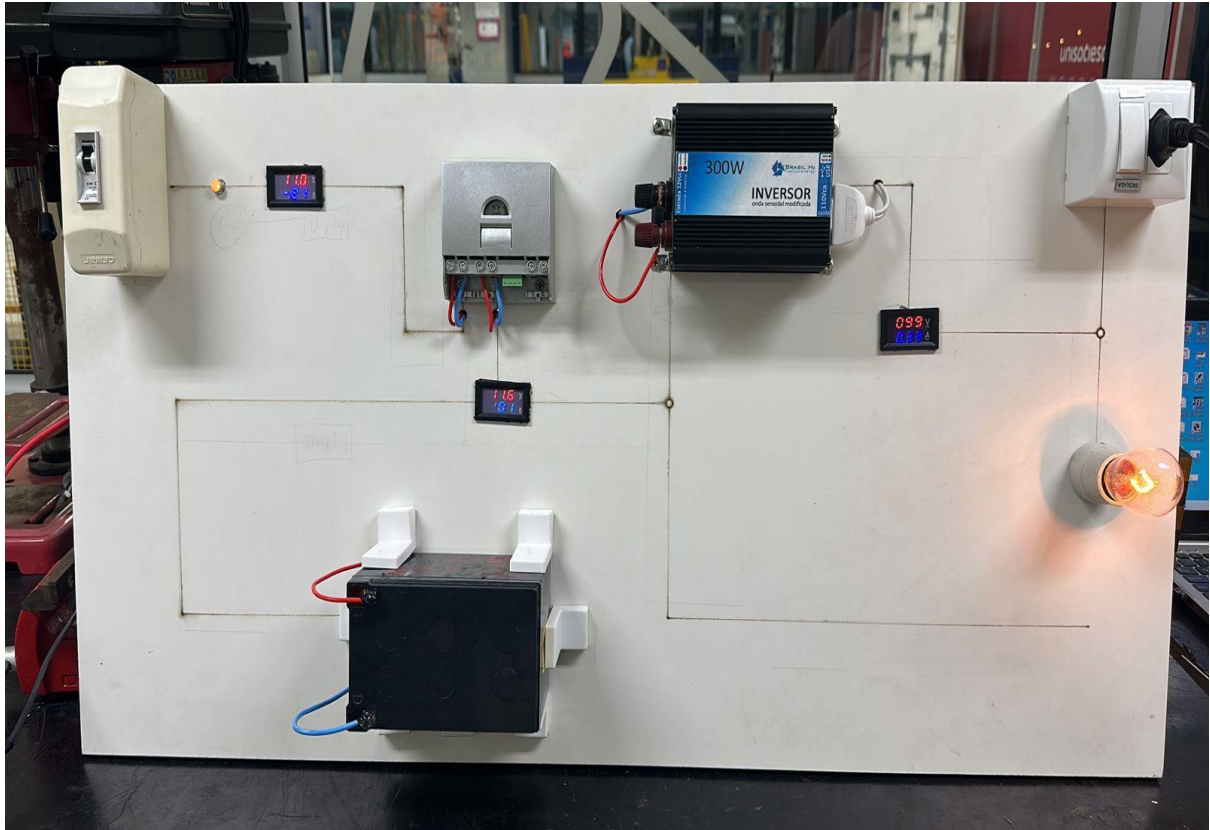
Figura 10: Bateria 12V



Fonte: Os Autores, 2023

Finalizando o circuito adicionou-se a carga final, sendo esta composta por uma tomada e uma lâmpada incandescente 60 W que foi instalada ao final do circuito. Desta forma o circuito final está destacado na Figura 11.

Figura 11: Circuito montado do Sistema Micro Eólico Isolado



Fonte: Os Autores, 2023

Após finalizar a montagem do circuito do sistema micro eólico isolado, realizou-se a ligação do aerogerador modelo *Air 40* com o restante do sistema. Após essa ligação, identificou-se que este gerador fornece em sua saída a tensão de 6 Vcc, desta forma, para realizar esta interligação ao sistema foi necessário a utilização de um conversor DC – DC *step up*, afim de elevar a tensão fornecida para 12V, se adequando assim a voltagem de trabalho do circuito montado, sendo está a última montagem a ser realizada, conforme mostra a Figura 12.

Para a produção dos ventos no aerogerador utilizou-se um ventilador, para que desta forma se possa realizar os experimentos e medições necessários.

Figura 12: Circuito montado do Sistema Micro Eólico Isolado com o Aerogerador



Fonte: Os Autores, 2023

Após o termino da montagem, deu-se início a realização dos testes, sendo eles: à vazio sem banco de baterias, à vazio com banco de baterias e com carga no circuito alternado (lâmpada e *notebook*). Também foram realizadas testagens sem a fonte geradora, analisando os resultados do circuito em relação a bateria, sendo efetuado testes com carga e sem carga.

O primeiro teste realizado foi à vazio sem banco de baterias, sendo basicamente a ligação do circuito sem que haja cargas para o sistema alimentar, ou seja, neste teste o sistema não possui o carregamento de baterias e nem a carga Ac após o inversor senoidal pra ser alimentada.

O segundo teste a ser realizado foi à vazio com banco de baterias, verificando qual o comportamento do sistema ao se acoplar a bateria a ele, verificando diferenças de tensões e correntes em cada um dos casos.

E por fim, o último teste realizado com a fonte geradora foi com carga no circuito alternado (lâmpada e *notebook*), ou seja, esse teste se encarregou de demonstrar o comportamento do sistema tendo plena carga acoplada a ele, carregando a bateria e alimentando uma carga após a saída alternada do inversor senoidal.

A primeira testagem somente com o sistema de armazenamento energético, foi sem carga, verificando se o sistema se mantinha mesmo sem a fonte geradora para alimentá-lo.

E por fim o teste do sistema somente com a bateria com a carga, para verificar como o sistema de bateria se comporta e qual a viabilidade de sua utilização. Desta forma após a realização de todas as testagens, iniciou-se a análise dos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Inicialmente, este projeto teve como objetivo principal demonstrar por meio de um protótipo montado em laboratório, como produzir energia elétrica a partir da fonte de energia eólica induzida.

Portanto observa-se que esta montagem foi realizada de maneira satisfatória, sendo esse sistema capaz de realizar o carregamento da bateria acoplada ao sistema, além da bateria, as cargas ao quais foram testadas não tiveram seu funcionamento comprometido, o que demonstra que este protótipo possui exatamente o comportamento esperado.

As etapas para a geração deste tipo de energia, também são fatores a serem destacados neste trabalho, sendo iniciadas na captação dos ventos através do aerogerador, passando por conversões e adequações de níveis de energia e por fim o fornecimento de energia alternada a carga final.

Verificou-se durante a montagem que a maior dificuldade na geração eólica é a adequação dos níveis de energia com o restante do sistema, sendo necessário a utilização de componentes capazes de realizar esta adequação, para que não haja dano ao sistema energético ao qual a energia gerada será acoplada. Porém em contrapartida a essa dificuldade, está a viabilidade da utilização da energia dos ventos, sendo ela uma energia renovável e com baixo impacto ambiental, se tornando assim uma excelente opção para a geração de energia.

Os resultados obtidos através dos ensaios realizados com o aerogerador atuando, medidas estas realizadas pelos voltímetros contidos neste circuito, estão apresentados na Tabela 3 e na Tabela 4:

Tabela 3: Medições de tensões coletados nos ensaios com o aerogerador

Ensaio	Voltímetros/Amperímetros (Tensão)		
	na Entrada	Entrada do Inversor	Pós inversor senoidal
À vazio	12,1 Vcc	12,1 Vcc	100 Vca
Com a bateria acoplada	12,1Vcc	12,1Vcc	100Vca
A plena carga (Lâmpada)	12,1 Vcc	12,0 Vcc	100 Vca
A plena carga (<i>Notebook</i> sem carregamento da bateria)	12,1 Vcc	12,0 Vcc	100 Vca
A plena carga (Lâmpada e <i>Notebook</i>)	12,0 Vcc	11,8 Vcc	99 Vca

Fonte: Os Autores, 2023

Tabela 4: Medições de correntes coletadas nos ensaios com o aerogerador

Ensaio	Voltímetros/Amperímetros		
	na Entrada	Entrada do Inversor	Pós inversor senoidal
À vazio	0,30 Acc	0,30 Acc	0 Aac
Com a bateria acoplada	0,47 Acc	0,30 Acc	0 Aac
A plena carga (Lâmpada)	1,64 Acc	1,61 Acc	0,14 Aac
A plena carga (<i>Notebook</i>)	1,74 Acc	1,71 Acc	0,14 Aac
A plena carga (Lâmpada e <i>Notebook</i>)	2,85 Acc	3,15 Acc	0,25 Aac

Fonte: Os Autores, 2023

Com os valores apresentados, nota-se que há apenas pequenas variações, sendo elas evidenciadas apenas pelo medidor próximo a entrada da bateria, porém esta pequena variação não é capaz de gerar dano algum ao sistema, sendo o valor com maior discrepância encontrado foi no teste a plena carga com o notebook e a lâmpada acoplados, encontrando o valor de 11,8 V, nos demais testes, a tensão encontrada foi de aproximadamente 12 V. Isso demonstra que o sistema é confiável e seguro, apresentados os resultados esperados, além da viabilidade que este tipo de geração possui para a composição do sistema elétrico brasileiro.

Em relação a corrente, também é demonstrado algumas variações, sendo que elas são justificadas pela necessidade de alimentação da carga, ou seja, com o

sistema tendo que alimentar uma carga, faz-se necessário que o sistema possua uma maior potência, desta forma, como a tensão é praticamente constante, a variável que se altera para esse fornecimento de potencial é a corrente, sendo assim a corrente se eleva afim de abastecer todo o sistema. Ressalta-se que, no teste à vazio, a corrente apresentada de 0,30 A, é causada devido ao inversor, que exige esta corrente para seu funcionamento. Também vale destacar que o carregamento da bateria carece de uma corrente de apenas 0,17 A.

Os ensaios para demonstração do comportamento do circuito, desacoplando o aerogerador e utilizando pelo apenas a alimentação por meio de baterias, está destacado no Tabela 5 e na Tabela 6.

Tabela 5: Medições de tensões coletados nos ensaios com alimentação da bateria

Ensaio	Voltímetros/Amperímetros		
	na Entrada	Entrada do Inversor	Pós inversor senoidal
À vazio	0 Vcc	11,9 Vcc	99 Vca
A plena carga (Lâmpada)	0 Vcc	11,6 Vcc	99 Vca
A plena carga (Lâmpada e Notebook)	0 Vcc	11 Vcc	99 Vca

Fonte: Os Autores, 2023

Tabela 6: Medições de correntes coletadas coletados nos ensaios com alimentação da bateria

Ensaio	Voltímetros/Amperímetros		
	na Entrada	Entrada do Inversor	Pós inversor senoidal
À vazio	0 Acc	0,30 Acc	0 Aac
A plena carga (Lâmpada)	0 Acc	1,74 Acc	0,13 Aac
A plena carga (Lâmpada e Notebook)	0 Acc	3,50 Acc	0,28 Aac

Fonte: Os Autores, 2023

Os resultados obtidos utilizando apenas a alimentação por meio do banco de baterias demonstrou um comportamento muito parecido ao sistema completo, sendo que a diferença se deu por conta que na entrada do circuito, que não havia alimentação, com isso tanto a corrente quanto a tensão, tiveram seus valores

zerados, havendo medições apenas nos medidores de saída e na entrada no inversor.

5 CONCLUSÃO:

Tendo em vista a necessidade de estudo e compreensão em relação a fontes alternativas de energia elétrica, afim da complementaridade do Sistema Integrado Nacional, que a fonte eólica é um tipo de energia renovável, ou seja, não proporciona grandes impactos ambientais, e que ela é a segunda maior fonte geradora de energia elétrica no país com 12,6% de toda geração nacional.

A realização deste projeto demonstrou as principais características e apresentou qual as etapas de conversão desta energia para que o consumidor final tenha a possibilidade de ser abastecido por ela.

Os resultados alcançados neste trabalho estiveram dentro das expectativas, isto é, os componentes presentes no circuito que alimentou as cargas propostas obtiveram o comportamento esperados.

O aerogerador ao ser exposto a incidência dos ventos, causados pelo ventilador, foi capaz de gerar energia suficiente para o carregamento das baterias e alimentar as cargas ao sistema imposta, sendo assim conclui-se que os resultados obtidos foram condizentes do que o esperado. Destacando a viabilidade da geração de energia através da fonte eólica. Destaca-se também a importância do uso do banco de baterias, que ao desacoplar a carga, foi capaz de alimentar as cargas, trazendo mais confiabilidade ao sistema e amenizando a sazonalidade deste tipo de geração.

Portanto, conclui-se que a geração eólica possui uma boa confiabilidade, proporcionando um bom complemento a geração de energia elétrica no Brasil. Auxiliando a suprir a demanda energética presente no mundo.

6 AGRADECIMENTOS:

Agradecemos primeiramente a Deus por ser nossa fonte de inspiração e proporcionar-nos o apoio necessário para as conquistas de nossas vidas e realização deste projeto.

Ao Prof. Dr. Clodoaldo Schutel Furtado Neto, cuja dedicação e paciência serviram como pilares de sustentação para a conclusão deste trabalho, nos auxiliando ao longo deste projeto.

As nossas mães, pelo carinho, afeto, dedicação e cuidado que nos deram, durante toda a nossa existência. Por serem a mola propulsora que permitiram o nosso avanço, mesmo durante os momentos mais difíceis, sendo mulheres batalhadoras, sempre buscando o melhor para nossas famílias.

Aos demais professores desta instituição, pelas correções e ensinamentos que nos permitiram apresentar um melhor desempenho em todo nosso período ao qual estivemos cursando o curso de Bacharel em Engenharia Elétrica na UNISOCIESC.

7 REFERÊNCIAS:

ABEEÓLICA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Energia eólica: os bons ventos do brasil**. 2022. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/>. Acesso em: 10 maio 2023.

ABEEÓLICA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **O setor**. 2022. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/energia-eolica/o-setor/>. Acesso em: 10 maio 2023.

Balanço Energético Nacional 2022. Brasília - DF: Empresa de Pesquisa Energética, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 06 maio 2023.

Boletim Anual 2021. São Paulo - SP: Abeeólica - Associação Brasileira de Energia Eólica, 2021. Anual. Disponível em: file:///C:/Users/Leonardo%20Henrique/Downloads/ABEEOLICA_BOLETIMANUAL-2021_PORT.pdf. Acesso em: 13 maio 2023.

COSTA, Patrícia Catarine de Sousa. **Tendências e ciclos médios da velocidade do vento e complementaridade energética em regiões próximas à empreendimentos eólicos no nordeste do brasil**. 2022. 70 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Mestrado em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/48422/1/Tendenciasciclosmedios_Costa_2022.pdf. Acesso em: 11 maio 2023.

CUNHA, Bruno Gomes; SOUZA, Edna Cordeiro de; TITO, Thâmmara Lariane Henriques; NASCIMENTO, José Jefferson da Silva. **Eficiências e efetividades de sistemas geotérmicos para geração de energia: uma revisão**. 2019. 19 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande - PB, 2019.

EÓLICA FÁCIL. **Turbinas eólicas de eixo vertical**. [S. /], 2020. Disponível em: <https://www.eolicafacil.com.br/eixo-vertical>. Acesso em: 10 maio 2023.

FALCONÍ, Edwin Vinicio Machado. **“Implementación de un prototipo de visualización digital inalámbrica mediante un head mounted display monocular para un voltímetro/amperímetro de corriente directa”**. 2019. 120 f. TCC (Graduação) - Curso de Ingeniería En Electrónica, Control y Redes Industriales, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba – Equador, 2019. Disponível em: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13507/1/108T0289.pdf>. Acesso em: 27 maio 2023.

LOCATELLI, Caroline. **Tipos de conversores dc dc**. 2021. Disponível em: <https://curtocircuito.com.br/blog/conversor-dcdc/introducao-aos-conversores-dc-dc#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20um%20Conversor%20DC%2DDC%20ou%20Chopper,-Segundo%20o%20livro&text=Para%20realiza%C3%A7%C3%A3o%20deste%20tipo%20de,tens%C3%A3o%2C%20como%20veremos%20mais%20adiante..> Acesso em: 26 maio 2023.

NEOSOLAR (Brasil). **Controlador De Carga - Energia Solar**. 2022. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/controlador-de-carga-solar>. Acesso em: 25 maio 2023.

NEOSOLAR (Brasil). **Inversor Solar - Inversor Off Grid - Inversor On Grid**. 2023. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/inversores-ou-conversores#:~:text=Inversores%20de%20Onda%20Senoidal%20Pura,utilizados%20virtualmente%20com%20qualquer%20aparelho..> Acesso em: 26 maio 2023.

PNE 2050. Brasília - DF: Empresa de Pesquisa Energética, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: 06 maio 2023.

POZZATTI, Luis Felipe *et al.* **Avaliação de uma central geradora associada, formada pela integração de uma usina fotovoltaica a um parque eólico, na região sul do brasil**. Peer Review, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 63-87, 24 mar. 2023. Uniao Atlântica de Pesquisadores. <http://dx.doi.org/10.53660/239.prw416>.

PURIFICAÇÃO, LUERLES SILVA DA; FONTE, RODRIGO BORGES DELLA. **Estudo de turbinas eólicas verticais com exemplo de dimensionamento de uma turbina eólica darrieus para aplicação em edifícios**. Orientador: Prof. Juan Sérgio Romero Saenz. 2012. 102 p. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, Vitória - ES, 2012.

REIS, Pedro. **Componentes e aplicações de um sistema micro-eólico**. 2018. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/componentes-e-aplicacoes-de-um-sistema-micro-eolico/>. Acesso em: 01 maio 2023.

SALLES, Ana Cláudia Nioac de. **Metodologias de análise de risco para avaliação financeira de projetos de geração eólica**. 2004. 93 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Econômicas - Doutorado em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 2004. Disponível em:

http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Ana_Claudia_Nioac_de_Salles.pdf. Acesso em: 10 maio 2023.

SILVA, Gustavo Rodrigues da. **Característica de vento da região nordeste: análise, modelagem e aplicação para projetos de centrais eólicas**. 2003. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5432/1/arquivo7341_1.pdf. Acesso em: 08 maio 2023.