

**FACULDADE DOCTUM
ANGÉLICA UIARA SANTOS**

ANÁLISE DE AEROGERADORES DE SISTEMAS DE ENERGIA EÓLICA

Juiz de Fora
2018

ANGÉLICA UIARA SANTOS

ANÁLISE DE AEROGERADORES DE SISTEMAS DE ENERGIA EÓLICA

Monografia de Conclusão de Curso, apresentada ao curso de Engenharia Elétrica, Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador (a): Prof. Me. Eng Marlon Lucas Gomes Salmento

Juiz de Fora
2018

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Faculdade Doctum/JF

Santos, Angélica Uiara.
Análise de aerogeradores de sistemas de energia
eólica / Santos, Angélica Uiara.
54 folhas.

Monografia (Curso de Engenharia Elétrica) –
Faculdade Doctum Juiz de Fora.

1. Geração Eólica 2. Aerogerador 3. Energia
Alternativa 4. Sustentabilidade
Análise de aerogeradores de sistemas de energia
eólica. Faculdade Doctum Juiz de Fora

ANGÉLICA UIARA SANTOS

ANÁLISE DE AEROGERADORES DE SISTEMAS DE ENERGIA EÓLICA

Monografia de Conclusão de Curso, submetida à Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovada pela seguinte banca examinadora.

Prof. Me. Eng Marlon Lucas Gomes Salmento
Orientador (a) e Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Prof. Eng. Me. Luis Gustavo Schroder e Braga
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Prof. Eng. Me. Renato Ribeiro Aleixo
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Examinada em: ___/___/___.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a nosso Senhor Deus, por me proporcionar a força de vontade de conquistar um diploma de curso superior em Engenharia Elétrica.

Também agradeço aos meus pais Raimundo Santos e Helena Marques que estão no céu apreciando minha conquista, eles são os responsáveis pela pessoa que sou hoje.

Sou grata de mesmo modo as minhas irmãs Fernanda, Debora e Ana Paula que me ajudaram, incentivaram e inspiraram, através de gestos e palavras a superar todas as dificuldades.

Gratifico da mesma forma aos meus amigos que me apoiaram a lutar e celebraram cada conquista realizada com um sorriso no rosto

Deixo aqui o meu muito obrigada a minha grande amiga e companheira de sala de aula, que Deus colocou no meu caminho e a faculdade me apresentou Hellemn Cardoso. Sem ela a caminhada seria mais difícil.

Ao meu orientador Professor Mestre Engenheiro Marlon Lucas, obrigada pela paciência e dedicação durante toda essa jornada.

Para finalizar minha gratidão, reconheço de coração a todos os professores, amigos e familiares que me inspiraram, apoiaram, incentivaram e celebraram com muita alegria cada conquista concluída nessa minha caminhada de 5 anos de faculdade. Sem vocês a caminhada seria muito difícil.

RESUMO

SANTOS, ANGÉLICA UIARA. **Análise de Aerogeradores de Sistemas de Energia Eólica**. Número de folhas 54. Monografia de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Elétrica. Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2018.

A utilização dos ventos como uma fonte inesgotável passou a atender os requisitos necessários para classificação de energia alternativa, sustentável e limpa, tornando-se assim, uma crescente fonte de geração de energia elétrica, sendo que para a aplicação de um parque eólico este recurso deve ser estudado de acordo com a velocidade mínima e máxima estipulada pela tabela de Beaufort. Neste trabalho é analisado a história, crescimento e aplicação da energia eólica e aerogeradores que são identificados nos sistemas isolados, híbridos, interligados e off-shore, também são apresentados os principais modelos de aerogeradores presentes no mercado, destacando-se as unidades eólicas de velocidade fixa e variável, que são compostas por geradores síncronos e assíncronos. Diante dos itens acima citados, é proposto neste trabalho um estudo sobre o crescimento do sistema eólico.

Palavras-chave: Geração Eólica. Aerogerador. Energia Alternativa. Sustentabilidade

ABSTRACT

The use of wind as an inexhaustible source has now met the requirements for classification of alternative, sustainable and clean energy, becoming, therefore, a growing source of electric energy generation, and for the application of a wind farm this resource must be studied according to the minimum and maximum speed stipulated by the Beaufort table. In this work we analyze the history, growth and application of wind energy and wind turbines that are identified in the isolated, hybrid, interconnected and off-shore systems, we also present the main wind turbine models present in the market, fixed and variable, which are composed by synchronous and asynchronous generators. Considering the above mentioned items, a study on some basic topics for a brief knowledge of the wind system is proposed in this work.

KEYWORDS: Wind Generation. Wind turbine. Alternative Energy. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – James Blyth e o primeiro aerogerador.	17
Figura 2– Aerogerador criado por Charles Brush.....	18
Figura 3– Johannes Juul e o primeiro aerogerador corrente alternada.	19
Figura 4 – Evolução do potencial de energia eólica instalado no mundo de 1996 a 2016.	20
Figura 5 - Distribuição de parques eólicos em operação, construção e contratados.	23
Figura 6 - Evolução da Capacidade Instalada.....	24
Figura 7– Configuração do Sistema Eólico Isolado.....	27
Figura 8 – Configuração do Sistema Eólico Híbrido.....	28
Figura 9 – Sistema Interligado um Aerogerador.....	29
Figura 10 – Sistema Interligado Conjunto Aerogerador.	29
Figura 11 – Sistema Off-Shore.....	30
Figura 12– Potência do Vento x Velocidade do vento.....	34
Figura 13 - Composições de Turbinas Eólicas.	36
Figura 14 – Turbina Eólica.	36
Figura 15 – Configuração de uma unidade eólica moderna.....	37
Figura 16 – Exemplos de turbinas eólica (da esquerda para a direita: pequena, média e grande).	38
Figura 17 – Gerador com Velocidade Fixa.	41
Figura 18 – Gerador com velocidade constante.....	42
Figura 19 – Aerogerador Tipo A.	44
Figura 20 – Aerogerador Tipo B.....	45
Figura 21 – Aerogerador Tipo C.....	46
Figura 22 – Aerogerador Tipo D.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Potência instalada de energia eólica, mundialmente – final 2015.	21
Tabela 2 – Primeiras Instalações de turbinas eólicas no Brasil.....	22
Tabela 3 – Principais complexos e parques eólicos no Brasil.	25
Tabela 4 – Escala de Beaufort para magnitude dos ventos.	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEOLICA	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA
ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ANEEL	AGÊNCIA NACIONAL DE ELÉTRICA
BA	ESTADO DA BAHIA
CE	ESTADO DP CEARÁ
CELPE	COMPANHIA ENERGÉTICA DE PERNAMBUCO
FSWT	FIXED SPEED WIND TURBINES
INMET	INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
MG	ESTADO DE MINAS GERAIS
PR	ESTADO DO PARANÁ
PROEÓLICA	PROGRAMA EMERGENCIAL DE ENERGIA EÓLICA
PROINFA	PROGRAMA DE INCENTIVOS ÀS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA
RN	ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
SC	ESTADO DE SANTA CATARINA
SIN	SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL
UNESP	UNIVERSIDADE ESTATUAL PAULISTA
VSWT	VARIABLE SPEED WIND TURBINES

LISTA DE SÍMBOLOS

%	PORCENTAGEM
h_0	ALTURA INICIAL
v_0	VELOCIDADE DO VENTO CONHECIDO NA ALTURA (m/s)
<	MENOR QUE
>	MAIOR QUE
μ	COEFICIENTE DE ETRITO DO VENTO
a.C.	ANOS ANTES DE CRISTO
AC	CORRENTE ALTERNADA
ASC	GERADOR ASSINCRONO
CSC	CONVERSOR DO TIPO FONTE DE CORRENTE
DC	CORRENTE CONTÍNUA
GSC	CONVERSOR REFERENTE AO LADO DA REDE
GW	POTÊNCIA ELÉTRICA GIGAWATT
h	ALTURA FINAL
Kg	QUILOGRAMAS OU KILO
Kw	POTÊNCIA ELÉTRICA QUILOWATT
M	METRO
m ²	METRO QUADRADO
m ³	METRO CÚBICO
MSC	CONVERSOR REFERENTE AO LADO DA MÁQUINA
MW	POTÊNCIA ELÉTRICA MEGAWATT
RSC	CONVERSOR REFERENTE AO LADO DO ROTOR
S	SEGUNDOS
SG	GERADOR SÍNCRONO
VSC	CONVERSOR DO TIPO FONTE DE TENSÃO
W	POTÊNCIA ELÉTRICA WATT
A	ÁREA DE CAPTAÇÃO DO VENTO (m ²)
E_c	ENERGIA CINÉTICA DO VENTO
P_v	POTENCIAL DISPONÍVEL DO VENTO (W)
ρ	DENSIDADE DO AR (kg/m ³)
t	TEMPO
v	VELOCIDADE DO VENTO NA ALTURA (m/s)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2 REVISÃO SOBRE ENERGIA EÓLICA.....	17
2.1 HISTÓRIA DO AEROGERADOR	17
2.2 O CRESCIMENTO DA ENERGIA EÓLICA	19
2.3 ENERGIA EÓLICA NO BRASIL.....	21
2.4 APLICAÇÕES DOS SISTEMAS EÓLICOS	26
2.4.1 SISTEMAS ISOLADOS.....	26
2.4.2 SISTEMAS HÍBRIDOS	27
2.4.3 SISTEMAS INTERLIGADOS	28
2.4.4 SISTEMAS OFF-SHORE	30
2.4 RECURSO NATURAL.....	31
3 MODELOS DE AEROGERADORES	35
3.1 GERADORES E SOFT-STARTER NO SISTEMA EÓLICO.....	38
3.1.1 SOFT-STARTER.....	38
3.1.2 GERADORES.....	39
3.1.2.1 GERADOR SÍNCRONO.....	39
3.1.2.2 GERADOR ASSÍNCRONO.....	40
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS AEROGERADORES	40
3.2.1 AEROGERADORES DE VELOCIDADE FIXA	40
3.2.2 AEROGERADORES DE VELOCIDADE VARIÁVEL	41
3.2.3 AEROGERADORES TIPO A	43
3.1.4 AEROGERADORES TIPO B	44
3.2.5 AEROGERADORES TIPO C	45
3.2.6 AEROGERADORES TIPO D	46
CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS.....	49

ANEXOS	52
ANEXO I – POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO	52
ANEXO II – POTENCIAL DE ENERGIA EÓLICA BRASILEIRA.	53
ANEXO III – EXEMPLIFICANDO 4 TIPOS DE AEROGERADOR	54

1 INTRODUÇÃO

Diante do crescimento mundial do consumo de energia elétrica, a busca por fontes de energias renováveis e limpas tornou-se um objetivo fundamental para atender as necessidades da humanidade, em especial quando se pensa nas futuras gerações.

São diversos os componentes que levam a afirmação de que é necessário investir mais nas energias renováveis, são eles: a possibilidade de usar uma energia mais barata e a preservação do meio ambiente, dentre outros.

Das energias renováveis existentes, a eólica apresenta um grande crescimento, no Brasil, por exemplo: a geração de energia elétrica subiu cerca de 22% entre janeiro e agosto do ano de 2018 de acordo com o site Terra, 2018, sendo que no nordeste brasileiro a mesma energia é responsável por 85% de toda energia elétrica da região e já são cerca de 440 parques eólicos distribuídos (Tempo, 2018).

Assim como os parques eólicos possuem benefícios, existem estudos que já afirmam sobre os males que podem ocorrer caso sejam criados muitos desses, pois, a energia eólica em grande escala necessita de mais território, neste caso o Brasil leva vantagem, pela sua vasta extensão territorial.

A evolução da geração eólica é constante, proporciona um futuro de avanços tecnológicos e contribuição crescente para o setor energético mundial. É uma fonte de energia renovável e limpa, considerações importantíssimas para o desenvolvimento humano, pois muito se tem falado sobre fontes de energias renováveis, mas não se sabe ao certo até que ponto a mesma não possui impactos ambientais.

As fontes de energias renováveis apresentam várias vantagens, além de serem uma forma alternativa e sustentável, atendem os consumidores energéticos que vêm crescendo nas indústrias, comércios e residências.

A energia eólica se enquadra como uma opção de energia alternativa e apresenta vantagens quando comparadas com outras fontes de geração elétrica:

- Não são baseadas em combustíveis fósseis.
- Não produzem resíduos químicos altamente tóxicos.
- Não emitem gases poluentes.
- Produzem uma geração de energia elétrica limpa e sustentável.
- Sua fonte de abastecimento é inesgotável, proveniente dos ventos.

- É uma ciência nova e vem crescendo cada vez mais, contribuindo para o desenvolvimento setor energético de potência.
- É uma geração de energia com incentivos fiscais.
- É considerada uma fonte de energia barata.

Entretendo a geração eólica apresenta algumas desvantagens:

- Impacto sonoro devido a vários aerogeradores trabalharem próximos uns dos outros.
- Impacto visual.
- Impacto sobre as aves no local.
- É dependente da ação natural do vento.
- É necessário um enorme território para a construção de parques eólicos.

Assim, as desvantagens da geração eólica são irrelevantes quando comparados com os benefícios, um dos desafios para os novos avanços tecnológicos, minimizar os impactos ambientais e problemáticos que surgem durante a produção energética.

1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por finalidade, apresentar em forma de estudo, algumas características históricas e evolutivas sobre a geração da energia eólica, desde os primórdios até a atualidade, incluindo informações sobre alguns equipamentos fundamentais para a geração da mesma.

É fundamental compreender a importância da inclusão da geração eólica para o sistema elétrico de potência, os tipos de geradores utilizados nos aerogeradores e o entendimento de todo o funcionamento da produção energética através das forças do vento.

1.2 Objetivos específicos

A elaboração deste trabalho de conclusão de curso consiste nos seguintes objetivos:

- Apresentar o histórico, crescimento e panorama da utilização da energia eólica no Brasil. Além de mostrar os principais tipos de sistemas onde a energia eólica é empregada;

- Analisar e descrever os principais modelos de aerogeradores disponíveis no mercado.

2 REVISÃO SOBRE ENERGIA EÓLICA

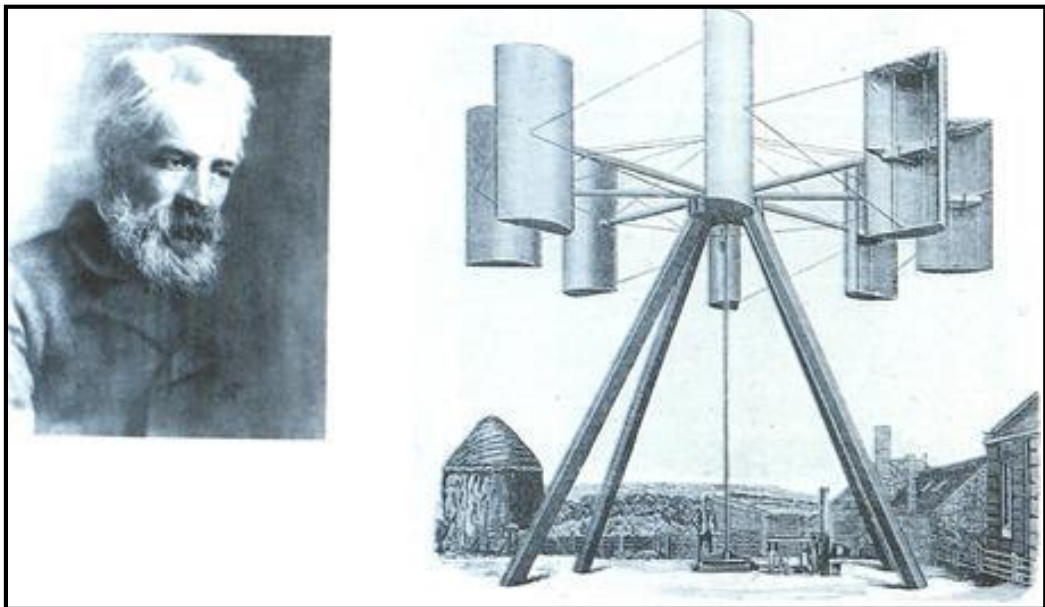
O mecanismo da geração natural dos ventos foi sendo aperfeiçoado com o passar dos tempos. Avanços tecnológicos despertou interesse para que seja cada vez mais eficiente.

2.1 História do Aerogerador

Os primeiros relatos da utilização dos ventos para o auxílio aos seres humano ocorrem por volta de 2800 a.C., um recurso natural que ajudou a humanidade evoluir em diversas habilidades como: navegação, moagem de grãos, pesca bombeamento de água através dos moinhos e a evolução não parou. (SANTOS, 2005)

O engenheiro eletricitista Escocês James Blyth é considerado como o criador do primeiro aerogerador que foi desenvolvido em julho de 1887, utilizou a energia eólica para energizar sua residência com corrente contínua. Na Figura 1, é mostrado o aerogerador desenvolvido pelo engenheiro (CRISÓSTOMO, 2017).

Figura 1 – James Blyth e o primeiro aerogerador.

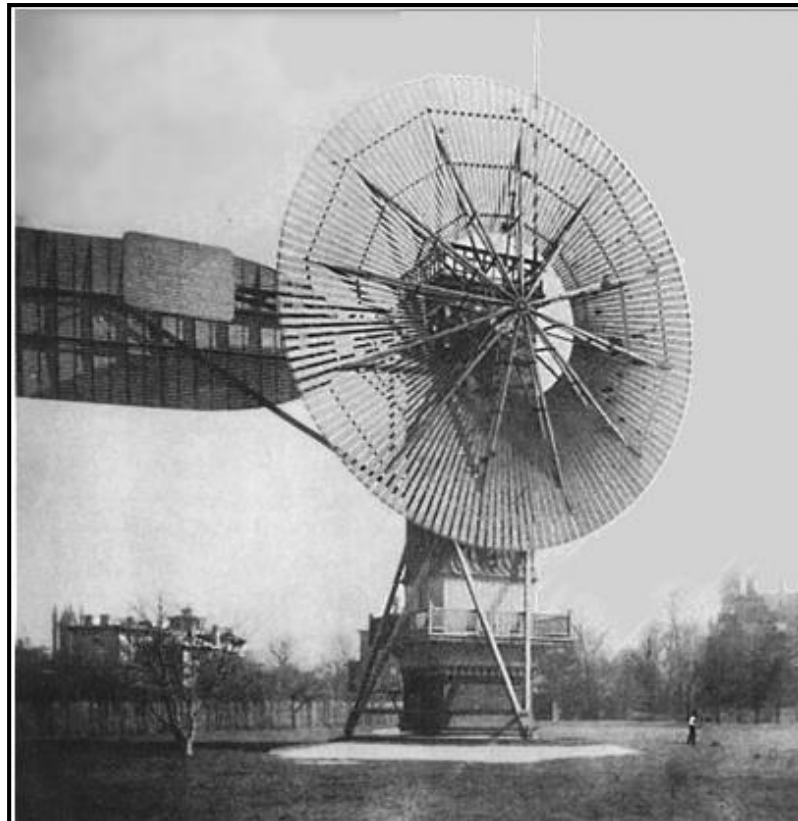


Fonte: CRISÓSTOMO, 2017.

Há registros de outro aerogerador inventado em 1888, que pesava 36 toneladas e gerava 12 kw de potência, criado pelo americano Charles Brush,

conforme mostrado na Figura 2. Diante desses fatos pode-se considerar Charles Brush como o segundo criador de um aerogerador (CRISÓSTOMO, 2017).

Figura 2– Aerogerador criado por Charles Brush.



Fonte: CRISÓSTOMO, 2017.

Mas a grande renovação das ideias para criação de um aerogerador foi realizada por um dinamarquês Paul La Cour no ano de 1891, que conseguiu realizar experimentos de melhorias no requisito de rendimento, ele conseguiu concluir que a energia gerada não estava relacionada com o número de pás e provou também, que, as geometrias de pás curvadas, capturavam mais energia. Através de todas essas conclusões, Paul La Cour contribuiu para o desenvolvimento do primeiro aerogerador, que fornecia corrente alternada criado em 1897 por Johannes Juul. A representação do aerogerador comentado é apresentada na Figura 3 (CRISÓSTOMO, 2017).

Figura 3– Johannes Juul e o primeiro aerogerador corrente alternada.



Fonte: CRISÓSTOMO, 2017.

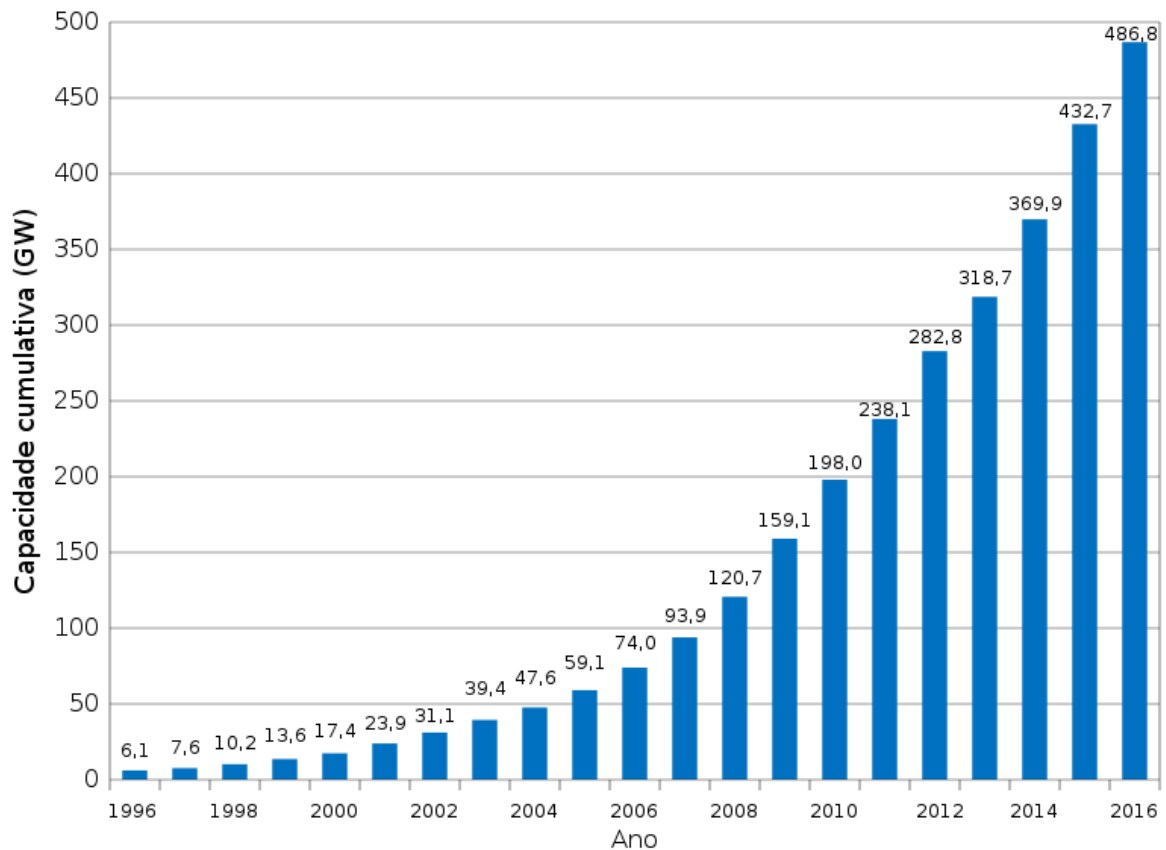
2.2 O Crescimento da Energia Eólica

Os avanços tecnológicos continuam ao longo dos tempos. Em 1976 na Europa, especificamente no país da Dinamarca, o primeiro aerogerador comercial foi instalado na rede de energia elétrica pública, e o crescimento mundial sobre do modelo energético renovável foi sendo cada vez mais utilizado (CRISÓSTOMO, 2017).

Os incentivos e investimentos atualmente, nos proporcionam mais de 30 mil aerogeradores, fornecendo uma produção mundial de energia elétrica de origem eólica. A Associação Europeia de Energia Eólica superou suas metas estipuladas no ano de 1991, a instalação de 4.000 MW que estava prevista até o ano de 2000 foi atingida em 1996, e a instalação de 11.500 MW também prevista para 2005 foi antecipada para o ano de 2001. Os Estados Unidos também avançam com um percentual em torno de 10% de aumento anual na produção de energia eólica. Podemos chegar em 2020 com uma produção mundial de 12% de fornecimento energia eólica, o que corresponde a 12000 GW (ANEEL, 2018).

Conforme informado no site (ENERGIA EÓLICA, 2018) o crescimento da energia eólica vem cada vez mais acelerado, como apresentado na Figura 4. Assim é possível perceber um aumento na produção mundial de 6,1 GW para 486,8 GW que corresponde a 79,8 vezes entre os anos de 1996 e 2016 (20 anos). Com isso, é notável que utilizar uma geração renovável se torna uma fonte alternativa para uma produção energética independente de combustíveis fósseis.

Figura 4 – Evolução do potencial de energia eólica instalado no mundo de 1996 a 2016.



Fonte: ENERGIA EÓLICA, 2018.

A Tabela 1 apresenta os principais países geradores de energia renovável baseado no vento.

Tabela 1– Potência instalada de energia eólica, mundialmente – final 2015.

LUGAR	PAÍS	POTÊNCIA [MW]
1º	China	145,362
2º	Estados Unidos	74,471
3	Alemanha	44,947
4	Índia	25,88
5	Espanha	23,025
6	Reino Unido	13,603
7	Canadá	11,205
8	França	10,358
9	Itália	8,958
10	Brasil	8,715
11	Suécia	6,025
12	Polónia	5,100
13	Portugal	5,079
14	Dinamarca	5,063
15	Turquia	4,694
16	Austrália	4,187
17	Países Baixos	3,431
18	México	3,073
19	Japão	3,038
20	Romênia	2,972
21	Irlanda	2,486
22	Bélgica	2,229
-	União Européia	147,771
	Mundial	432,883

Fonte: ENERGIA EÓLICA, 2018.

2.3 Energia Eólica no Brasil

O Brasil inaugurou o primeiro aerogerador na Ilha de Fernando de Noronha, no mês de junho de 1992 através de um Projeto que foi constituído pelo Instituto de Pesquisa Dinamarquês conhecidos como Folkecenter, juntamente com o Grupo de Energia Eólica da Universidade Federal de Pernambuco e a Companhia Energética de Pernambuco – CELPE. O aerogerador instalado produzia em torno de 10% da

energia elétrica consumida na Ilha de Fernando de Noronha, mais tarde em 2001 o projeto deu continuidade à instalação do segundo aerogerador na mesma ilha, que juntamente com o primeiro conseguiu atingir uma produção de aproximadamente 25% energia elétrica consumida na ilha (ANEEL, 2018).

Além dessas turbinas. No Brasil foram instaladas muitas outras, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Primeiras Instalações de turbinas eólicas no Brasil.

ANO	CIDADE / MUNICÍPIO	PARQUE EÓLICO	ESTADO	POTÊNCIA NOMINAL
1994	Gouveia	Morro do Camelinho	MG	1 MW
1999	São Gonçalo do Amarante	Taíba	CE	5 MW
1999	Aquiraz	Prainha	CE	10 MW
2000	Fortaleza	Mucuripe	CE	2.400 kw
2000	Palmas	Palmas	PR	2,5 MW
2002	Bom Jardim	Bom Jardim	SC	600 kw

Fonte: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.html>.

Conforme cita CRISÓSTOMO, 2017; no Brasil só houve incentivos governamentais após a crise energética de 2001, onde se certificou a necessidade de fontes de energia renováveis, destacando se a Eólica. Foi criado o Programa Emergencial de Energia Eólica – Proeólica e no ano de 2002, para fortalecer as ideias de fornecimento de energia limpa, foi inaugurado o Proinfa (Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia).

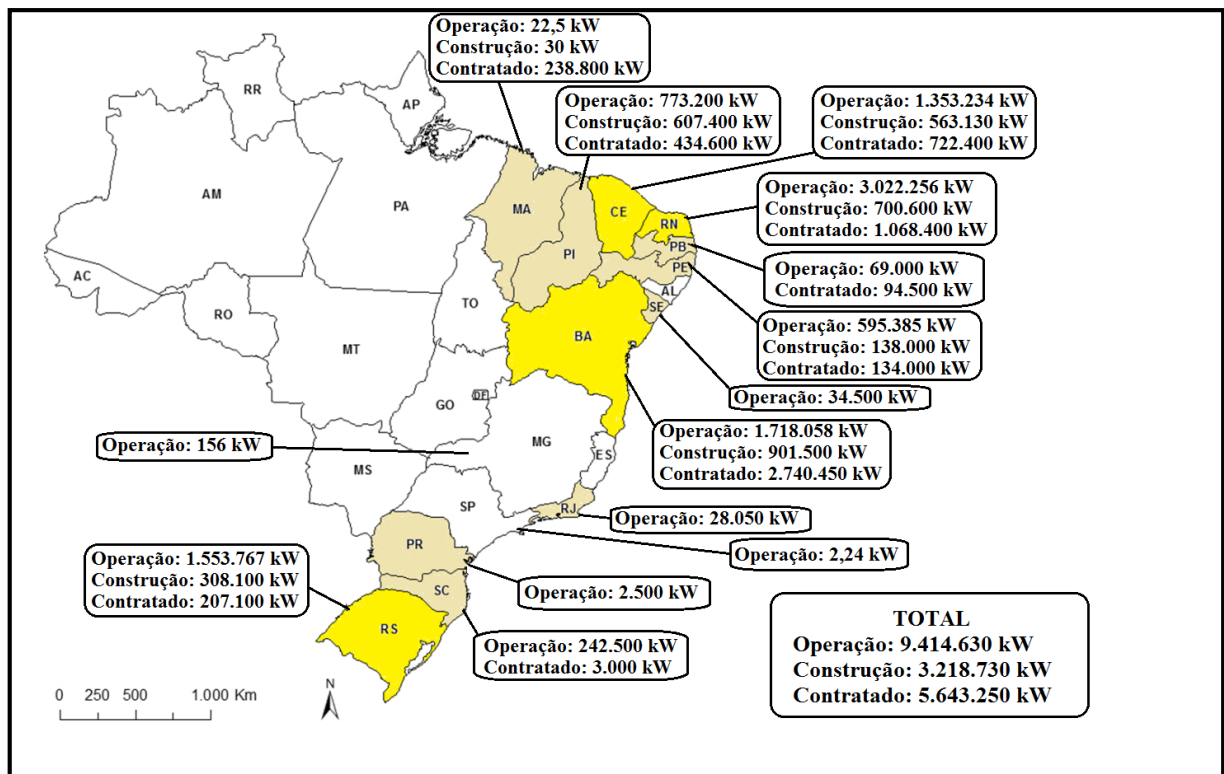
Esse setor energético eólico brasileiro é dividido em três setores conforme sua situação no fornecimento de energia elétrica:

- Operação: são parques eólicos aptos para produzir eletricidade, mas ainda não são contratos para o fornecimento de energia para o sistema elétrico de potência.

- Construção: são classificados os setores em que ainda estão em fase de planejamento e construção.
- Contratado: são os setores responsáveis pela geração eólica fornecida ao sistema elétrico de potência.

Assim, de acordo com a Figura 5, é possível ver no mapa brasileiro onde há a distribuição desses três pontos eólicos e até mesmo a potência de cada um.

Figura 5 - Distribuição de parques eólicos em operação, construção e contratados.



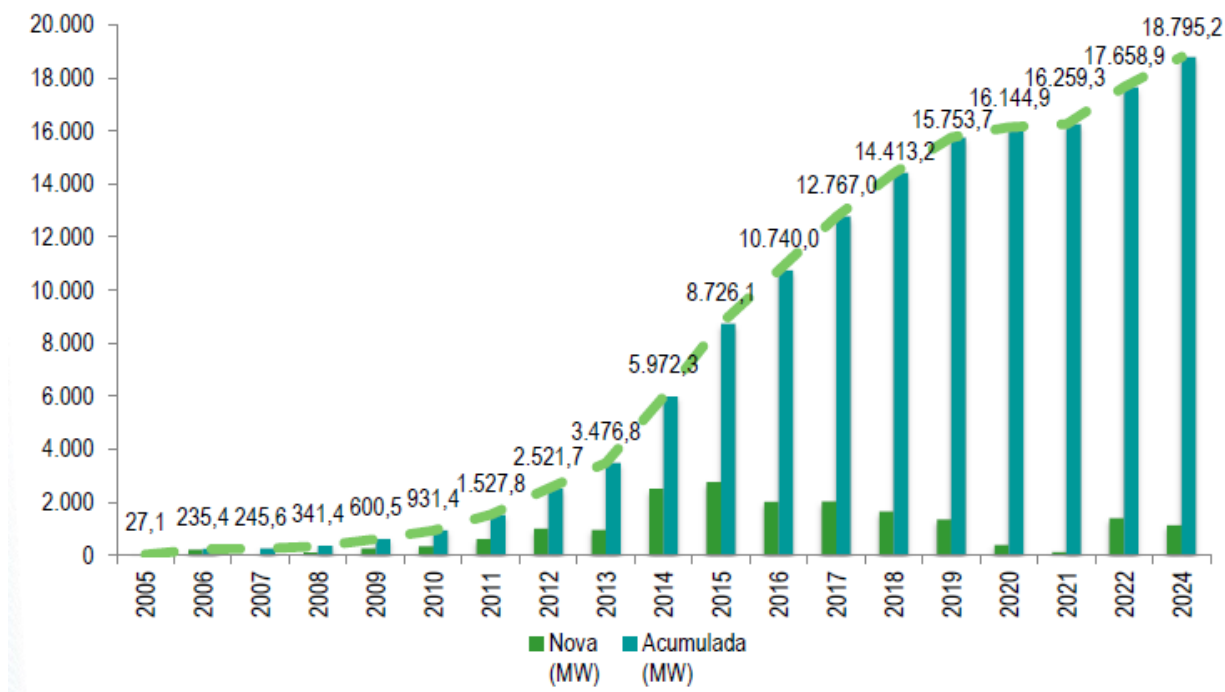
Fonte: CRISÓSTOMO, 2017.

O crescimento da energia eólica no Brasil vem atendendo e surpreendendo as previsões de um mercado promissor, o investimento para futuro chega a R\$60 bilhões. Atualmente o Brasil opera com 520 parques eólicos, aproximadamente 6.600 aerogeradores e fornecendo 13 GW de potência instalada, o suficiente para atender 67 milhões de pessoas ou equivalente a 22 milhões de residência (Sol Central, 2018).

Devido ao crescimento da geração de energia eólica brasileira o futuro é promissor, conforme mostrado na Figura 6, à projeção da capacidade supostamente

instalada em 2024 poderá chegar a 18,8 GW em todo território brasileiro. Os dados apresentados referenciam os setores contratados e em operação.

Figura 6 - Evolução da Capacidade Instalada.



Fonte: ABEEOLICA, 2018.

No cenário de 2018 do setor de geração eólica brasileiro atingiu uma produção de 14 GW de potência, que corresponde à capacidade instalada da hidrelétrica de Itaipu e representa aproximadamente 14% da potência fornecida para o Sistema Interligado Nacional - SIN (AGENCIA BRASIL, 2018).

No ranking mundial, o Brasil está entre os 10 países que mais gera energia eólica no mundo e em primeiro lugar na América Latina. Esse potencial energético é devido à capacidade de geração dos parques e complexos eólicos distribuídos no território nacional, sendo que o nordeste do país é a região mais produtiva no fornecimento de energia eólica, incluindo também o Rio Grande do Norte e a Bahia como os principais estados.

O potencial eólico brasileiro é ilustrado no Anexo I e Anexo II

A Tabela 3 informa sobre os 15 principais complexos e parques eólicos que produtores de energia elétrica no Brasil.

Tabela 3 – Principais complexos e parques eólicos no Brasil.

PARQUE / COMPLEXO	LOCALIZAÇÃO	ESTADO	POTÊNCIA INSTALADA
Parque Eólico de Osório	Osório	RS	300 MW
Complexo Eólico do Alto do Sertão I	Caetité, Guanambi e Igaporã	BA	293,6 MW
Parque Eólico Giribatu	Santa Vitória do Palmar	RS	258 MW
Complexo Eólico Calango	Bodó	RN	150 MW
Parque Eólico de Praia Formosa	Camocim	CE	104,4 MW
Complexo Eólico Desenvix Bahia	Macaúbas, Novo Horizonte e Seabra	BA	95,2 MW
Parque Eólico Elebrás Cidreira 1	Tramandaí	RS	70 MW
Parque Eólico Sangradouro	Arroio Sangradouro	RS	50 MW
Parque Eólico Bons Ventos	Aracati	CE	50 MW
Parque Eólico Volta de Rio	Acaraú	CE	42,4 MW
Parque Eólico Enacel	Aracati	CE	31,5 MW
Parque Eólico Lanchina	Tenente Laurentino Cruz	RN	28 MW
Parque Eólico Beberibe	Beberibe	CE	25,6 MW
Parque Eólico Cabeço Preto	João Câmara	RN	19,8 MW
Parque Eólico Giruá	Giruá	RS	11 MW

Fonte: SUA PESQUISA, 2018.

2.4 Aplicações dos Sistemas Eólicos

Os aerogeradores compõem um sistema elétrico de potência, quando se trata de energia eólica, consideramos sua utilização em três distintas aplicações: sistemas isolados, sistemas híbridos e sistemas interligados (PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS, 2018).

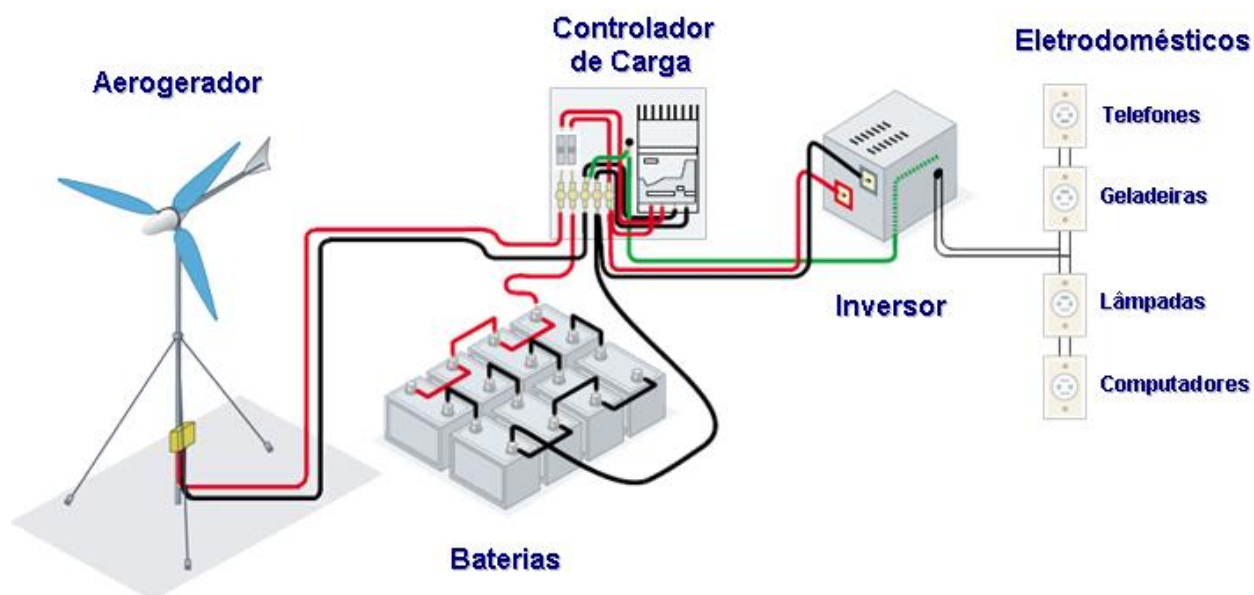
2.4.1 Sistemas Isolados

As unidades eólicas independentes da energia elétrica pública como mostra Figura 7, são considerados sistemas isolados. Para manter esse mecanismo em funcionamento é necessário o uso de baterias estacionárias ou consumo direto da energia gravitacional usada, por exemplo, no bombeamento de água para sistema de irrigação (PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS, 2018).

O uso da bateria permite o consumo da energia gerada pelo aerogerador, porém são necessário juntamente com essa bateria mais dois dispositivos para o sistema isolado:

- Inversor senoidal com a finalidade regular a tensão, frequência e transformar a corrente contínua gerada para corrente alternada consumida;
- Controlador de carga que evita danos à bateria no caso de sobrecarga.

Figura 7– Configuração do Sistema Eólico Isolado.



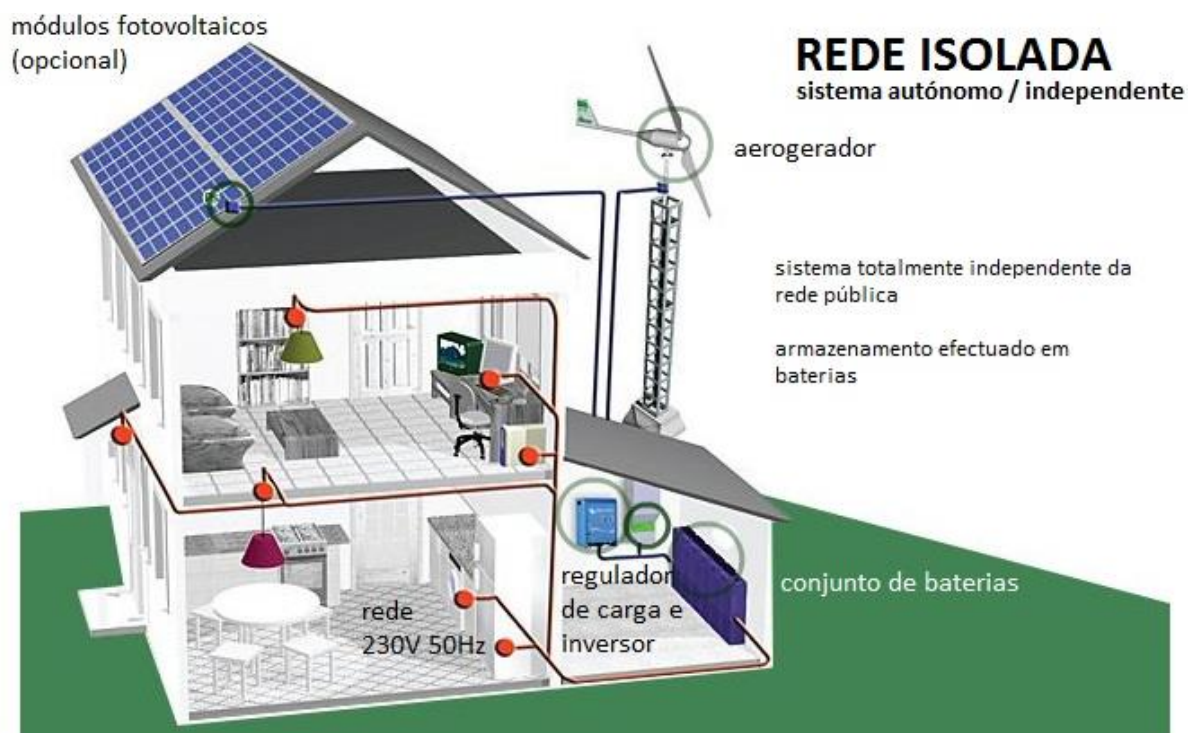
Fonte: PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS, 2018.

2.4.2 Sistemas Híbridos

Um sistema híbrido é a formação de uma fonte eletro produtora, que é composta simultaneamente por mais de um sistema de geração elétrica, sendo que um desses eólicos. Esses sistemas apresentam uma configuração semelhante aos sistemas isolados, são independentes da rede pública de energia elétrica, necessitam do armazenamento de baterias, inversor senoidal e de um controlador (PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS, 2018).

A Figura 8 mostra um exemplo de aplicação de um sistema híbrido, aplicado em uma residência, fator comum para esse tipo de sistema eólico.

Figura 8 – Configuração do Sistema Eólico Híbrido.

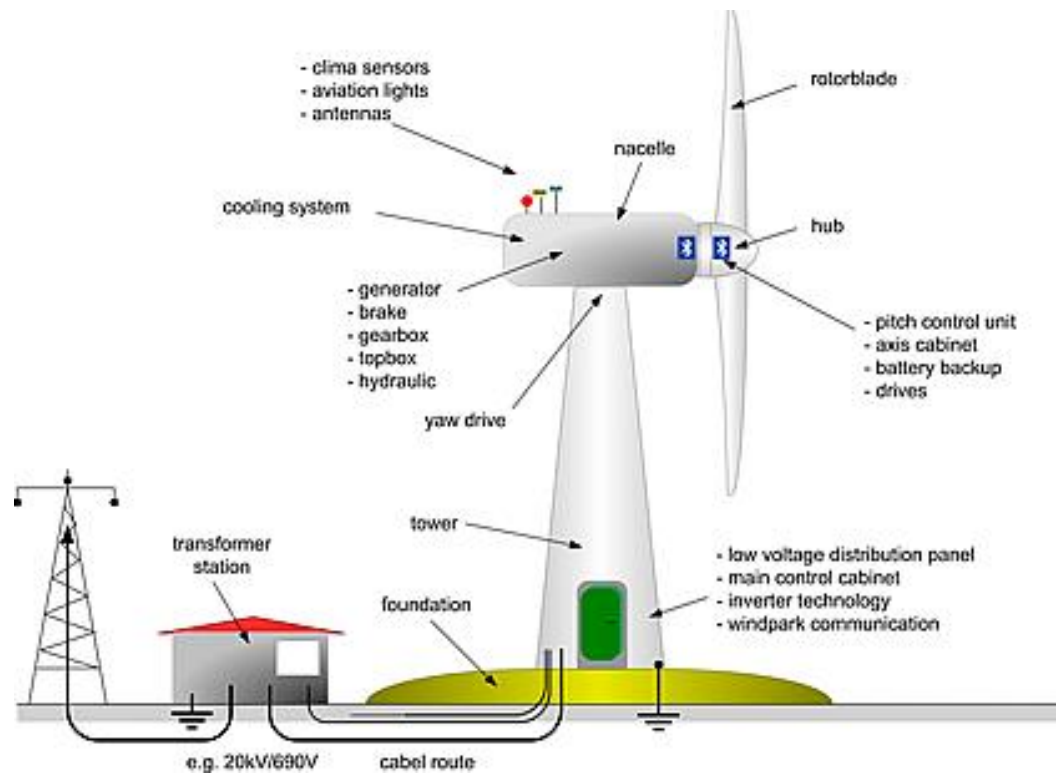


Fonte: ENERGIA EÓLICA, 2018.

2.4.3 Sistemas Interligados

Os sistemas interligados ou sistemas de injeção na rede são compostos por um (representado na Figura 9) ou vários aerogeradores produzindo simultaneamente energia elétrica (mostra Figura 10), não necessitam de armazenamento de energia, pois toda energia produzida é entregue diretamente na rede elétrica.

Figura 9 – Sistema Interligado um Aerogerador.



Fonte: ENERGIA EÓLICA, 2018.

Figura 10 – Sistema Interligado Conjunto Aerogerador.



Fonte: PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS, 2018.

2.4.4 Sistemas Off-Shore

A necessidade de territórios para construção de parques eólicos tornou-se um problema e a alternativa foi realizar a construção desses no mar, esse tipo de sistema chamamos de off-Shore. É semelhante ao sistema interligado, a diferença é a implantação de parques eólicos no mar - Figura 11 (Princípios e Tecnologias, 2018).

Figura 11 – Sistema Off-Shore.



Fonte: PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS, 2018.

A limitação da área terrestre fez com que o setor de energia eólica investisse na implantação de parques em ambiente marítimos, apesar da grande desvantagem de custo muito elevado, os aerogeradores em sistema off-Shore podem operar com as turbinas em sua máxima capacidade pelo fato de que o mar há mais vento do que em terra firme.

2.4.5 Conclusão das Aplicações do Sistema Eólico

Conclui-se assim que as aplicações dos Sistemas Isolados e Híbrido são indicados para instalações com necessidade de pequenas potências, ideal para

alimentação elétrica de residências e fazendas. Enquanto que o sistema interligado e off-shore são indicados para alimentação de alta potência, pois trata-se de parques eólicos conectados a rede elétrica de distribuição de energia.

2.5 Recurso Natural

Vento é um fluxo da massa de ar atmosférica que está em constante movimento, um recurso natural e inesgotável, sua intensidade e velocidade não são controláveis pelo homem e são de extrema importância para o desenvolvimento de um gerador eólico. Os três fatores que influenciam na eficiência da geração eólica são: Força Gradiente de Pressão, força de Coriolis e a rugosidade do terreno.

1 – Força Gradiente de Pressão: Essa força está diretamente relacionada com a velocidade do vento, surge a partir da diferença de temperatura que existe na superfície terrestre, que é aquecida de forma desigual pelo sol. Onde existe uma diferença de temperatura, ocorre conseqüentemente a diferença de pressão, gerando um fluxo de ar ou vento da região de maior pressão para o de menor pressão.

2 – Efeito de Coriolis: Naturalmente uma ação que juntamente com a força gradiente definem a direção e magnitude do vento, pois está relacionada com movimento de rotação do planeta.

CRISÓSTOMO (2017) conclui que:

Força de Coriolis: Ocorre devido à rotação da Terra. O efeito coriolis é a deflexão do movimento do ar quando ele é visto por um quadro de referência, como a superfície da Terra. Dessa forma, as forças gradiente de pressão e coriolis determinam a magnitude e direção do vento (CRISÓSTOMO, 2017, pag. 42)

3 – Rugosidade: É a definição dada a superfície onde ocorrerá a velocidade do fluxo de ar, podemos dizer que uma superfície muito rugosa reduzirá a velocidade do vento e uma superfície pouco rugosa aumentará a velocidade do vento (CRISÓSTOMO, 2017).

Em 1805 um irlandês chamado Francis Beaufort criou uma escala que referenciava a magnitude da força dos ventos, utilizada na cidade de Beaufort. Os valores abaixo de três são considerados insuficientes para obter um bom rendimento para um aerogerador, e os valores acima de nove são considerados prejudiciais ao

sistema de geração energética eólica, porque os aparelhos utilizados sob ponto de vista mecânico e estrutural, não suportam a exposição de ventos com magnitude acima de 34-40 considerados como ventania forte. Enquanto que a faixa de três a nove são os ideais para atender uma geração eólica de bom rendimento (CRISÓSTOMO, 2017).

Tabela 4 – Escala de Beaufort para magnitude dos ventos.

ESCALA BELFORT	VELOCIDADE DO VENTO m/s PERÍODOS MAIORES QUE 10 MINUTOS	TERMO GERAL
0	<1	Calmo
1	1-3	Vento leve
2	4-6	Brisa leve
3	7-10	Brisa calma
4	11-16	Brisa moderada
5	17-21	Brisa fresca
6	22-27	Brisa forte
7	28-29	Ventania moderado
8	30-33	Ventania fresca
9	34-40	Ventania forte
10	41-47	Gale total
11	48-55	Tempestade
12	56-63	Furacão

Fonte: CRISÓSTOMO, 2017.

A velocidade do vento pode ser estimada pela equação (I), segundo (CRISÓSTOMO, 2017).

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{h}{h_0} \right)^\mu \quad (I)$$

Onde:

μ = coeficiente de atrito. Está relacionada com a função terreno e sua topologia. Alguns valores típicos são: $\mu = 0,143$ para lugares abertos; $\mu = 0,4$ para grandes cidades; $\mu = 0,1$ para águas calmas.

v = velocidade do vento na altura h

v_0 = velocidade do vento conhecido na altura

É fundamental conhecer as condições climáticas e a natureza do comportamento dos ventos na região onde se planeja implantar um parque eólico. São realizados estudos durante períodos de tempo, para assegurar a estatística dos ventos e estimar o potencial eólico.

A equação (II) é uma das formas de se calcular o potencial disponível (Pv) estimado do vento, que é diretamente proporcional ao cubo da velocidade estudada.

$$Pv = Ec = \frac{1}{2} Apv^3 \quad (II)$$

Onde:

Pv = Potencial disponível do vento (W)

Ec = Energia Cinética do Vento

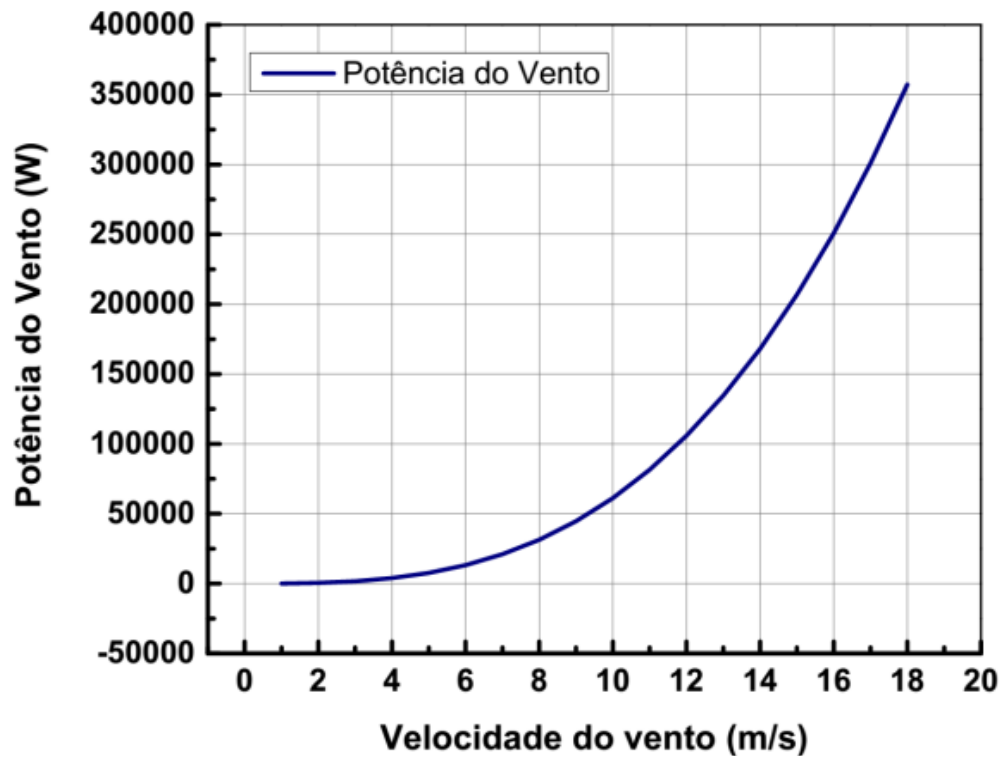
A = Área de captação do Vento (m^2)

p = densidade do ar (kg/m^3)

v = velocidade do vento na altura h (m/s)

O potencial do vento é um fator essencial para a construção de um sistema eólico de geração elétrica. A Figura 12 ilustra de forma gráfica a equação (II), onde o potencial disponível do vento é diretamente proporcional ao cubo da velocidade.

Figura 12– Potência do Vento x Velocidade do vento.



Fonte: CRISÓSTOMO, 2017.

3 MODELOS DE AEROGERADORES

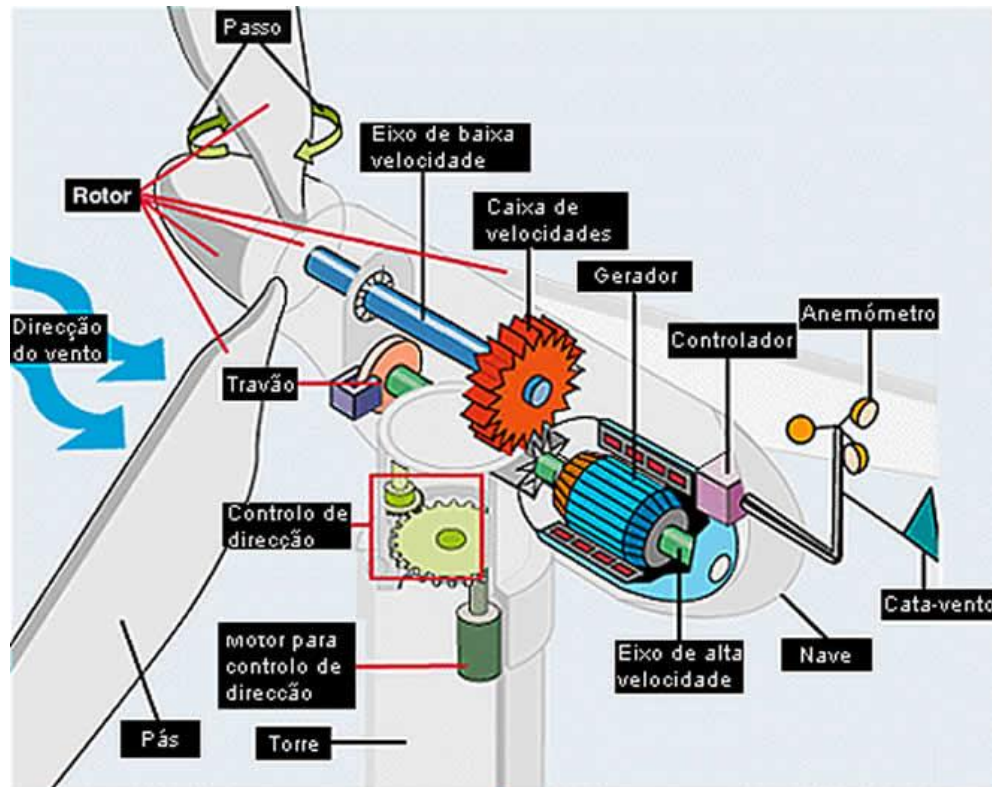
Os modelos de aerogeradores são apresentados nesse capítulo conforme sua potência fornecida e comportamento de sua velocidade de operação.

Resumidamente um aerogerador é constituído pelos elementos mecânicos e elétricos abaixo:

- Sistema aerodinâmico: turbina composta pelas pás que é essencial na captação do vento onde o mesmo transfere energia cinética rotacional para o rotor, responsável pela transferência da energia cinética rotacional para o gerador com a finalidade de produzir energia elétrica.
- Sistema Mecânico: rotor da turbina, eixo de baixa e alta velocidade, caixa de transmissão mecânica e rotor do gerador.
- Sistema elétrico / eletrônico: Conversor eletrônico de potência, cabos, chaves, transformadores e dispositivos de controle específicos
- Sistema de controle de conversor: sistemas de controle associados.
- Vento: combustível natural que pode ser modelado através das medições realizadas em campo para determinar a característica comportamental do vento.
- Gerador: assíncrono ou síncrono.
- Rede elétrica: Utilizados nos aerogeradores de sistemas interligados e off-shore.
- Sistemas de proteção: relés de proteção por sobretensão, subtensão, sobrevelocidade.
- Sistemas de controle aerodinâmico: composto por mecanismos, de natureza hidráulica ou eletromecânica, capazes de movimentar as pás e alterar o ângulo de incidência do vento.

Podemos notar essa configuração ilustrada na Figura 13

Figura 13 - Composições de Turbinas Eólicas.



Fonte: <http://www.industriahoje.com.br/o-que-e-um-gerador-eolico>.

As pás acopladas na turbina giram com o contato do vento, onde o mesmo realiza um movimento rotacional. A transferência desse movimento é enviada ao rotor do gerador. Como mostra na Figura 14

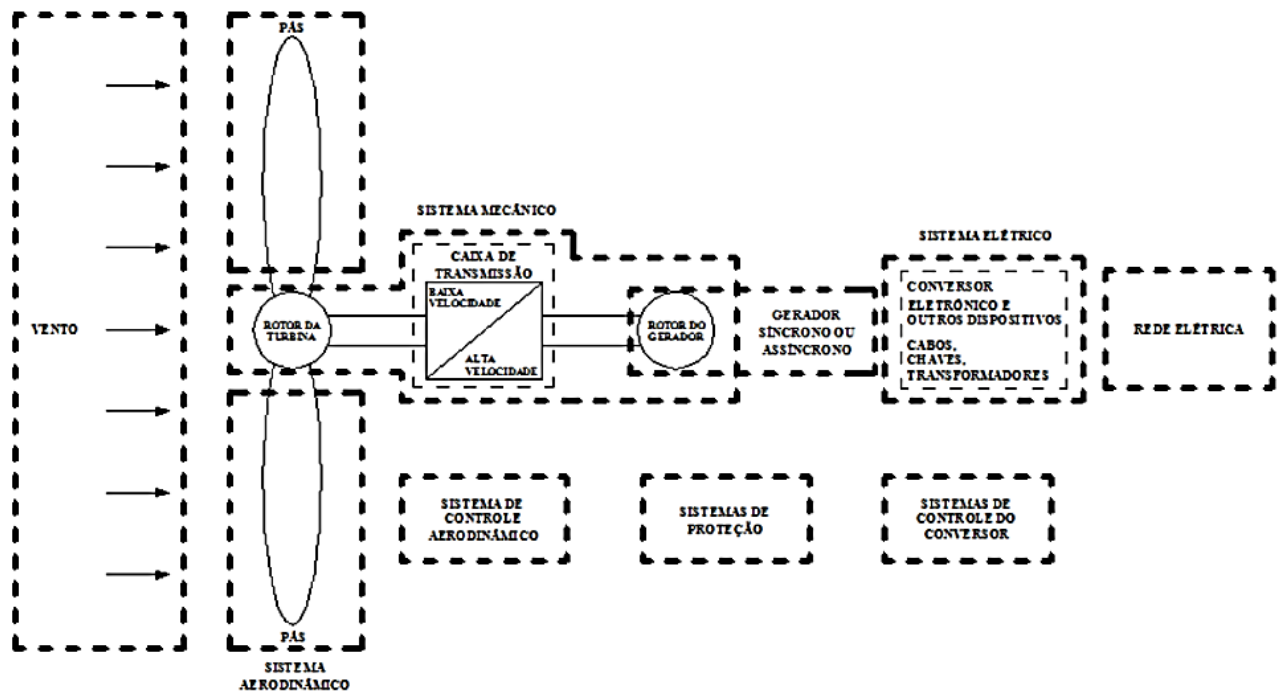
Figura 14 – Turbina Eólica.



Fonte: <http://www.industriahoje.com.br/o-que-e-um-gerador-eolico>.

Todos os componentes constituintes do aerogerador devem ser projetados para o mesmo, a fim de obter um excelente aproveitamento da força eólica. A figura 15 mostra o esquema de uma dessas máquinas modernas.

Figura 15 – Configuração de uma unidade eólica moderna.



Fonte: SOHN, 2014.

Como menciona Eletrovento (2018) com os avanços tecnológicos existem três modelos distintos de aerogeradores mostrados na Figura 16, sendo assim o mercado define o tamanho de seu porte conforme sua potência:

- Pequeno porte: Fornece potência de 0,1 kW a 100 kW;
- Médio porte: Fornece potência de 101 kW a 300 kW;
- Grande porte: Fornece potência acima 300 kW.

Figura 16 – Exemplos de turbinas eólica (da esquerda para a direita: pequena, média e grande).



Fonte: PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS, 2018.

3.1 Geradores e Soft-starter Sistema Eólico:

Os geradores e soft-starter são elementos essenciais na constituição de uma aerogerador pois esses .

3.1.1 Soft-starter:

Soft-starters são equipamentos eletroeletrônicos utilizados basicamente para partidas de motores de indução CA (corrente alternada) tipo gaiola com a finalidade de não provocar trancos no sistema de alimentação elétrica, limitar a corrente de partida, evitar picos de corrente e ainda incorporar parada suave e proteções. Estas chaves contribuem para a redução dos esforços sobre acoplamentos e dispositivos de transmissão durante as partidas e para o aumento da vida útil do gerador e equipamentos mecânicos da máquina acionada. (UNESP, 2018)

Apresentam como vantagens:

- Ajuste da tensão de partida por um tempo pré-definido.
- Pulso de tensão na partida para cargas com alto conjugado de partida.
- Redução rápida de tensão a um nível ajustável
- Proteção contra falta de fase, sobre-corrente e subcorrente, etc.

3.1.2 Geradores:

Os geradores são componentes elétricos responsáveis pela geração de energia elétrica. Para a produção eólica são utilizados os tipos Assíncrono (ASG) ou Síncrono (SG).

3.1.2.1 Gerador síncrono:

Como menciona Gruger, 2018 o gerador do tipo “síncrono” recebe esse nome pois a frequência da corrente elétrica gerada está diretamente relacionada (sincronizada) com a frequência de rotação do motor. Um gerador síncrono tem o mesmo princípio de funcionamento e composição muito parecida de um motor síncrono.

Para a geração de corrente elétrica é necessário uma fonte de campo magnético variável. Isso é feito acoplado ímãs permanentes ou eletroímãs ao rotor. Quando esse gira, o campo magnético também gira, produzindo corrente elétrica nas bobinas presentes nas paredes do gerador (Gruger, 2018).

A vantagem desse tipo de gerador é que a frequência da corrente alternada permanece fixa, independente da carga que o gerador está alimentando. Essa característica faz com que esse tipo de gerador seja usado em grandes usinas hidrelétricas. Esses geradores também são mais eficientes que os do tipo “assíncrono” quando usados em larga escala.

Uma desvantagem é a necessidade de uma corrente contínua para alimentar os eletroímãs do rotor, nos casos em que os ímãs permanentes não são usados. Essa corrente contínua pode vir de uma bateria, ou no caso dos alternadores, de um gerador secundário que compartilha o mesmo eixo do gerador principal. Outro ponto negativo é o fato de serem mais complexos que os motores assíncronos, com contatos mecânicos que necessitam de manutenção.

3.1.2.2 Gerador Assíncrono

Gruger, 2018 afirma que também que o gerador do tipo “assíncrono” utiliza o mesmo princípio dos motores assíncronos (também conhecidos como “motores de indução”) para produzir energia. A velocidade de rotação depende das características do motor, mas sempre será abaixo da chamada “frequência de sincronismo”. Quando usado como gerador, o rotor deve ser girado acima dessa frequência de sincronismo” para converter a energia mecânica em energia elétrica.

As principais vantagens de um gerador assíncrono são sua construção mais simples e robusta, a ausência de contatos mecânicos no rotor, reduzindo manutenções por desgastes, e a independência de sincronismo com a velocidade do rotor, o que faz com que seja muito usada em aplicações como usinas eólicas.

A maior desvantagem fica no fato de que, além de necessitar que o rotor gire mais rápido que a frequência de sincronismo, o gerador também precisa de “energia reativa” para poder gerar “energia ativa”. Isso pode ser contornado por meio de um banco de capacitores ligados ao gerador. Outra desvantagem é que, uma vez que a carga alimentada pelo gerador exceda sua capacidade, o gerador para imediatamente de gerar energia. A única forma de religar o gerador é removendo toda a carga e fornecendo energia elétrica de outra fonte.

Por fim, a escolha do modelo de gerador dependerá do tipo de situação. Cabe ao usuário do equipamento analisar qual é o mais adequado para suprir sua necessidade. (Gruger, 2018).

3.2 Classificação dos aerogeradores

Os aerogeradores ou unidades eólicas, são utilizados pra transformar a energia do vento em elétrica. Eles se classificam conforme sua velocidade: fixa ou variável. (SOHN, 2014). O Anexo III ilustra de forma exemplificada os modelos aqui citados nesse trabalho.

3.2.1 Aerogeradores de velocidade Fixa

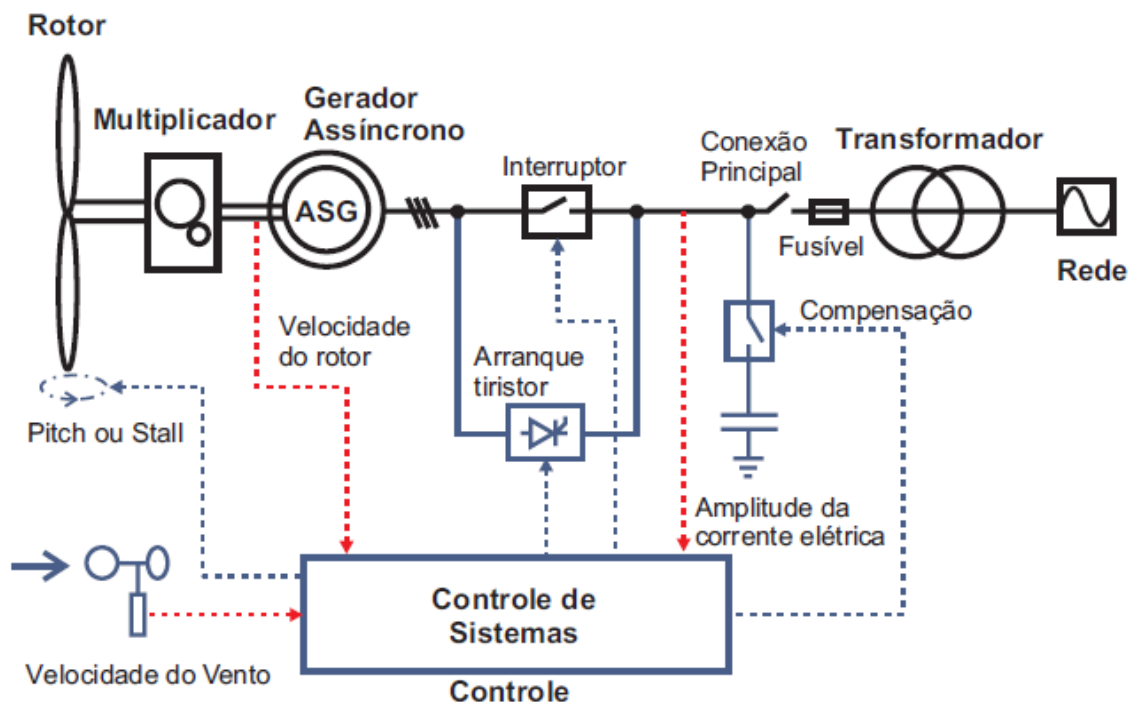
Na unidade eólica fixa também conhecida como FSWT, *Fixed Speed Wind Turbines*, o gerador é diretamente conectado à rede elétrica. A velocidade nos

rotores tanto da turbina como do gerador é considerada fixa e independente da ação do vento (SOHN, 2014).

Estas máquinas usam geradores elétricos assíncronos ou de indução, cuja maior vantagem é sua construção simples e barata. Porém as desvantagens destes geradores são as altas correntes de partida e sua demanda por potência reativa.

A Figura 17 mostra o esquema elétrico de um gerador com velocidade fixa.

Figura 17 – Gerador com Velocidade Fixa.



Fonte: PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS, 2018.

O controle da velocidade do rotor do gerador é determinado pelo número de pólos do gerador e pela frequência que é ligado à rede elétrica. Aerogeradores de indução e velocidade fixa são denominados aqui nesse trabalho como: Tipo A quando o gerador de indução em gaiola de esquilo, e Tipo B quando o gerador de indução com rotor bobinado.

3.2.2 Aerogeradores de velocidade variável

Quando a velocidade do rotor da turbina varia com a ação do vento considere como aerogerador de velocidade variável, também conhecidos como *VSWT*,

Variable Speed Wind Turbines. A frequência da tensão fornecida ao sistema elétricos de potência deve ser controlada por um conversor eletrônico.

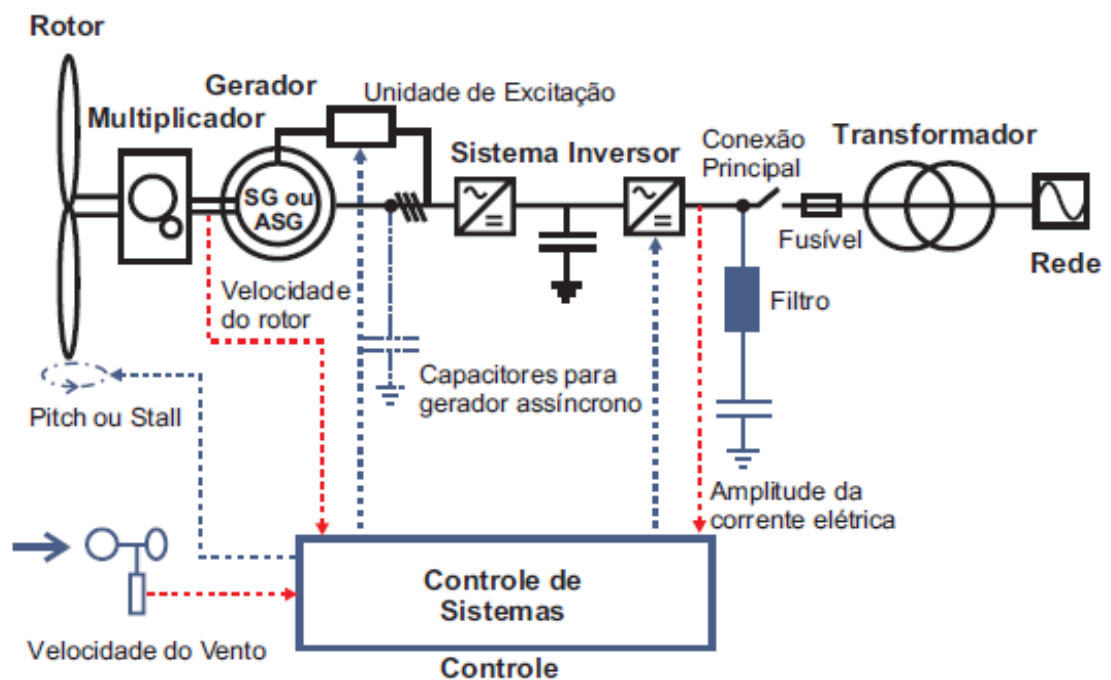
PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS (2018) afirma que:

A conexão ao sistema elétrico é feita por meio de um conversor de frequência eletrônico, formado por um conjunto retificador/inversor. A tensão produzida pelo gerador síncrono é retificada e a corrente contínua resultante é invertida, com o controle da frequência de saída sendo feito eletronicamente através dos tiristores. Como a frequência produzida pelo gerador depende de sua rotação, esta será variável em função da variação da rotação da turbina eólica (PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS, 2018, pag.43).

A vantagem do modelo aerogerador de velocidade variável é o aproveitamento maximizado da força dos ventos, reduzindo a flutuação das forças mecânicas a fim de oferecer ao sistema um desempenho naturalmente aproveitável. Mas tem como desvantagem a formação de harmônicos no sistema elétrico, agregado com as conversões de frequência que obriga ter instalações de filtros no sistema o que ocasiona em custo elevado da unidade eólica.

A Figura 18 mostra o esquema elétrico de um gerador com velocidade variável, com adaptação de um conversor de frequência para geração elétrica.

Figura 18 – Gerador com velocidade constante.



Fonte: PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS, 2018.

Os aerogeradores de velocidade variável trabalham com dois tipos de geradores: o de indução e os síncronos, que serão apresentados como Aerogeradores Tipo C e Aerogeradores tipo D.

3.2.3 Aerogeradores Tipo A

Os aerogeradores Tipo A se caracterizam pela velocidade fixa e trabalham com geradores de indução modelo gaiola de esquilo, cujo rotor em curto-circuito e o estator conectado na rede elétrica através de um transformador (Sohn, 2014).

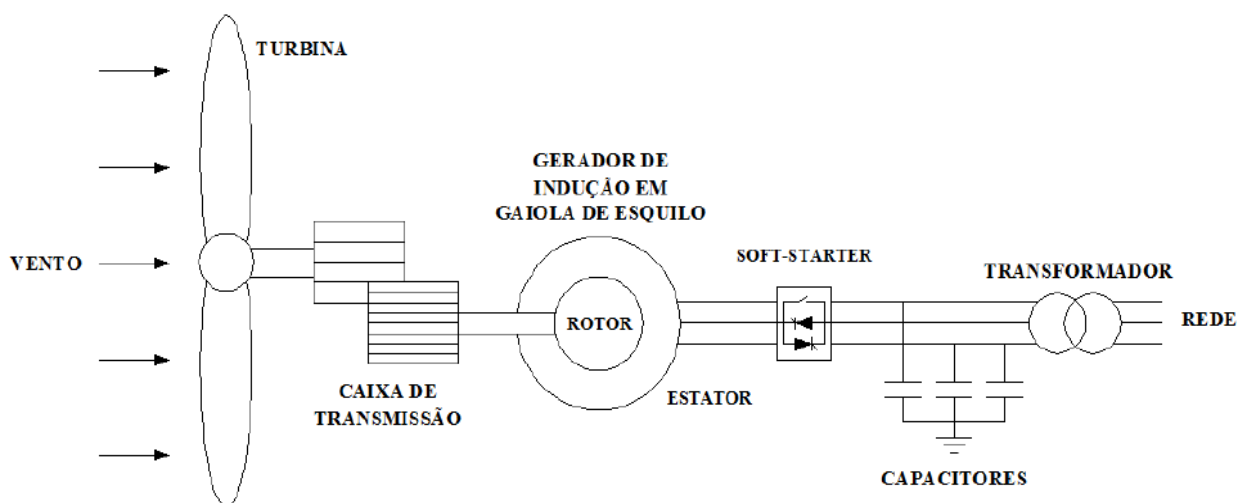
Desde 1980 esse modelo aerogerador foi desenvolvido, e vem evoluindo com novas tecnologias, para garantir o máximo de aproveitamento da potência extraída dos ventos e desempenho do sistema eólico.

Essas máquinas em relação aos outros modelos possuem suas vantagens, pois são consideradas um sistema simples de construção, são confiáveis, o monitoramento da manutenção é menor, modelagem simples e robusto (Sohn, 2014).

Por outro lado, esses modelos de aerogeradores possuem como desvantagens: o não controle da potência de partida possui ruído devido à necessidade da caixa de transmissão, as variações da velocidade do vento são prejudiciais e afeta o torque de transmissão das turbinas além de reduzir a vida útil dos componentes mecânicos, esses sistemas necessitam de um soft-starter para suavizar a conexão com rede elétrica e um banco de capacitores para compensação de potência reativa (Sohn, 2014).

A Figura 19 mostra a configuração típica aerogerador Tipo A.

Figura 19 – Aerogerador Tipo A.



Fonte: SOHN, 2014.

3.2.4 Aerogeradores Tipo B

São considerados aerogeradores Tipo B, aqueles que trabalham com geradores bobinados ou geradores assíncronos duplamente excitados, onde os enrolamentos do rotor trabalham conectados a uma resistência variável e o estator ligado à rede elétrica através de um transformador (SANTOS, 2005) e (SOHN 2014).

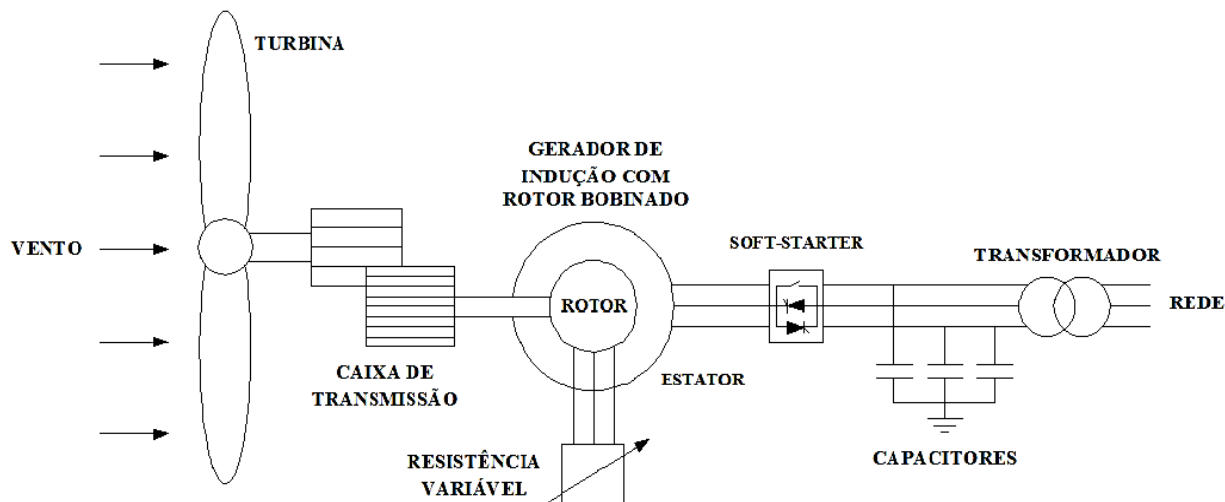
Os geradores assíncronos duplamente excitados têm capacidade de variação de sua velocidade de até 10 % da sua velocidade nominal (SOHN, 2014), operando em regiões sub e super-síncrona a variação de sua velocidade pode chegar até 20% da sua capacidade nominal podendo maximizar seu desempenho energético, (SANTOS, 2005). Esse aproveitamento se dá devido o controle da resistência variável no circuito do rotor.

Essas máquinas comparadas ao aerogeradores Tipo A, além de apresentarem as mesmas vantagens possuem também variedade na velocidade de operação, deixando o sistema eólico mais eficiente. Devido à limitação da velocidade de operação esses sistemas são considerados unidades eólicas de velocidade fixa.

Contudo as desvantagens desse modelo de aerogerador são semelhantes aos do Tipo A. Porém devido o acréscimo de componentes eletrônicos para a função de controle da velocidade de operação, torna o sistema financeiramente mais caro.

A configuração típica de uma unidade eólica Tipo B é esquematicamente apresentada conforme Figura 20.

Figura 20 – Aerogerador Tipo B.



Fonte: SOHN, 2014.

3.2.5 Aerogeradores Tipo C

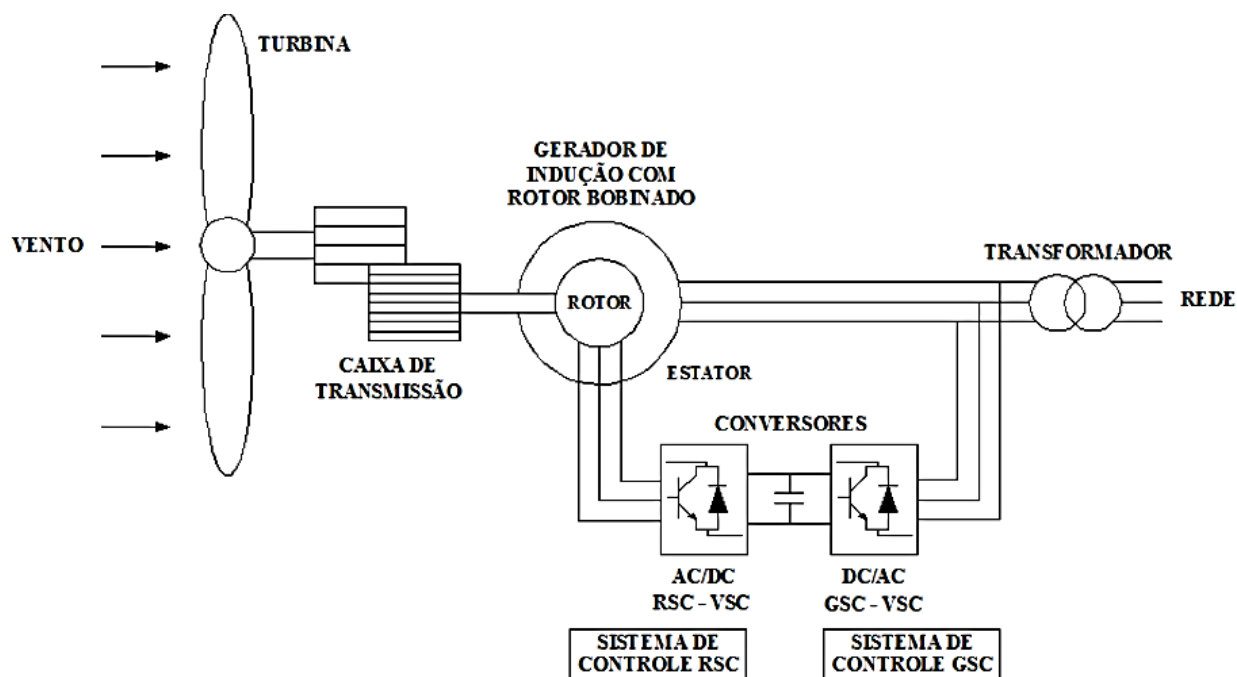
Os aerogeradores Tipo C possuem frequência da tensão elétrica independente da variação da velocidade dos ventos, foram desenvolvidos para o aproveitamento máximo da captação da força eólica. Essas máquinas possuem eficiências maximizadas, que podem chegar até 60% da faixa de variação de sua velocidade nominal (SONH, 2014).

Como citado no item 3.1.2 deste trabalho, essas unidades eólicas trabalham com geradores de indução, esses não são conectados diretamente a rede elétrica e proporcionam um controle da frequência angular no próprio gerador.

As unidades eólicas Tipo C de velocidade variável, são vantajosas quando comparadas com os aerogeradores Tipo A e B, devido ao implemento de conversores eletrônicos de potência, onde os mesmos são os principais responsáveis do controle das potências ativas, potências reativas e tensão do sistema eólico.

Ilustrado na Figura 21 o esquema elétrico do aerogerador Tipo C.

Figura 21 – Aerogerador Tipo C.



Fonte: SOHN, 2014.

As principais vantagens do aerogerador Tipo C são: maximização da extração da energia dos ventos, a implementação do conversor eletrônico de potência suavizando a conexão com a rede elétrica e os desgastes mecânicos do sistema são reduzidos.

Porém, com a implantação de novas tecnologias os aerogeradores tipo C acabam tendo como desvantagens o custo financeiro para a implantação, pois os conversores de potência necessitam de um sistema de proteção e a modelagem se torna mais complexa.

3.2.6 Aerogeradores Tipo D

Os aerogeradores Tipo D são os modelos mais modernos entre os outros citados anteriormente. Operam com velocidades variáveis em sintonia com a velocidade do vento. Os geradores acoplados a esse sistema eólico podem ser síncronos ou assíncronos e dependendo do modelo de gerador, a caixa de transmissão não é necessária (SONH, 2014).

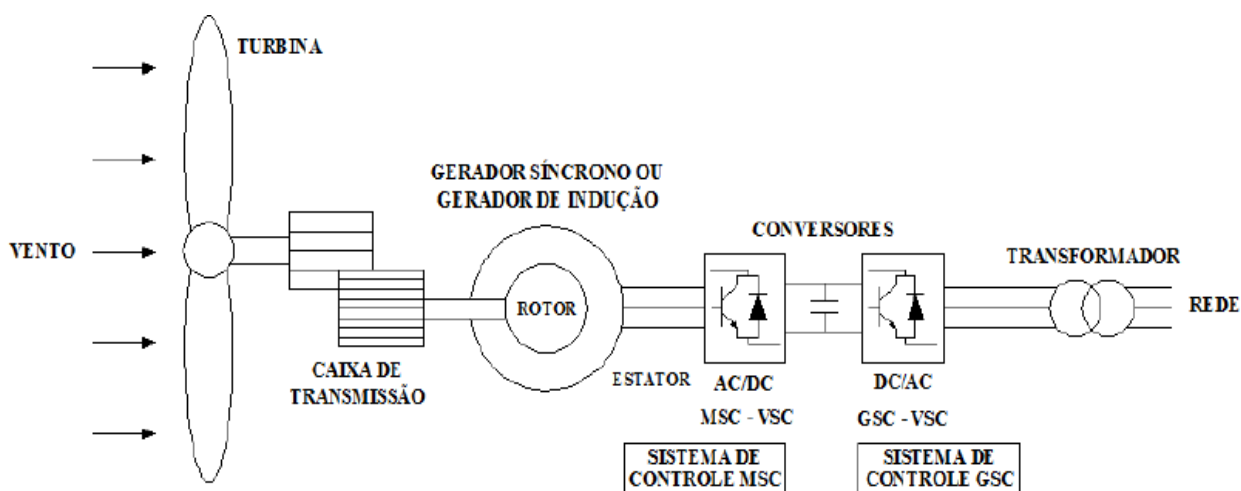
O sistema de velocidade é controlado eletronicamente e pode chegar a uma variação de 2,5 vezes do valor nominal do gerador, aproveitando o máximo da energia eólica extraída. Diante dos distúrbios causados na rede elétrica os aerogerador do tipo D proporcionam um melhor desempenho (SONH, 2014).

As vantagens desse modelo são: a operação em faixa total de velocidade, manutenção e custos associados reduzidos (devido a não utilização de caixa de transmissão e circuito de excitação no rotor para geradores que dispensam o uso), a dispensa dos anéis coletores e escovas (também reduzem os custos), os componentes mecânicos trabalham com mais eficiência, e a conexão com a rede elétrica acontece de forma suave.

Porém as desvantagens apresentadas em unidades eólicas do Tipo D são os custos financeiros para a modelagem de um sistema complexo.

A Figura 22 mostra a configuração de um sistema eólico Tipo D.

Figura 22 – Aerogerador Tipo D.



Fonte: SOHN, 2014.

Os aerogeradores de velocidade variável do Tipo C e D são os mais utilizados no mercado, pois apresentam um melhor rendimento, eficiência e aproveitamento maximizado do potencial eólico. Já as unidades eólicas do tipo A e B vem perdendo o seu espaço (SONH, 2014).

CONCLUSÃO

Diante de todo histórico evolutivo da energia eólica, há uma revolução no setor energético mundial, a busca por fontes renováveis para geração de energia elétrica cresce cada vez mais. Por ser uma fonte de energia alternativa, limpa e sustentável, a eólica atende os requisitos exigentes e pode ser considerada uma fonte importantíssima para essa revolução.

A geração eólica possui um mercado promissor para o futuro, novas tecnologias com aproveitamento aerodinâmico da força dos ventos tentem a ser cada vez mais eficiente e a produção de energia elétrica será fornecida com mais qualidade.

Os parques eólicos Off-Shore representam a evolução do conceito energia eólica, tudo de moderno e eficiência fazem parte dessa nova tecnologia que estão sendo representadas nesse modelo de sistema aerogerador.

Como os aerogeradores de maior porte e os modelos Tipo C e D desempenham um rendimento melhor para extrair o máximo de aproveitamento eólico, são eles os que se apresentam no mercado atual.

Os modelos de aerogeradores existentes fazem parte de uma evolução constante, que no futuro tentem a ser renovados com novas tecnologias e assim o surgimento de outras unidades eólicas mais produtiva e eficiente ao fornecimento de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

ABEEOLICA, 2018 – **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA – DOWNLOAD** – Números ABEEólica / Outubro/2018. Disponível em <http://abeeolica.org.br/dados-abeeolica/>. Acessado em 08 de novembro de 2018.

AGENCIA BRASIL, 2018 - **Produção de energia eólica no país atinge marca de 14 gigawatts**. Disponível em <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-11/producao-de-energia-eolica-no-pais-atinge-marca-de-14-gigawatts>. Acessado em 08 de novembro de 2018.

ANEEL - **AGÊNCIA NACIONAL DE ELÉTRICA (BRASIL) (ANP) – DOWNLOAD DOS ATLAS 2ª EDIÇÃO – 6 Energia Eólica**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>. Acessado em 05 de outubro de 2018 .

CRISÓSTOMO, D. C. C. (2017) **Simulador de controle de potência, energia e conexão à rede de aerogeradores**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em sistemas de comunicação e automação, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

ELETROVENTO, 2018. **Sobre Energia Eólica - Energias Renováveis ou Energias Alternativas**. Disponível em: <http://www.eletrovento.com.br/pagina/saiba-mais/sobre-energia-eolica/47/>. Acessado em 10 de novembro de 2018.

ENERGIA EÓLICA, 2018. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Wikimedia, 2018. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_eólica . Acesso em: 05 de outubro de 2018.

ENERGIA EÓLICA, 2018. **Realize o sonho de muitos e viva de brisa! Energia Eólica: bons ventos levando você. Como Funciona?**. Disponível em: <https://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/aerogerador-de-eixo-horizontal/>. Acessado em novembro de 2018.

GRUGER, 2018 **QUAL É A DIFERENÇA ENTRE GERADOR SÍNCRONO E ASSÍNCRONO?** – Disponível em: <https://gruger.com.br/blog/qual-e-diferenca-entre-gerador-sincrono-e-assincrono/>. Acessado no dia 17 de dezembro de 2018.

PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS, 2018 **Energia Eólica**. Tutorial - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito CRESESB. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutoriais. Acessado em 27 de outubro de 2018.

SANTOS, F. M. C. da S. (2005) **Modelagem e avaliação de estabilidade transitória de aerogeradores síncronos com magneto permanente em sistemas de energia elétrica**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém.

SOH, A. P. (2014) **Estudo de estabilidade de sistemas elétricos de potência na presença de diferentes modelos de unidades eólicas**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

SOL CENTRAL, 2018 **Mercado de Energia eólica no Brasil reúne especialistas e autoridades para debater cenários de crescimento do setor** - Disponível em: <http://www.solcentral.com.br/news/mercado-de-energia-eolica-no-brasil-reune-especialistas-e-autoridades-para-debater-cenarios-de-crescimento-do-setor/#more-9422>. Acessado em 07 de outubro de 2018.

SUA PESQUISA, 2018 **Principais Parques Eólicos no Brasil** – Disponível em: https://www.suapesquisa.com/energia/parques_eolicos_brasil.htm. Acessado em 08 de novembro de 2018.

TEMPO.COM, 2018 **Por que o Nordeste é um polo de energia eólica?** – Disponível em: <https://www.tempo.com/noticias/ciencia/por-que-o-nordeste-e-um-polo-de-energia-eolica.html>. Acessado em 26 de outubro de 2018.

TERRA, 2018 **Geração de energia eólica no Brasil cresce 19% entre janeiro e agosto de 2018** – Disponível em: <http://www.terra.com.br/economia/geracao-de->

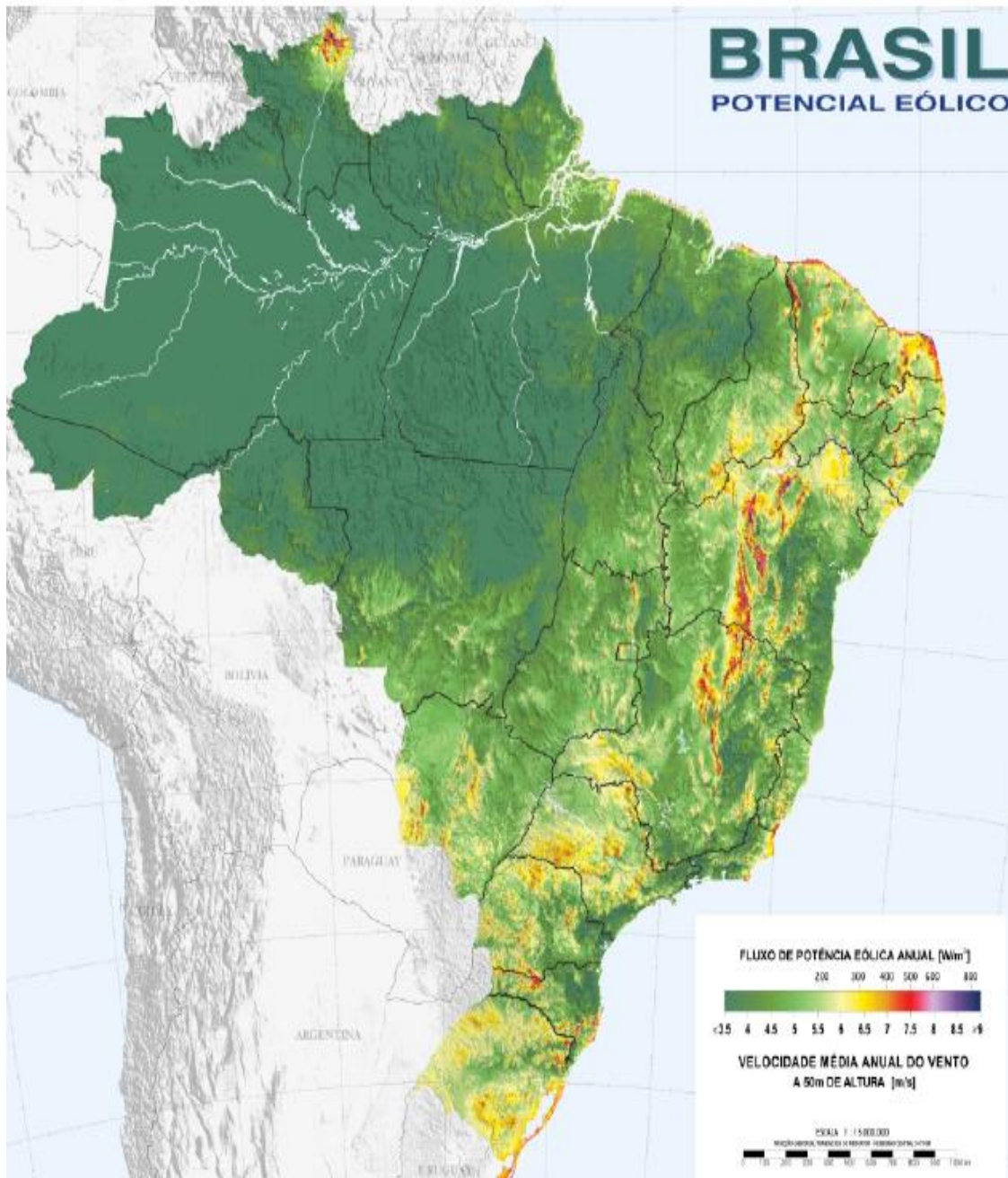
energia-eolica-no-brasil-cresce-19-entre-janeiro-e-agosto-de-2018. Acessado em 26 de outubro de 2018.

UNESP, 2018 UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “ JULIO DE MESQUITA FILHO”. **Princípio de funcionamento o soft-starter. Disponível em** www.feis.unesp.br/.../engenhariaeletrica/softstarter.pdf. Acessado em 17 de dezembro de 2018.

ANEXOS

Anexo I – POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO

Figura 23 - Mapa temático da Velocidade Média Anual do Vento a 50 metros de altura em m/s



Fonte: PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS, 2018.

Anexo II – POTENCIAL DE ENERGIA EÓLICA BRASILEIRA.





Figura 24 – Potencial Brasileiro de Energia Eólica



Fonte: ENERGIA EÓLICA, 2018.

Anexo III – EXEMPLIFICANDO 4 TIPOS DE AEROGERADOR

Figura 25 – Resumo exemplificando os 4 tipos de máquinas em aerogeradores

PARÂMETRO	MODELO			
	Vestas V82-1.65	Vestas V80-1.8US	Vestas V90	Enercon E-70
Potência	1,65 MW	1,8 MW	3 MW	2,3 MW
Diâmetro	82 m	80 m	90 m	71 m
Velocidade de rotação	14,4 rpm	15,5 ou 16,8 rpm	8,6 ~ 18,4 rpm	6 ~ 21,5 rpm
Velocidade do vento (<i>cut-in/nominal/cut-out</i>)	3,5/ 13/ 20 m/s	4/ 15/ 25 m/s	3.5/ 15/ 25 m/s	2,5 / 13.5/ 28-34 m/s
Gerador	Gaiola de Esquilo	Rotor Bobinado	Rotor Bobinado	Síncrono
Caixa de Engrenagem	Planetária	Planetário	Planetário	x
<i>Layout</i>				

Fonte: CRISÓSTOMO, 2017.

