



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE GRADUAÇÃO LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA**

RENALY RIBEIRO MENDONÇA

ENERGIA EÓLICA: UMA TENDÊNCIA NACIONAL

CAMPINA GRANDE, PB

2014

RENALY RIBEIRO MENDONÇA

ENERGIA EÓLICA: UMA TENDÊNCIA NACIONAL

Monografia apresentada ao Curso de Graduação de Licenciatura Plena em Física da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. José Fideles Filho

CAMPINA GRANDE, PB
2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

M539e Mendonça, Renaly Ribeiro.
Energia eólica [manuscrito] : uma tendência nacional /
Renaly Ribeiro Mendonça. - 2014.
30 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) -
Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e
Tecnologia, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. José Fideles Filho, Departamento de
Física".

1. Energia eólica. 2. Turbina eólica. 3. Energia renovável. I.
Título.

21. ed. CDD 333.79

RENALY RIBEIRO MENDONÇA

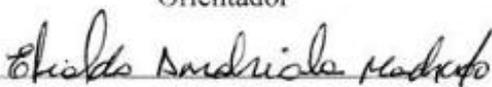
ENERGIA EÓLICA: UMA TENDÊNCIA NACIONAL

Monografia apresentada ao Curso de Graduação Licenciatura Plena em Física da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de Licenciado em Física.

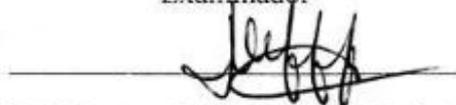
Aprovada em 22 de julho de 2014.



Prof. Dr. José Fideles Filho/UEPB
Orientador



Prof. Ms. Elialdo Andriola Machado /UEPB
Examinador



Prof.^a Dr.^a Morgana Lígia de Farias Freire / UEPB
Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que torna possível todas as coisas ao que Nele creê.

Agradeço a minha mãe Mércia, minha avó Antônia, por serem meus melhores exemplos, por me terem dado suporte e condições desde o início de minha vida para chegar até aqui e para avançar sempre, junto ao meu avô Manoel (in memoria) que, em vida, nunca mediu esforços para que eu tivesse o melhor.

Aos meus amigos que se fizeram presente nos momentos mais difíceis, me incentivando e apoiando. Em especial: Às minhas amigas de graduação, Aline e Chayenny, pela companhia na jornada e por toda a ajuda até aqui; a Kaio Fernandes, por tantos pequenos favores que somados foram de extrema importância para meu trabalho, a Karina Fernandes pela confiança e a Zaion Caled, amigo de longe, que esteve tão próximo quando precisei de alguém.

Agradecer de todo o coração ao meu orientador, professor José Fideles, cujo estímulo me instigou a acreditar nas minhas habilidades. Muito obrigada pela confiança e paciência, por toda a dedicação e por todos os “puxões de orelha”, pelo compartilhamento de conhecimentos que me proporcionou, indicando sugestões que contribuíram de forma significativa e pela receptividade quando o procurei para que me orientasse.

Agradeço a Universidade Estadual da Paraíba pela educação qualificada e a todos os professores do curso de Licenciatura em Física da UEPB, que contribuíram muito para a minha formação.

Agradeço em especial aos professores Elialdo Andriola e Morgana Lígia pela disponibilidade em compor a banca examinadora.

A todos, o meu muito obrigado!

“Às vezes ouço passar o vento, e só de ouvir o vento
passar, vale a pena ter nascido”.

Fernando Pessoa

RESUMO

O homem precisa de energia para manter e tornar mais confortável sua sobrevivência. Buscam-se alternativas para suprir essa demanda energética sem causar grandes danos ambientais. E nessa perspectiva surgem as fontes de energias renováveis. Este trabalho visa analisar o comportamento da velocidade do vento no município de Lagoa Seca, Paraíba, por meio de uma análise das medidas de tendência central, bem como analisar o seu potencial eólico. Além disso, são apresentadas as vantagens de se utilizar a energia eólica como fonte de energia elétrica e alguns conceitos presentes nesse processo de conversão. Conclui-se, que a energia eólica é limpa e não causa grandes impactos ambientais, sendo uma alternativa complementar às outras fontes renováveis. Porém, faz-se necessário um estudo detalhado do potencial eólico de cada local onde se pretende instalar usinas eólicas, para que se tenha um melhor aproveitamento energético.

PALAVRAS-CHAVE: Energia. Vento. Potencial Eólico.

ABSTRACT

The man needs energy to maintain and make more comfortable their survival. Alternatives are sought to meet this energy demand without causing significant environmental damage. In this perspective arise the renewables energies. This work aims to analyze the behavior of wind speed in Lagoa Seca, Paraíba, through an analysis of the measures of central tendency and analyze your Eolic potential. Furthermore, are presented the advantages of using wind energy as a source of electric energy and some concepts presented this conversion process. It is concluded that wind power is clean and does not cause strong environmental impacts and is a complementary alternative to other renewable energy sources. So, it is necessary a detailed study of wind potential of each place where to want to install wind farms, in order to have better energy utilization.

KEYWORDS: Energy. Wind. Wind Potential.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 ORIGENS HISTÓRICAS.....	12
2.2 O BRASIL E A ENERGIA EÓLICA.....	13
2.3 AS TURBINAS EÓLICAS OU AEROGERADORES.....	14
2.4 ENERGIA DOS VENTOS.....	16
3. METODOLOGIA.....	21
3.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	21
3.2 LOCAL DA COLETA DE DADOS.....	21
3.3 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DOS DADOS.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes tormentos do mundo de hoje é a questão relativa à energia: o homem precisa de energia para manter e tornar mais confortável sua própria sobrevivência. Porém, sabe-se que o aproveitamento desta ainda não atingiu um nível satisfatório, tendo em vista que a maior parte da energia utilizada no planeta é de origem não renovável. Por essa razão tem-se buscado novas alternativas que visem a maior distribuição possível junto com uma maior economia envolvida, além da preocupação com o meio-ambiente. Nessa perspectiva surgem as energias renováveis.

As energias renováveis são tipos de energias que, quando utilizadas são repostas rapidamente, enquanto que as fontes de energia consideradas não renováveis, como por exemplo, a energia obtida do carvão, do petróleo, do gás natural, de onde vem boa parte da energia utilizada, uma vez que são retiradas do solo e utilizadas não são repostas de imediato. Essas energias não podem ser repostas em escala de tempo humanas, e podem vir a se esgotarem.

Fornecer a maior parte de energia necessária para a humanidade, inteiramente de energia renovável, está se tornando uma perspectiva plausível: viver em um mundo onde se possa ligar uma luz de baixa tensão ou dirigir um carro elétrico sem ser cúmplice no aquecimento do planeta; onde as gerações futuras já não tenham que depender de fontes de eletricidade de usinas nucleares e de carvão (GIRARDET e MENDONÇA, 2009).

No Brasil, a maior parte da energia consumida vem das hidroelétricas, que apesar de ser uma fonte renovável não é livre de causar impactos ambientais e sociais negativos, além de não ser suficiente para atender as necessidades de todo o país. Dessa maneira, a utilização de outras fontes de energia renovável vem se tornando necessária, não com o intuito de substituir, mas sim colaborar com as hidroelétricas.

Como outras fontes de energia renovável, temos a biomassa, as energias solar, eólica, geotérmica e células de combustível, entre outras. Algumas dessas, apesar dos benefícios oferecidos, apresentam problemas consideráveis. Por exemplo, em se tratando da energia solar, alguns fatores tendem a comprometer a captação dessa energia, como nas vezes em que o sol não ilumina uma parte da terra, ou as situações de

mau tempo (SCARLATO e PONTIN, 1998). Já com relação à energia proveniente das águas (sistemas hidroelétricos), existem algumas dificuldades na construção de barragens, como a remoção da fauna, problemas para preservar ou até mesmo aproveitar a flora, alteração do ciclo hídrico, como também o prejuízo causado a biodiversidade de rios, além de ser necessário considerar a possibilidade e o risco de a barragem arrebentar (SCARLATO e PONTIN, 1998). Todos esses fatores levam à necessidade e à busca de uma fonte alternativa de energia em que os impactos ambientais sejam mínimos.

O uso da energia eólica é uma tendência mundial por ser caracterizada como uma forma de energia com poucos impactos, que contribui para a preservação do meio ambiente. Não requer água para a sua produção e nem gera gases de efeito estufa, por isso tem sido vista como a fonte de energia renovável mais promissora para a produção de energia elétrica, em curto prazo (VRIES et al., 2007), sendo no Brasil uma fonte de energia de custo menor que o gás natural e a biomassa.

No Brasil, apesar de existirem outras fontes de energia renovável de baixo custo, é no litoral nordestino onde existem algumas instalações para produção comercial. E quando se trata de produzir energia elétrica em escala comercial utilizando turbinas eólicas, isso é feito nos chamados parques eólicos.

Na perspectiva de Lucon e Goldemberg (2009):

O número de empregos gerados na produção de eletricidade por meio da energia dos ventos é cerca de cem vezes maior do que aquela gerada por um reator nuclear, para uma mesma quantidade de eletricidade. Os 120 GW de capacidade instalada em turbinas eólicas em todo o mundo produzem 260 TWh de eletricidade e evitam a emissão de 158 milhões de toneladas por ano de CO₂, que ocorreria caso essa energia fosse produzida a partir de fontes fósseis (LUCON e GOLDEMBERG, 2009, p.123).

O que ainda se tem discutido é o impacto visual causado por essas turbinas, além dos impactos causados à população de pássaros. Sobre isso, MacKay (2009) afirma que, pelo menos na Alemanha, anualmente, morrem mais pássaros vítimas de gatos e de colisões com carros do que por consequência de turbinas eólicas.

É notória a rapidez com a qual a humanidade caminha rumo a novos desastres ambientais, problemas ecológicos e o aquecimento global. Vive-se num mundo repleto de aparelhos e máquinas, um mundo que precisa de energia (e muita energia) para

funcionar, produzir, consumir e progredir. Algumas pessoas, porém, desconhecem as crises existentes no setor energético. Sendo assim, um importante passo para reverter esse quadro é o aproveitamento dos recursos naturais, e uma das alternativas que se destaca é o uso de fontes de energia que utilizem recursos naturais considerados inesgotáveis pela sua capacidade de se regenerar, como é o caso da energia eólica.

Com base nisso, este trabalho objetiva apresentar, por meio de um estudo de caso, o comportamento do potencial do vento, bem como de sua velocidade, por meio de uma análise das medidas de tendência central (média, mediana e moda). Além disso, vem ressaltar alguns aspectos condicionais para a implantação de parques eólicos, apresentar conceitos relacionados ao processo de conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica e trazer a importância do aproveitamento da energia do vento para fins energéticos e da contribuição que tal pode representar para o desenvolvimento sustentável do país.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Origens Históricas

Não se sabe ao certo em que momento na história foi descoberta ou desenvolvida a energia proveniente dos ventos, mas podem-se destacar alguns períodos de maior incidência do uso dessa energia.

Acredita-se que foram os egípcios os primeiros a fazer uso prático do vento. Por volta do ano de 2800 a.C. eles começaram a usar velas para ajudar a força dos remos dos escravos (ZEBRAL et al., 2012).

Os persas começaram a usar a força do vento poucos séculos antes de Cristo, e por volta de 700 d.C. eles estavam construindo moinhos de vento verticais elevados para serem usados como força nas mós, na moagem de grãos (ZEBRAL et al., 2012).

Porém, nas últimas décadas, as turbinas eólicas têm sido utilizadas para a geração de eletricidade. Para isso, o eixo da turbina deve ser conectado a um gerador elétrico. O primeiro moinho de vento para gerar eletricidade foi construído por James Blyth e instalado em sua casa de campo em Mary Kirk (PINTO, 2013). Como as velocidades de rotação da turbina são baixas, geralmente se utiliza um multiplicador de velocidade entre o eixo da turbina e o gerador. A energia é transferida para o sistema elétrico, ou para baterias que a armazenem, ou para que seja utilizada.

Mas, segundo Pinto (2013) Pour la Cour marca o ponto de transição entre os moinhos de vento e a moderna tecnologia de geração eólica. Ao construir uma turbina eólica experimental, em 1891, que acionava um dínamo. Ele usou a corrente contínua gerada pela turbina para eletrólise e armazenou o hidrogênio então produzido para fornecer eletricidade às áreas rurais da Dinamarca.

2.2 O Brasil e a Energia Eólica

Na década de 1970 até meados da década de 1980, após a primeira crise do petróleo, vários países, inclusive o Brasil, se preocuparam em desenvolver pesquisas na utilização da energia eólica como uma fonte alternativa de energia.

O marco inicial da energia eólica no Brasil foi em 1981 com o chamado Projeto Debra (sigla para as iniciais Deutschland e Brasil), entre o governo alemão através do Centro Aeroespacial da Alemanha – DEVL, resultado do incentivo vindo de estudos realizados pelo Centro de Tecnologia Aeroespacial (CTA) para a avaliação do potencial eólico para geração de energia elétrica na Região Nordeste (PINTO, 2013).

A primeira turbina eólica instalada data de julho de 1992, no arquipélago de Fernando de Noronha que na época de sua instalação respondia por até 10% da energia gerada no mesmo (PINTO, 2013). Dez anos depois, o governo criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) com o objetivo de incentivar a utilização de outras fontes renováveis, estabelecendo a instalação de 3.300 MW de energia produzida por essas fontes (SALINO, 2011).

A maior parte da energia elétrica utilizada no Brasil vem de fontes renováveis, que em 2010 contribuía com aproximadamente 90% da eletricidade do país (SALINO, 2011), se somadas às importações que também são renováveis, como representado na Figura 1.

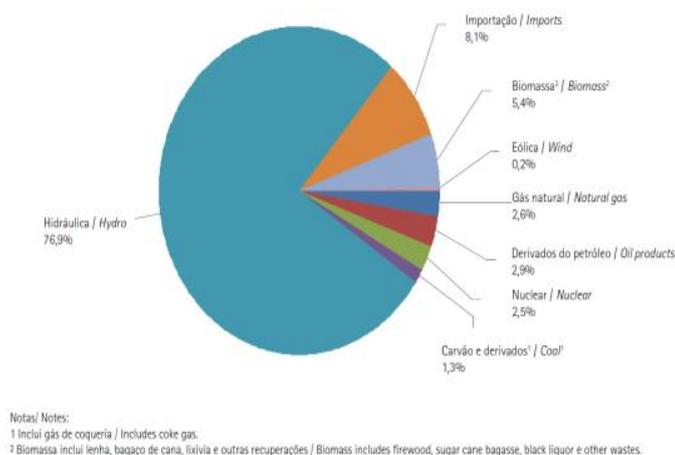


Figura 1. Matriz de geração elétrica nacional (Fonte: BEN, 2010).

Ao fim de 2009 o Brasil possuía uma potência de 600 MW, o que o colocou na 21ª posição no *ranking* mundial (PINTO, 2013). Em 2014, com base nos dados contidos no BIG (Banco de Informações de Geração) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) os valores aumentaram consideravelmente, resultando num total de 3.200 MW, gerado por 151 usinas eólicas (ou parques eólicos, onde são instaladas as turbinas) das quais 113 são instaladas no Nordeste, espalhadas por toda a região, com exceção apenas do estado de Alagoas. Dentre essas, 13 encontram-se na Paraíba, com a maioria situada em Mataraca.

Algumas pequenas indústrias já utilizam turbinas eólicas para lhe garantir autonomia energética. É o caso das Indústrias Becker, uma empresa instalada em São José de Mipibu – RN, voltada para a produção de produtos de limpeza (Figura 2).



Figura 2. Indústrias Becker Ltda. – São José de Mipibu – RN (Fonte: Autoria própria).

Com base em projeções realizadas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de energia elétrica evoluirá para 712 TWh em 2019 (SALINO, 2011).

2.3 As Turbinas Eólicas ou Aeroogeradores

As turbinas eólicas, também chamadas de aeroogeradores, são responsáveis por captar a energia dos ventos e a transformar em energia elétrica, podendo ser divididas em três partes principais: a torre, o nacelle e o rotor/pás (Figura 3).

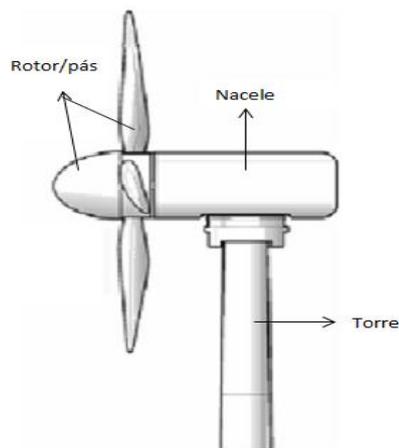


Figura 3. Principais partes das turbinas eólicas (Fonte: Lima, 2009 – adaptado).

A torre é a estrutura que sustenta e posiciona os rotores a uma altura adequada. Com o aumento do peso dos rotores e naceles e a necessidade de alturas cada vez maiores, as torres atualmente são feitas de metal tubular ou concreto (SALINO, 2011).

O nacele é o envoltório montado sobre a torre que abriga o gerador, a caixa de engrenagens e o sistema de controle (SALINO, 2011).

O eixo é o responsável pelo acoplamento das pás ao gerador. E são as pás que fazem a interação com o vento, transformando energia cinética em mecânica. Já a transformação da energia cinética em energia elétrica se dá através de equipamentos de conversão.

A escolha do número de pás vem da capacidade de captura de energia por elas. Se o diâmetro e a solidez (razão entre a área total das pás e área varrida por elas) forem constantes, o rendimento aumenta com o número de pás (SALINO, 2011).

A velocidade angular das turbinas, geralmente, varia entre 20 e 150 RPM e os geradores têm velocidade de trabalho entre 1200 e 1800 RPM (LIMA, 2009) fazendo-se necessário um sistema de engrenagens para a multiplicação da velocidade entre a turbina e o gerador.

De modo geral, o processo de conversão funciona da seguinte forma (representação na Figura 4):

- A força do vento gira as pás (que geralmente são três) que propulsionam o rotor. Este se conecta ao eixo principal que move o gerador;
- Dentro da turbina há um multiplicador de velocidade permitindo que o gerador produza eletricidade;
- A eletricidade é enviada por cabos que descem pelo interior da torre e se conectam com uma rede de energia.

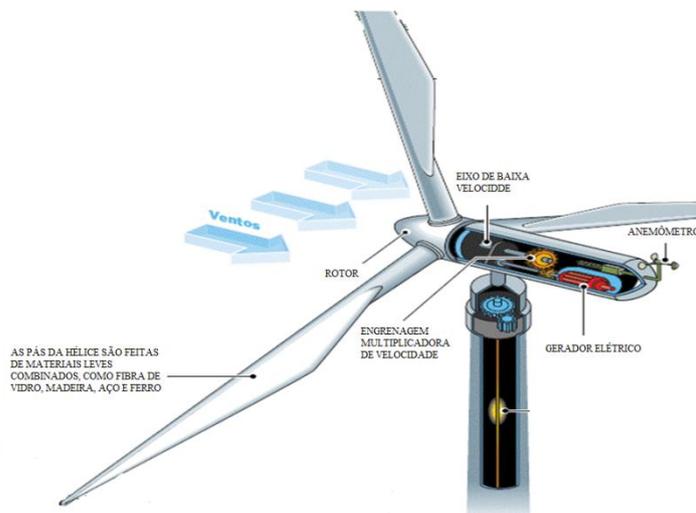


Figura 4. Representação do sistema de conversão de energia

(Fonte: <http://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com>).

2.4 Energia dos Ventos

O vento é originário da radiação solar, que atinge de forma mais intensa nas zonas equatoriais do que nas zonas polares, causando assim uma diferença de pressão na atmosfera. Os ventos mais fortes, mais constantes e mais persistentes ocorrem em áreas situadas a cerca de 10 km da superfície da terra (CASTRO, 2007, p.19), zonas impossíveis de se instalar conversores eólicos, sendo possível apenas há algumas dezenas de metros da atmosfera, o que acaba provocando uma diminuição na velocidade do vento. Por essa razão é necessário uma avaliação correta do potencial eólico quando

se busca a produção de energia elétrica. Para isso as medidas devem ser feitas especificamente para esse fim.

Gonçalves (2007) defende que existem três forças atuantes no vento, são elas a força do gradiente de pressão, força de Coriolis e força de atrito com a superfície terrestre. Enquanto que Pinto (2013) acrescenta ainda a força centrífuga e a força da gravidade.

O aquecimento desigual do ar atmosférico gera gradientes de pressão, causando diferenças de densidade e por consequência de pressão. E pela mecânica dos fluidos tem-se que a diferença de pressão é o fator que provoca o movimento.

A diferença de gradientes de pressão atmosférica gera o deslocamento do ar originando assim os ventos, que ao partir de zonas de maior para as de menor pressão sofrem influências também do movimento de rotação da Terra e da força centrífuga ao seu movimento (TUBELIS e NASCIMENTO, 1984).

A força de Coriolis recebe esse nome em homenagem ao engenheiro e matemático francês Gaspard Gustave de Coriolis, que em 1835 descreveu as leis da mecânica para um sistema de rotação (PINTO, 2013), essa força é decorrente da rotação da Terra e influencia a direção dos ventos. É uma aceleração aparente que tende a desviar um objeto que se movimenta livremente devido à rotação da Terra.

A força de atrito com a superfície define regiões de divergência de ventos, quando a superfície se eleva a grandes altitudes e regiões de convergência, em baixas altitudes.

São os rotores que captam a energia cinética dos ventos e a transforma em energia mecânica de rotação, porém, a quantidade de energia transferida ao rotor pelo vento depende, basicamente, da densidade do ar, quanto mais denso for o ar, maior a quantidade de energia recebida pela turbina; da área do rotor, tendo que a circunferência onde o rotor atua fisicamente é que determina quanta energia do vento a turbina eólica é capaz de captar; e da distribuição da pressão no rotor, à medida que o vento se aproxima do rotor a pressão do ar aumenta gradualmente.

Para a medição do vento utilizam-se instrumentos específicos como anemômetros e sensores de direção, essa medição deve ser feita a uma altura próxima

da altura onde ficará o cubo do rotor da turbina. Porém, as medições do vento além de serem realizadas em pontos da zona envolvente, devem ser feitas ao longo de alguns anos, pois tomar decisões baseadas num único registro medido ao longo de apenas um ano pode resultar no não funcionamento das turbinas eólicas, causando prejuízos por não conseguir obter um bom aproveitamento do vento.

A diversidade das fontes de energia é uma das principais prioridades para a política energética dos países desenvolvidos. Mas é necessário atentar-se às condições existentes para implantação de parques eólicos. É importante que os projetos sejam desenvolvidos com a colaboração das comunidades locais, para que sejam integrados na paisagem de forma adequada, visto que para algumas pessoas as turbinas são tidas como “intrusas”. Além do impacto visual, é importante considerar os ruídos produzidos pelas turbinas, os ruídos originados pela caixa de velocidade, gerador e motores e o produzido pelo movimento das pás. Outro critério para a escolha do local de instalação é a interferência eletromagnética com os sinais de comunicações, é necessário certa distância.

Quanto à forma de descrição do vento, tem-se, dentre outras, que o vento pode se descrito por meio da densidade espectral de energia (Figura 5), medida da energia cinética, associada à componente horizontal do vento (CASTRO, 2007).

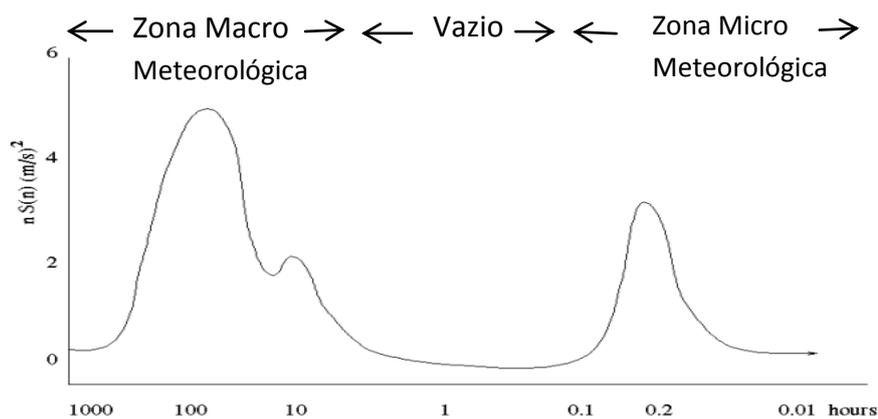


Figura 5. Densidade espectral de energia (Fonte: Castro, 2007 – adaptado).

Segundo Castro (2007), a velocidade média é calculada num período entre 10 minutos e 1 hora e representa o regime quase estacionário, onde as variações são lentas,

se comparadas às variações associadas à turbulência. No caso onde as variações são lentas, recorre-se a distribuições estatísticas, do tipo densidade de probabilidade, isto é, a probabilidade de a velocidade do vento ser igual a certo valor.

As turbulências podem vir a diminuir o prazo de utilidade das turbinas, visto que a componente flutuante do vento pode ter energia cuja frequência se aproxime da frequência de oscilação da estrutura das turbinas eólicas. Portanto, a turbulência torna-se mais um elemento determinante no projeto das turbinas eólicas.

Algumas características do vento também devem ser consideradas quando se pretende instalar um sistema de aproveitamento de energia eólica. Um dos fatores que contribuem para a diminuição da velocidade do vento são os obstáculos, além de serem fontes de turbulência.

A Figura 6 representa a forma como o escoamento é afetado na área que envolve o obstáculo, notando que a turbulência é mais intensa na parte de trás do que na parte do obstáculo.

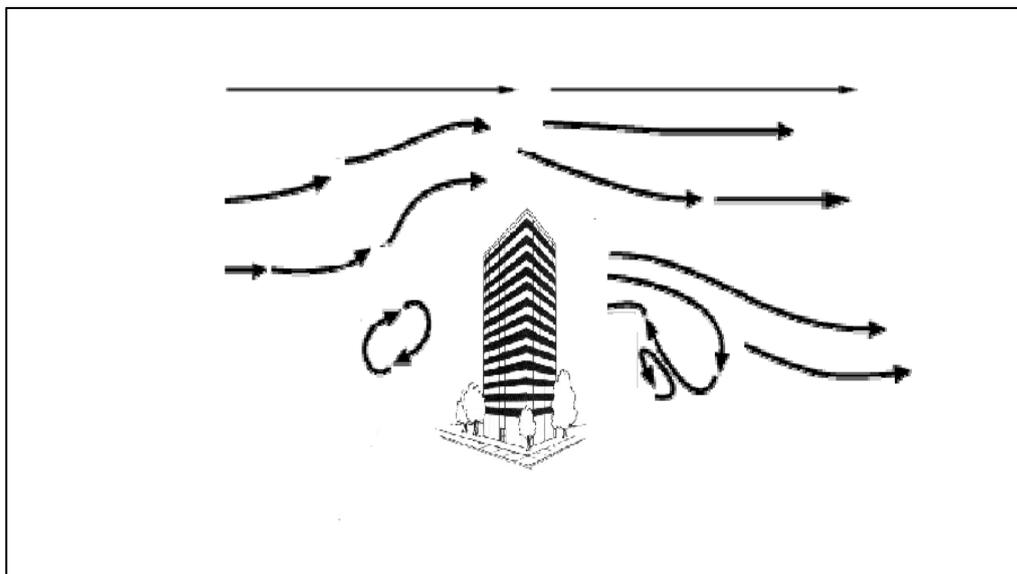


Figura 6. Escoamento na zona que envolve um obstáculo (Fonte: Autoria própria).

Em alguns lugares a velocidade do vento aumenta com a altura, isso devido a um fenômeno chamado “Wind Shear” (cisalhamento do vento).

Em locais que possuem grandes construções, só atingem velocidades razoáveis de vento após uma elevada altura, por conseguinte, ao nível do mar os ventos são mais rápidos em altitudes menos elevadas (SANTOS et al., 2006).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo estão descritos os dados e a metodologia utilizada na análise da velocidade do vento no município de Lagoa Seca, na Paraíba.

3.1. Local de Realização da Pesquisa

A pesquisa foi realizada no Departamento de Física da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB – localizada no município de Campina Grande¹.

3.2. Local da Coleta de Dados

Os dados apresentados foram fornecidos pela Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba (EMEPA-PB) na Estação Experimental de Lagoa Seca, através de uma estação meteorológica automática. Lagoa Seca está localizada na microrregião homogênea do agreste paraibano, com coordenadas geográficas de 7° 09' S e 3° 52' W e altitude de 634 m. O clima é o tropical chuvoso, com estações secas no verão. A pluviosidade média dos últimos 14 anos é de 940 mm, com maior incidência de chuva no período entre março e agosto. A umidade relativa do ar média é de aproximadamente 60% e a temperatura média anual é de 22 °C. Os dispositivos que serviram de base para a pesquisa consistem de conchas e Data-Logger, com as seguintes características: faixa de medição de 0 – 96 m/s, incerteza $\pm 0,4$ m/s, sensibilidade menor que 0,5 m/s e resolução de 0,1 m/s, no período de 2003 a 2004.

¹ Área de 621 km². Situada a uma altitude de aproximadamente 550m acima do nível do mar, na região oriental do Planalto da Borborema. As coordenadas geográficas são 7° 13'11'' de latitude Sul e 35° 52'31'' de longitude Oeste.

3.3. Procedimentos Para Análise dos Dados

A melhor maneira de se medir a velocidade do vento consiste em colocar o anemómetro no topo de um mastro que tenha uma altura (H_a) igual a altura da turbina eólica (H).

A velocidade média do vento à altura da turbina eólica é calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$V_H = \bar{v} \left(\frac{H}{H_a} \right)^\alpha \quad (1)$$

Onde α é denominado expoente de corte do vento. O expoente α está diretamente relacionado com a rugosidade do terreno onde está implantada a turbina eólica. Normalmente, adota-se para α o valor de “1/7”.

O primeiro tratamento dos dados válidos antes da análise estatística foi a determinação da potência média do vento.

Tem-se que a energia cinética de um corpo (nesse caso, da massa do ar) é:

$$E = \frac{m.v^2}{2} \quad (2)$$

A potência pode ser obtida ao se verificar como essa energia cinética varia com o tempo. Logo, a potência P é simplesmente a derivada da energia cinética para aquele intervalo de tempo:

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \left(\frac{dm}{dt} \right) v^2 \quad (3)$$

Para uma seção transversal de área A , a massa do ar é

$$m = \rho A v \quad (4)$$

Em que ρ é a massa específica do ar ($\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$).

Substituindo a Equação (4) em (3), temos a Equação para a potência do vento:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (5)$$

A partir da fórmula apresentada por Betz, para uma área circular $A = 1\text{m}^2$ varrida pelas pás no seu movimento de rotação, obtém-se para a potência máxima teórica a seguinte expressão:

$$P = 0,0001935 v^3 \quad (6)$$

Sendo V , expresso em m.s^{-1} e P em kW.

A análise dos resultados consistiu, num primeiro momento, na construção da frequência relativa que foi determinada pela razão entre o número de ocorrências nas diferentes escalas e o número total de registros no período de 01/01/2003 a 31/12/2003. Em seguida fez-se uma análise estatística dos dados de vento por meio da determinação das medidas de tendência central e de dispersão, utilizando como ferramenta o Excel.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observa-se pela Figura 7 que a velocidade no intervalo entre 1,6 e 3,3 m/s, chamado de brisa pela escala BELFORT, apresenta maior frequência, com 248 ocorrências, o que corresponde a 67,95%, enquanto que o vento com velocidade entre 3,3 e 5,4 m/s, denominado vento suave pela mesma escala, apresenta frequência de aproximadamente 29,59%, e os valores do vento com menor frequência, em torno de 2,47%, que o vento denominado aragem pela escala BEAUFORT.

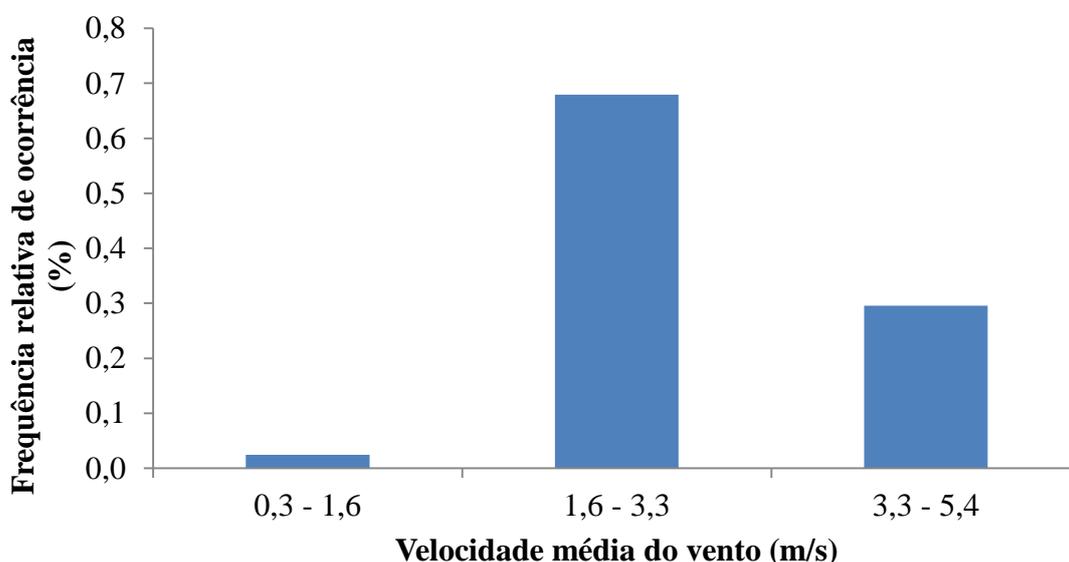


Figura 7. Frequência relativa de ocorrências da velocidade do vento em Lagoa Seca, PB, 2003.

Com base nas análises estatísticas realizadas com os dados de vento coletados em Lagoa Seca - PB no ano de 2003 são apresentados os resultados a seguir.

Na Figura 8, estão representadas as medidas de tendência central (média, mediana e moda) da velocidade do vento analisadas mensalmente. Conforme se depreende da análise da referida Figura, destaca-se durante o período de observações que tais medidas se comportam de forma semelhante. Nota-se que entre os meses de fevereiro e junho o vento apresenta baixas velocidades, tendo seu valor mínimo, de 2,1 m/s, nos meses de abril e junho, voltando a aumentar a partir de julho, com valor

máximo de 3,8 m/s em outubro. Assim tem-se que a velocidade média do vento variou entre 2,1 m/s e 3,8 m/s.

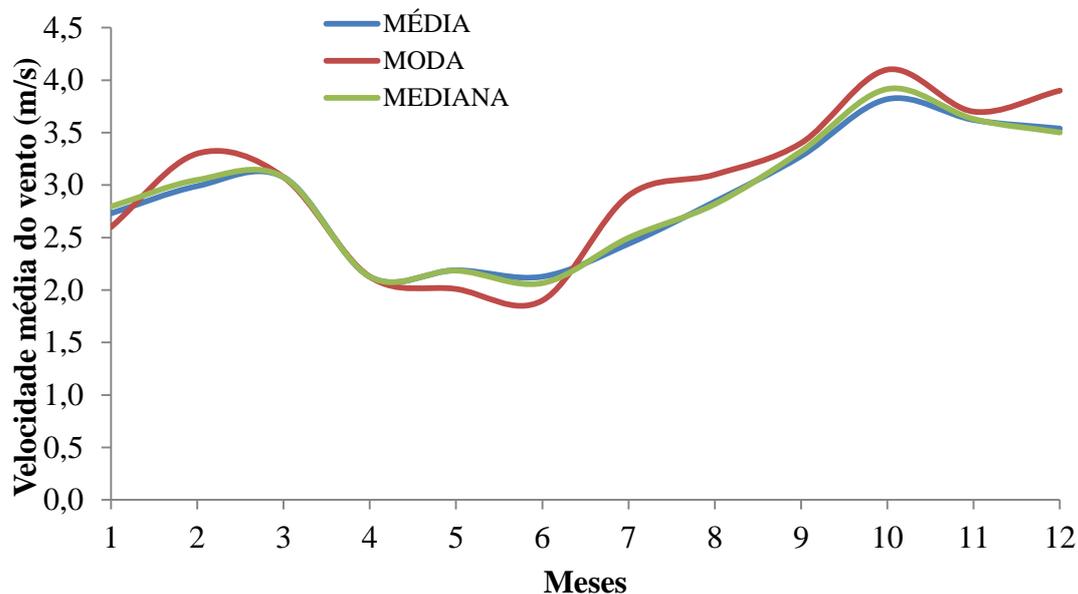


Figura 8. Medidas de tendência central (média, mediana e moda) da velocidade média do vento em Lagoa Seca, PB, 2003.

Analisando ainda a Figura 8 por estações tem-se que os menores valores de média de velocidade acontecem no outono, enquanto que as maiores ocorrem durante a primavera, justificando-se devido ao fato de essas estações serem consideradas de transição, quando o Sol passa de um hemisfério para outro.

Quanto às medidas de dispersão (Figura 9 e 10), percebe-se que os meses de março e setembro apresentam menor variação de desvio padrão, 0,33 e 0,28 m/s, com coeficientes de variação em torno de 10,8% e 8,5%, respectivamente, coincidindo com os meses em que acontecem os equinócios. Percebe-se também que é em novembro que ocorre a maior variação de desvio padrão, 0,68 m/s, com coeficiente de variação em torno de 18,7%, mas é em abril que se tem a maior dispersão em relação a média, chegando a 22% o coeficiente de variação. Dessa forma, o coeficiente de variação apresenta valores considerados de média dispersão, entre 8,5 e 22%. Esses resultados evidenciam que os valores médios são um indicativo para representação do comportamento do vento em um dado local.

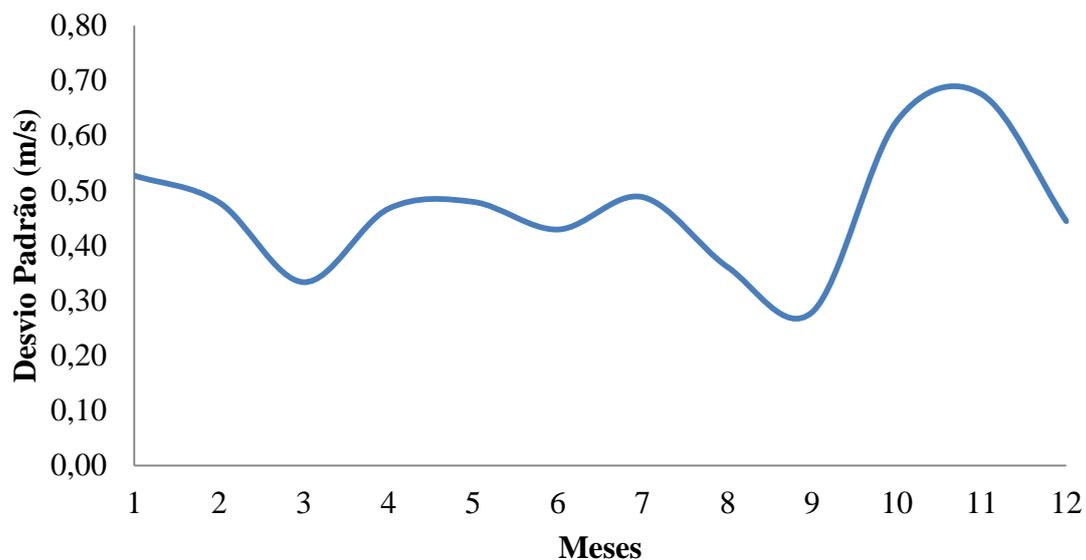


Figura 9. Desvio padrão (m/s) da velocidade média do vento em Lagoa Seca, PB, 2003.

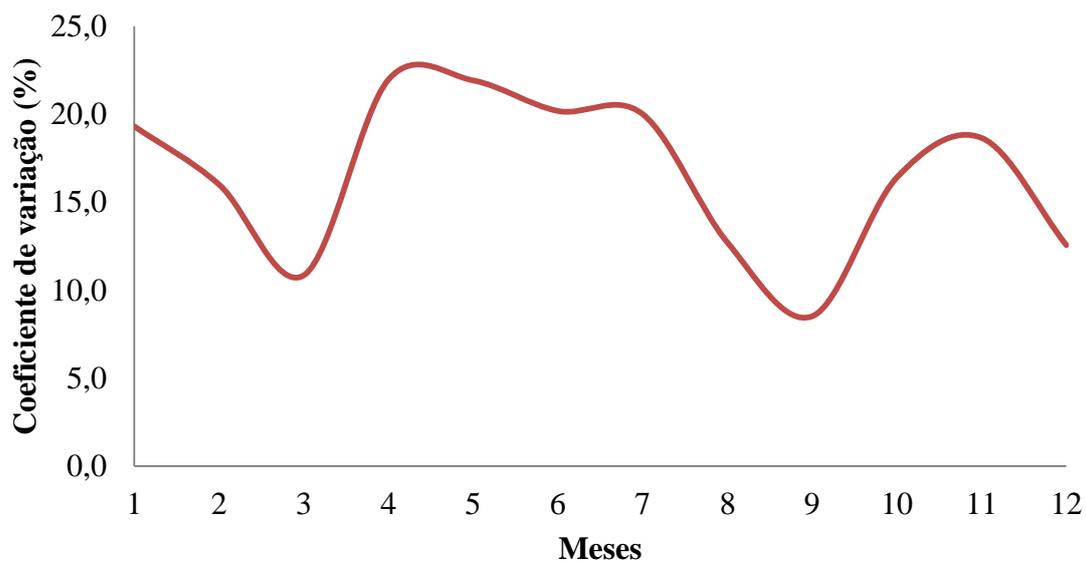


Figura 10. Coeficiente de variação (%) da velocidade média do vento em Lagoa Seca, PB, 2003.

Na Tabela 1 são apresentados os valores da potência média de cada mês que são calculadas com base na equação (6).

Tabela 1. Velocidade média e potência média de vento em Lagoa Seca, PB, 2003.

Meses	Vel. Vento (m.s ⁻¹)	Pot. Média (kW)
Jan	2,73	3,94 x 10 ⁻³
Fev	2,98	5,09 x 10 ⁻³
Mar	3,08	5,63 x 10 ⁻³
Abr	2,13	1,86 x 10 ⁻³
Mai	2,19	2,03 x 10 ⁻³
Jun	2,13	1,86 x 10 ⁻³
Jul	2,44	2,82 x 10 ⁻³
Ago	2,84	4,44 x 10 ⁻³
Set	3,28	6,80 x 10 ⁻³
Out	3,82	1,08 x 10 ⁻²
Nov	3,62	9,20 x 10 ⁻³
Dez	3,54	8,50 x 10 ⁻³
MÉDIA	2,90	5,25 x 10 ⁻³

Verifica-se que as maiores potências foram obtidas no último trimestre, coincidindo com os meses de menor intensidade de chuva, ou seja, os meses com menos chuvas são aqueles em que se tem maior intensidade de vento. Isso o coloca como uma grande fonte suplementar à energia gerada por hidrelétricas.

O fato de se obter estes valores não significa que a região seja inadequada para geração de energia, visto que podem existir fatores como o local da Estação Experimental, a vegetação presente ao seu redor e a posição do aparelho em relação ao vento que podem influenciar significativamente na coleta dos dados para este tipo de expectativa, é importante, portanto, o conhecimento pontual dos ventos. Vale salientar que a área do rotor dos motores eólicos é geralmente superior a 1 m², o que aumenta consideravelmente o potencial eólico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme apresentado no decorrer do trabalho, o Brasil e o mundo vêm demonstrando um grande interesse no aumento do uso de energias renováveis (ou alternativas), principalmente devido à diminuição da dependência de combustíveis fósseis, além das questões ambientais. Além disso, no Brasil a energia eólica apresenta uma grande vantagem que é a sua complementariedade com as hidrelétricas, visto que os períodos em que os reservatórios estão em seus níveis mais baixos coincidem com os períodos de maior intensidade dos ventos.

O aproveitamento da energia eólica tende a ser de fundamental importância em um futuro próximo, pois poderá suprir as necessidades de populações de pequeno porte, deixando para as fontes convencionais de energia a responsabilidade com as maiores demandas de energia, visto que uma indústria necessita de muito mais energia que uma residência comum. Dessa forma, espera-se que a implantação de fontes de energia alternativa seja suficiente para toda a demanda de energia do planeta.

Desde os primeiros captadores de vento até os mais modernos aerogeradores verifica-se que em toda a sua construção estão envolvidos grandes conhecimentos de aerodinâmica até o monitoramento por programas sofisticados.

Dessa forma, para se instalar novos parques eólicos é necessária uma série de dados de ventos por um período maior do que o apresentado nesse trabalho, além da implantação de uma tecnologia mais eficiente e outros aprimoramentos de modo a melhor aproveitar o recurso eólico disponível no local, mas esses casos deverão ser estudados individualmente devido às particularidades de cada usina.

Conclui-se que para a implantação de parques eólicos deve haver altos investimentos em pesquisas. Então, a implantação do uso de energia deve buscar formas de diminuir os custos relativos à manutenção, diminuir os impactos ambientais e aumentar o rendimento das turbinas de forma a suprir (ou tentar suprir) nossa necessidade energética.

O entendimento da dinâmica dos ventos e da probabilidade de seus acontecimentos é de fundamental importância, visto que interfere na vida cotidiana e possui diferentes aplicações.

Sabe-se que a queima de fósseis produz dióxido de carbono (CO₂) que contribuem para o aquecimento global. A energia eólica é, portanto, limpa, não advém da queima de fósseis e não emite poluentes. Constitui-se, então, numa alternativa complementar às outras fontes renováveis de energia.

De todo modo, cabe agora observar o desenvolvimento dos empreendimentos que vem surgindo para que possa ser dada continuidade à evolução tecnológica da energia eólica no país, e assim, planejar da melhor forma a expansão da matriz de energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTRO, Rui M. G. **Energias renováveis e produção descentralizada – Introdução à energia eólica**. 3ª ed. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa, 86p, 2007.

GIRARDET, Herbert; MENDONÇA, M. **A renewable world: energy, ecology and equality. A report for the World Future Council**. Green Books & Resurgence Books, 1ª ed. UK, 2009.

GONÇALVES, R. C. **Análise de frequência regional de ventos extremos no Paraná**. Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

LIMA, M. R. de. **O uso da energia eólica como fonte alternativa para solucionar problemas de energia e bombeamento de água subterrânea em locais isolados**. Pós-Graduação em Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais 2009.

LUCON, O.; GOLDEMBERG, J. “Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil”. **Estudos avançados**, v. 23, n. 65, p. 121-130, 2009.

MACKAY, D. **Sustainable energy – without hot air**. UIT Cambridge: LTD, 2009.

MME. **Balanco Energético Nacional – BEM**. Ministério de Minas e Energia/ Empresa de Pesquisa Energética, 2010.

PINTO, M. **Fundamentos de Energia Eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

SCARLATO, F. C.; PONTIN, J. A. **Energia para o século XXI**. São Paulo: Editora Ática, 1998.

SALINO, P. J. **Energia eólica no Brasil: Uma comparação do PROINFA e dos novos leilões**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SANTOS, A. A.; RAMOS, D. S.; Santos, N.T.F.; OLIVEIRA, P. P. **Energia eólica – Projeto de geração de energia eólica**. Universidade Santa Cecília, Santos, 2006.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. C. L. do. **Meteorologia descritiva. Fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo, Nobel, 1984. 374p.

VRIES, B. J. M. de; VAN VUUREN, D. P.; HOOGWIJK, M. M. “Renewable energy sources: Their global potential for the first-half of the 21st century at a global level: An integrated approach”. **Energy policy**, v. 35, n. 4, p. 2590-2610, 2007

ZEBRAL, D. E. da S.; ARÊAS, G. S. de A.; SILVA, J. de A. “Energia Eólica: o uso de energias renováveis nas plataformas de petróleo”. **Bolsista de Valor**, v. 2, n. 1, p. 55-62, 2012.