



---

V.3, N.1, 2019

**UM BREVE ESTUDO SOBRE O AVANÇO DA ENERGIA EÓLICA**

***A BRIEF STUDY ON THE ADVANCEMENT OF WIND ENERGY***

Antonio Carlos de Lima Filho<sup>1</sup>

**RESUMO**

O presente trabalho tem como objetivo mostrar um breve estudo sobre a energia eólica. Sabendo que o consumo de energia elétrica é um fator muito importante para o desenvolvimento econômico de um país, recentemente com a escassez de recursos convencionais ou consequências de alguns recursos, foi proposto o desafio de fornecer energia de forma limpa e segura, desta forma o emprego da energia eólica tem sido inserido como complemento no cenário mundial e nacional, como uma das alternativas de composição da matriz energética. O trabalho apresenta um estudo sobre os princípios teóricos básicos envolvidos na obtenção da energia eólica, funcionamento, tecnologias atuais e complementariedade com o sistema hídrico. Foi feita então uma revisão sistemática de estudo sobre o tema, por fim uma análise, para poder contribuir com os estudos de tomadas de decisões e o planejamento de parques eólicos, com isso existem muitas áreas ainda não exploradas com grande potencial e possibilidades de crescimentos expressivos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vento. Aerogeradores. Sistema. Geração.

**ABSTRACT**

*The present work aims to show a brief study on wind energy. Knowing that the consumption of electric energy is a very important factor for the economic development of a country, recently with a scarcity of resources or certain sources, the challenge was proposed to provide energy in a clean and safe way, in this way the use of energy has been inserted as a complement in the world and national scenario, as one of the alternatives of composition of the energy matrix. The work is a study on the basic principles on wind energy, operation, current technologies and complementarity with the water system. In order to make a systematic analysis of studies on the subject, on the one hand, research on the decision processes and planning of wind farms, in addition to many areas not yet explored with great potential and possibilities of significant growth.*

**KEYWORDS:** Wind. Wind turbines. System. Generation.

---

<sup>1</sup> Uninassau

## 1. INTRODUÇÃO

Os primeiros registros de utilização de máquinas eólicas datam de 3.500 anos atrás. Os moinhos de vento representaram uma das maiores conquistas tecnológicos da Idade Média. Um longo percurso tecnológico se seguiu, até os modernos aerogeradores atuais. Agora, com a possibilidade do uso em larga escala da energia dos ventos, na forma de eletricidade, com reais benefícios para a humanidade. (FAGÁ, 2004).

Por isso a energia é um fator importantíssimo para o desenvolvimento de um país. Então o conceito de energia que está diretamente relacionado com a capacidade de por algo em movimento ou transformá-lo, ou seja, é a capacidade de gerar trabalho.

Então damos o nome de energia eólica, a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (o vento), que ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação, em energia cinética de rotação com o emprego de aerogeradores, para a geração de energia elétrica. (RIBEIRO, 2013).

Apesar desta apresentação acima parecer algo inovador, a conversão da energia cinética em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica, vem sendo utilizada há anos pela humanidade, como por exemplo: moinhos de vento que eram utilizados nas atividades agrícolas para bombeamento de água e moagem de grãos.

Historicamente após a crise do petróleo, alguns países tiveram que tomar decisões para ficarem menos dependentes dos combustíveis fósseis e dar um salto no desenvolvimento tecnológico e econômico, com esses avanços dados, foi comprovado o excelente potencial eólico do país, tornando o investimento na geração eólica cada vez mais atraente e promissor.

## 2. O VENTO

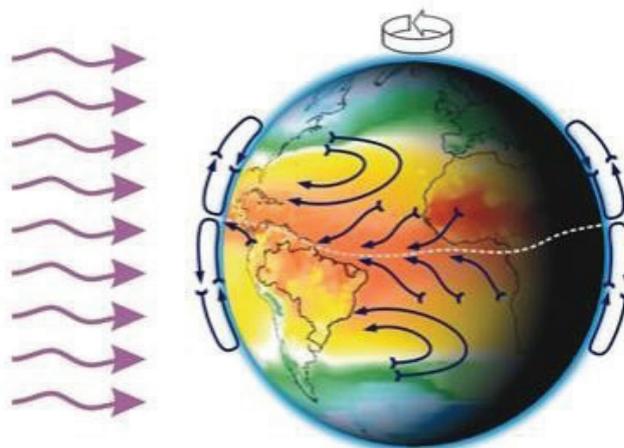
As variáveis mais importantes empregadas na descrição meteorológica da atmosfera terrestre são: a velocidade e a direção do vento, juntamente com a temperatura, a umidade e a pressão do ar atmosférico. Como agente meteorológico o vento, atua nas modificações das condições do tempo, sendo responsável pelo transporte de umidade e de energia na atmosfera, porém não é uma fonte de energia contínua, uma vez que

nem sempre incide com a mesma intensidade, devido a isso, pode existir uma variação de produção excessiva de energia ou a sua escassez, então também, surge à necessidade de aproveitar a energia produzida em excesso de forma a compensar quando não se produz energia pela falta de velocidade do vento.

O vento então é uma massa de ar em movimento, e essa movimentação é gerada devido a dois principais motivos: através dos movimentos da Terra e o aquecimento diferenciado das camadas de ar pelo Sol com a geração de diferentes densidades e gradientes de pressão. (REIS, 2011).

Detalhadamente, sabe-se que o ar é um conjunto de gases, e por isso, está sujeito a todas as características físicas desses fluidos. Sendo assim, o ar quente se expande mais que o frio, tornando-se menos denso e tendendo a subir e sendo substituído pelo ar frio que é mais denso. Como o Sol transfere maior energia para aquelas regiões em que seus raios solares são perpendiculares ou próximas a esse ângulo, sabe-se que no trópico do Equador (local cujo ângulo de ataque solar é 90 graus), a temperatura é maior que nos polos. Pode se concluir que o vento é principalmente gerado pelo maior aquecimento da superfície da Terra perto do Equador do que perto dos polos. Isto faz com que os ventos das superfícies frias circulem dos polos para o Equador para substituir o ar quente que sobe nos trópicos e se move pela atmosfera superior até os polos, fechando o ciclo. Conforme a (Figura 1).

**Figura 1** - Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar



Fonte: CRESESB, 2014

Devido à inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao Sol, ao longo da sua translação, a Terra se expõe de maneiras diferentes a ele, gerando assim as estações do ano (variações sazonais) (UFPR, 2009).

Além de o seu comportamento ser regido pelas suas formas de geração, o vento também é influenciado por outros aspectos naturais, tais como: latitude, altitude, características topográficas e rugosidade do solo (CAMPOS, 2004).

O levantamento do comportamento dos ventos, como direção e intensidade, normalmente é realizado através de anemômetros instalados a 10m do solo, sensores de direção e do tratamento estatístico adequado dos dados. Esses resultados são normalmente representados em mapas cartográficos, com isolinhas de velocidade média, isolinhas de calmaria, isolinhas de velocidade máxima e isolinhas de Fluxo de potência média ou potência média bruta (REIS, 2011).

Assim sendo, para a construção de uma usina eólica, é necessário todo um estudo de terreno e localização, assim como o levantamento de dados através de medições e de outras pesquisas realizadas no local, para que ao final, seja possível realizar um correto dimensionamento da usina, visto que qualquer falha pode acarretar em erros de estimativa de produção de energia, gerando prejuízos financeiros ao proprietário do projeto.

Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m<sup>2</sup>, a uma altura de 50 metros, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s (GRUBB; MEYER, 1993).

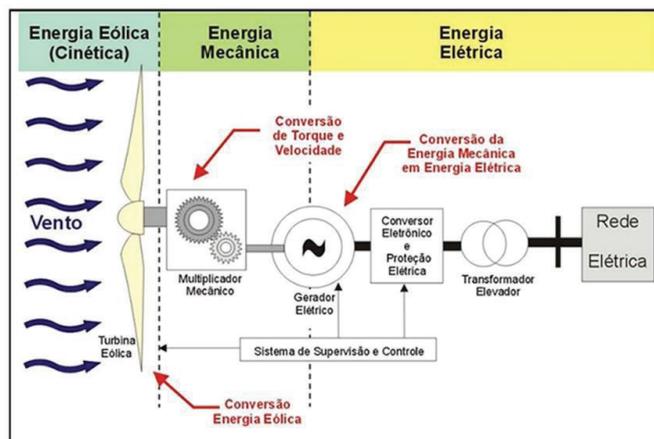
Segundo a Organização Mundial de Meteorologia, o vento apresenta velocidade média igual ou superior a 7 m/s, a uma altura de 50 m, em apenas 13% da superfície terrestre. Essa proporção varia muito entre regiões e continentes. A avaliação técnica do potencial eólico exige um conhecimento detalhado do comportamento dos ventos. Os dados relativos a esse comportamento, os quais auxiliam na determinação do potencial eólico de uma região, são relativos à intensidade da velocidade e à direção do vento.

### 3. TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA EM AEROGERADOR

Conforme diz o princípio de conservação de energia, considerando algumas perdas entre os processos, o aerogerador basicamente converte energia a partir de dois processos, são eles: Conversão de torque e velocidade e a conversão da energia mecânica em energia elétrica. Primeiro a energia cinética do vento é transformada em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica.

Detalhando essa transformação o vento atinge as pás do rotor que entram movimento. Esse movimento é transferido para um sistema de engrenagens que multiplicam a frequência do rotor. Essa velocidade é transmitida para o gerador elétrico responsável por produzir a eletricidade por meio do fenômeno de indução eletromagnética (picolo. 2014). Esses processos estão demonstrados na (Figura 2):

Figura 2 - Esquema geral de funcionamento de um aerogerador



Fonte: Picolo, 2014

### 4. TURBINAS EÓLICAS

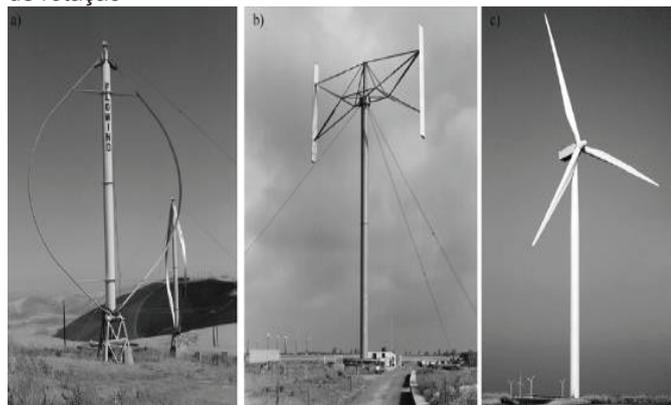
O componente principal denominado aerogerador (turbina eólica) é responsável pela a transformação da energia dos ventos em energia elétrica, isso ocorre através desses equipamentos eletromecânicos.

Quando se deu início a essa exploração de fonte de energia, surgiram diversos modelos (eixo vertical, eixo horizontal, com uma, duas e três pás, gerador de in-



dução, gerador síncrono). Ao passar do tempo concretizou-se com as seguintes características: eixo de rotação horizontal, três pás, alinhamento ativo, gerador de indução e estrutura não flexível, a (figura 3) ilustra os tipos.

**Figura 3** - Aerogeradores classificados de acordo com o eixo de rotação



Fonte: researchgate.net

Resumidamente, os aerogeradores apresentam hélices que entram em movimento com a força dos ventos, esse movimento de rotação devido à parte da energia cinética contida nos ventos. Consequentemente, o eixo, que está acoplado às pás, gira em conjunto, por isso a energia rotacional do eixo é transformada em energia elétrica pelo gerador. No fim, o transformador é responsável por distribuir esta energia gerada. Segue uma descrição da função dos principais componentes:

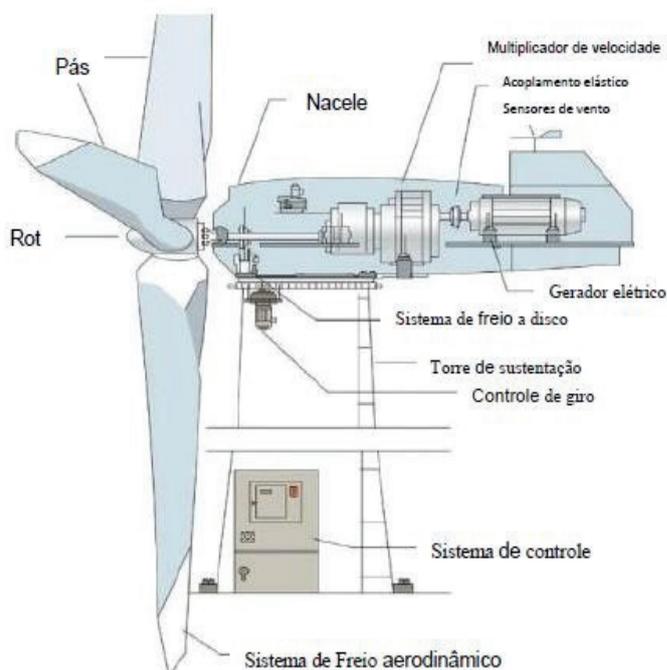
**Pás:** capturam a energia dos ventos e a convertem em energia rotacional no eixo;

- **Eixo:** transfere a energia de rotação para o gerador;
- **Gerador:** utiliza-se a energia rotacional para gerar eletricidade através do eletromagnetismo;
- **Multiplicador de velocidade:** caixa de engrenagens para controle de velocidade de rotação entre eixo e o gerador;
- **Nacele:** carcaça onde são abrigados os componentes;
- **Sistema de controle:** monitora todo o sistema;
- **Sensores de vento:** alinha o rotor com a direção do vento;
- **Sistema de freio a disco:** em caso de falha no sistema ou sobrecarga de energia detém a rotação do eixo;

- **Torre de sustentação:** sustenta o rotor e a nacele, além de erguer todo o conjunto a uma altura onde as pás possam girar com segurança e distantes do solo.

Vejamos a seguir o desenho esquemático de um aerogerador moderno de acordo com a (figura 4)

**Figura 4** - Aerogerador moderno



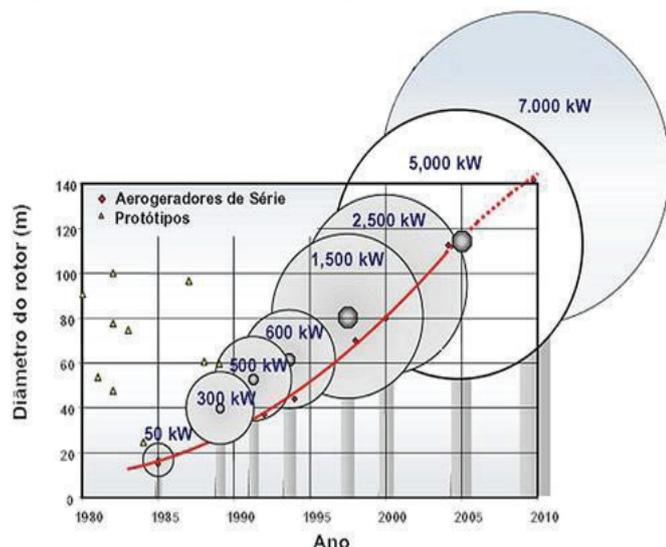
Fonte: ANEEL, 2005

Com relação à capacidade de geração elétrica, as primeiras turbinas desenvolvidas em escala comercial tinham potências nominais entre 10 KW e 50 KW. Na década de 1990, a potência das máquinas aumentou para a faixa de 100 KW a 300 KW. Em 1995, a maioria dos fabricantes de grandes turbinas ofereciam modelos de 300 KW a 750 KW. Em 1997, foram introduzidas comercialmente as turbinas eólicas de 1 MW e 1,5 MW, iniciando a geração de máquinas de grande porte. Em 1999 surgiram as primeiras turbinas de 2 MW e hoje existem de protótipos de 3,6 MW e 4,5 MW sendo testados na Espanha e Alemanha. Atualmente existem mais de mil turbinas eólicas com potência nominal superior a 1MW em funcionamento no mundo (ANEEL, 2005).

O aumento da capacidade de geração das turbinas eólicas é devido ao rápido desenvolvimento tecnológico nos últimos 20 anos, tanto em termos de potência

que hoje chega a cerca de 6000 KW atualmente, como em dimensões, onde o diâmetro das pás do rotor já atinge mais de 120 metros. As (figuras 5 e 6) apresenta a evolução da potência e do tamanho dos aerogeradores a partir da década 1980.

**Figura 5 - Evolução dos Aerogeradores comerciais**



Fonte: DUTRA, 2008

A turbina eólica atualmente mais utilizada tem 2000 KW de potência nominal, uma torre entre 68 e 85 metros de altura, um rotor com três pás de 80 metros de diâmetro. Em relação ao porte podem ser classificadas conforme a (figura 6):

**Figura 6 - Turbinas eólicas (da esquerda para a direita: pequena, média e grande)**



Fonte: ANEEL, 2005

Onde as pequenas com potência nominal menor que 500 KW: as médias com potência nominal entre 500 KW e 1000KW; e as grandes potências nominal maior que 1 MW (ANEEL,2005).

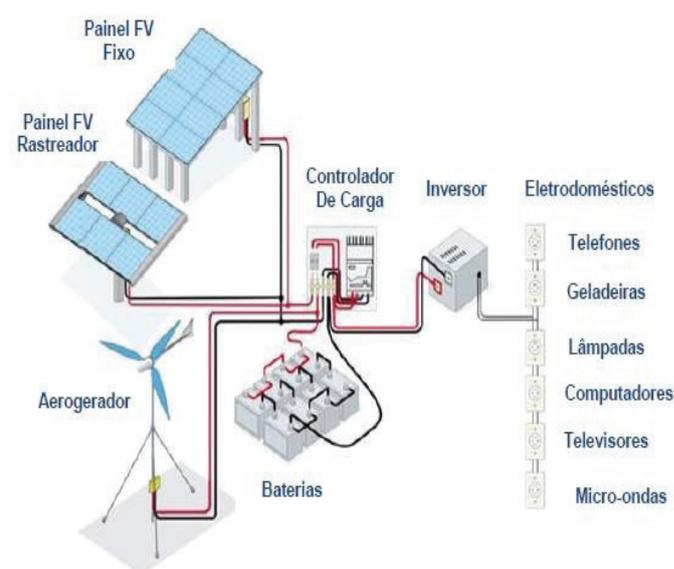
## 5. TIPOS DE SISTEMAS DE GERAÇÃO EÓLICA

- Um sistema eólico pode ter três aplicações distintas:
- Sistemas isolados
- Sistemas híbridos
- Sistemas interligados a rede

### 5.1 SISTEMA ISOLADO

Conforme o termo Isolado o contexto diz que a energia elétrica será utilizada nas regiões geográficas não atendidas pelos sistemas de transmissão, em geral se utiliza de alguma forma de armazenamento de energia, como por exemplo, baterias. Nesse tipo de sistema é necessário um dispositivo para controlar a carga e descarga do sistema de armazenamento. O controlador tem como principal objetivo evitar danos por sobrecarga ou descarga profunda. Para alimentar equipamentos que funcionam com corrente alternada (CA) utiliza-se um dispositivo chamado de inversor conforme a (figura 7): (DUTRA, 2008).

**Figura 7 - Configuração de um sistema eólico isolado**



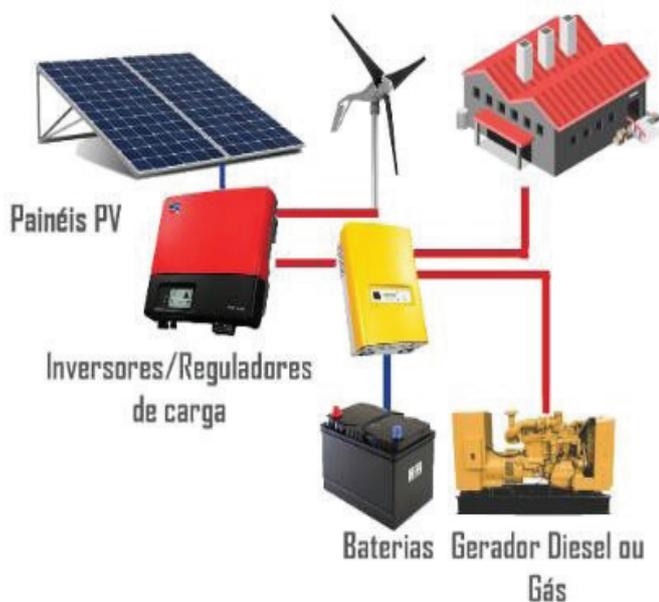
Fonte: Dutra, 2008

## 5.2 SISTEMAS HÍBRIDOS

Também são sistemas isolados, então como se diferenciaram do sistema isolado, simplesmente quanto ao número de fontes de geração utilizadas, combinadas com a geração eólica, que podem ser geração a diesel, painéis fotovoltaicos, e outros. São mais complexos e exigem o aprimoramento do uso de cada uma das fontes.

Destinados a atender um número maior de usuários, o sistema híbrido é empregado em sistema de médio a grande porte devido à grande complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular a cada caso conforme a (figura 8): (Dutra, 2008).

**Figura 8** - Configuração de um sistema híbrido solar-eólico-diesel ou gás



Fonte: DUTRA, 2008

## 5.3 SISTEMA INTERLIGADO À REDE

Esses sistemas interligados à rede requerem a implantação de parques eólicos, com potência unitária de 300 a 750 KW, em geral com 10 a 100 aerogeradores,

que são instalados, geralmente a 200 m uns dos outros, de forma a evitar a interferência no escoamento do vento nestes equipamentos. Uma densidade de instalação típica é 10 MW/Km<sup>2</sup> (CNI, 2009). Nesse sistema não há necessidade de armazenamento de energia, por que toda a geração é entregue diretamente à rede elétrica. Podem ser instalados em terra (onshore) ou no mar (offshore) conforme a (figura 9).

**Figura 9** - Exemplo de um parque eólico onshore.



Fonte: ANEEL, 2005

Apesar do aproveitamento da energia eólica no mar ser mais dispendiosa com estruturas de suporte para as torres, exigem sistemas submersos de transmissão de eletricidade e possuem condições de construção, manutenção e operação mais restritas. Estas instalações apresentam a vantagem de ventos normalmente mais favoráveis, a velocidade média do vento pode ser 20% maior do que em terra, e a energia gerada dos parques eólicos pode ser de até 70% maior (ABB, 2012). Representam o novo caminho de utilização, embora sejam de maior custo e dificuldade, o número tem crescido dessas instalações devido ao esgotamento de áreas de grande potencial eólico ou dificuldade de desapropriações de terra (figura 10).

**Figura 10** - Exemplo de um parque eólico offshore

Fonte: Fagá, 2004

**CONCLUSÃO**

Pode-se concluir que houve um avanço na produção de energia elétrica usando o vento como combustível, a energia eólica sabendo-se que uma torre a uma altura de 50 metros, requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s, para começar a produzir energia elétrica. Desde seu surgimento com o simples moinho até os modernos aerogeradores, chegando a gerar até 7.000W.

Portanto a energia eólica é uma das energias do futuro, mesmo trabalhando com outros tipos de produção de energia elétrica como a solar e as hidrelétricas, a energia eólica se mostra muito eficiente. Tanto em sistemas isolados híbridos ou interligados a rede. Com isso fica notável que a energia eólica avançou e continuará avançando cada vez mais, trazendo oportunidade da energia renovável.



## REFERÊNCIAS

- ABB, Better world. **Um novo vento para os parques eólicos offshore**. 2012. Disponível em: <<http://www.abb-betterworld.com/pt/case-study/um-novo-vento-para-os-parques-eolicos-offshore>>. Acesso em: 20 nov 2018.
- ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2005.
- CAMPOS, F. **Geração de Energia Eólica a Partir de Fonte Eólica com Gerador Assíncrono Conectado a Conversor Estático Duplo**. Tese (Doutorado) São Paulo: PUC, 2004.
- CRESESB. **Mecanismo de Geração dos Ventos**. 2014. Acesso em: 13 nov 2018. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=211](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=211)> Acesso em: 13 nov 2018.
- DUTRA, R. M. **Energia eólica: Princípios e tecnologia**. Rio de Janeiro: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Britto, 2008. Acesso em: 20 nov 2018. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial\\_eolica\\_2008\\_e-book.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf)>
- FAGÁ, M. T. W. ; RECH, Hélio . **A Energia Eólica no Brasil**. Rio de Janeiro: greenpeace.org.br, 2004 (Documento).
- GRUBB, M. J.; MEYER, N. I. Wind Energy: Resources, Systems and regional strategies. In JOHANSSON, T. B.; KELLY, H.; REDDY, A.; WILLIAMS, R. **Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity**. Washinton, D.C.: Islan Press, 1993.
- PICOLO, Ana Paula; BÜHLER, Alexandre J.; RAMPINELLI, Giuliano Arns. Uma abordagem sobre a energia eólica como alternativa de ensino de tópicos de física clássica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, 2014.
- REIS, L. B. dos. **Geração de Energia Elétrica**. Barueri: Manole Ltda, 2011.
- RESEARCHGATE. **Aerogeradores classificados de acordo com o eixo de rotação**. Acesso em 18 out 2018. Disponível em: <[Researchgate.net/](http://Researchgate.net/)>.
- RIBEIRO, Gilmar Lopes. **Parques eólicos impactos socioambientais provocados na região da praia do Cumbe, no município de Aracati Ceará**. Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro- SP, 2013.
- UFPR. **Movimentos da Terra, Estações**. 2009. Acesso em: 13 out 2018. Disponível em: <<http://sica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html> >