

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE AGRONOMIA

RAQUEL FEITOSA COSTA

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS/MA

CHAPADINHA

2016

RAQUEL FEITOSA COSTA

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS/MA

Monografia apresentada ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Carliane Diniz e Silva

CHAPADINHA

2016

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Costa, Raquel Feitosa.

Determinação do potencial eólico do município de São Luís-MA / Raquel Feitosa Costa. - 2016.

36 f.

Orientador(a): Carliane Diniz e Silva.

Monografia (Graduação) - Curso de Agronomia,
Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha- MA, 2016.

1. Energia alternativa. 2. Energia renovável. 3.
Velocidade do vento. I. Silva, Carliane Diniz e. II.
Título.

RAQUEL FEITOSA COSTA

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS/MA

Monografia apresentada ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Carliane Diniz e Silva

Aprovada em: ___/___/___

Banca Examinadora

Prof. Dra. Carliane Diniz e Silva (orientadora)

Doutora em Agronomia

Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Khalil de Menezes Rodrigues

Doutor em Agricultura Tropical e Subtropical

Universidade Federal do Maranhão

Taise Borges Facundes Silva

Mestranda em Ciência Animal

Universidade Federal do Maranhão

Dedico este trabalho aos meus avós paternos e maternos. Jonas Costa “In memoriam” e Maria Alice Feitosa Costa, Firmino da Silva “In memoriam” e Rosa de Fátima, pela existência de meus pais Osvaldo Luiz Feitosa Costa e Rosileia da Silva, pois sem eles este trabalho e muitos dos meus sonhos não se realizariam.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, o que seria de mim sem a fé que eu tenho Nele.

A minha mãe, Rosileia Costa da Silva, por tudo. Porque se hoje estou na reta final deste curso é devido a sua persistência em mim.

Ao meu pai, Osvaldo Luiz Feitosa Costa, que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e para mim foi muito importante.

Aos meus irmãos Moisés, Maria Luiza e Lara, pelo incentivo, ainda que a distância.

Ao meu padrasto André Nilton pelo apoio e incentivo constante.

Aos meus primos. Em especial, Larissa e Victor, a nossa conexão é forte além de primos somos irmãos.

Aos meus tios e tias. Obrigada, obrigada, obrigada pela confiança em mim depositada.

A minha avó Maria Alice pelas palavras de conforto, conselhos. Sou imensamente agradecida por tudo.

Ao meu namorado Joemerson pela paciência, pelo incentivo, pela força e principalmente pelo carinho.

A minha amada sogra Ruth por ser uma segunda mãe, amiga, paciente e bondosa.

A família Almeida Torres por muitas vezes me adotar e me fazer sentir em casa quando a saudade dos meus era grande. Obrigada Dona Rosário, Fernanda, Luciana.

As minhas amigas lindas e maravilhosas Lud e Fernandinha que mesmo com a distância nossa amizade nunca foi abalada, ao contrário. Amo vocês.

Aos meus amigos que conquistei durante a graduação. Sim meus amigos. Luana, Pedro, Ricard, Serginho, Ludhanna, Gustavo, Grazy, Cecília, Edvany, Kellyane e Pablo. Quando eu achei que não tinha amigos em Chapadinha, lá eles estavam.

A minha orientadora Dr^a Carliane Diniz e Silva, pela orientação, pela amizade, pelas horas de conversas em sua sala. Admiro-te.

A Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e o Campus de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA) pela oportunidade de realização deste curso.

Aos professores da UFMA pelos conhecimentos repassados. Em especial aos que me ensinaram também fora da sala de aula Solange de Araújo Melo, Jefferson Costa de Siqueira.

A todos os funcionários da Universidade, mas não poderia deixar de agradecer ao Sr. Igreja que atenciosamente atendia a meus desesperos na coordenação.

A turma 2011.1 a qual tenho orgulho de fazer parte, sem dúvida a turma que marcou o CCAA, por me acolher na minha chegada meio atrasada (já se passavam um mês de aula). Em especial Anni, Gabi, Gabs, Tiago Jansen, Vanila, as catitas Larissa e Heyd. Vocês são demais!

Obrigada a todas as pessoas que contribuíram para realização deste trabalho. Sou o resultado da confiança e da força de cada um de vocês.

RESUMO

A busca de novas fontes alternativas de produção de energia limpa impulsionou a geração da energia eólica que se tornou uma alternativa para o sistema hídrico brasileiro assegurando assim o sistema elétrico. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar o potencial eólico de São Luís para possível aproveitamento desta energia a nível local. A pesquisa foi realizada com os dados médios mensais de velocidade e direção do vento do intervalo de anos de 2008 a 2015 sendo estes fornecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). O sensor que mediu a velocidade e a direção do vento está a 10m de altura do solo localizado na Estação Meteorológica A203-São Luís que fica em um bairro central da cidade. Estes dados foram submetidos a análises para verificar a possibilidade da utilização do potencial eólico, em função do comportamento dos ventos. Os resultados apontam que a velocidade média mensal dos ventos em São Luís no intervalo de anos pesquisado varia de 1,0 a 2,9 m.s⁻¹. O potencial eólico varia de 0,67 a 15,73 W.m⁻². O período de maior potencial eólico acontece no período que se estende da metade do inverno, mais precisamente no mês de agosto, e em toda a primavera, que compreende os meses de setembro, outubro e novembro. Coincidindo com o período de menor precipitação. A direção predominante dos ventos é a NE.

Palavras-chave: Energia alternativa; Velocidade do vento; Energia renovável.

ABSTRACT

The search for alternative sources of clean energy production boosted the generation of wind energy has become an alternative to the Brazilian water system thereby ensuring the electrical system. The objective of this research was to evaluate the wind potential of St. Louis for possible use of this energy at the local level. The survey was conducted with the monthly average data speed and direction of the 2008-year interval the wind to 2015 and these provided by INMET (National Meteorological Institute). The sensor that measured the speed and direction of the wind is 10m from the ground located on the A203-San Luis Weather Station which is located in a central district of the city. These data were subjected to analysis to verify the possibility of using wind energy potential, depending on the behavior of the winds. The results show that the average monthly rate of St. Louis in winds in years range investigated varies from 1.0 to 2.9 m.s⁻¹. The wind potential varies from 0.67 to 15.73 W.m⁻². The largest wind potential period happens in the period extending from the middle of winter, more precisely in the month of August, and throughout the spring, which covers the months September, October and November. Coinciding with the period of lowest rainfall. The predominant wind direction is NE.

Keywords: Alternative Energy; Wind speed; Wind potential.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar. (Fonte: CEPEL, 2001).....	5
Figura 02: Média da velocidade mensal do vento e precipitação total mensal de 2008 a 2015 em São Luís/MA.....	11
Figura 03: Média mensal da velocidade do vento e potencial eólico de 2008 a 2015 em São Luís/MA.	13
Figura 04: Direção média mensal em (graus) predominante dos ventos de 2008 a 2015 em São Luís/MA	15

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Valores da constante de proporcionalidade "k" para o cálculo do potencial eólico para diferentes unidades de Pressão, Área e Velocidade.....	9
---	---

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Velocidade do vento média mensal no intervalo de anos de 2008 a 2015 no município de São Luís.	11
Quadro 02: Precipitação total mensal de 2008 a 2015 em São Luís/MA.....	12
Quadro 03: Média mensal da velocidade do vento e potencial eólico (PE) de 2008 a 2015 em São Luís/MA.	13
Quadro 04: Direção média mensal predominante dos ventos de 2008 a 2015 no município de São Luís.	14

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEÓLICA Associação Brasileira de Energia Eólica

EPE Empresa de Pesquisa Energética

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET Instituto Nacional de Meteorologia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Energia eólica	3
2.2 Origem dos ventos	5
2.3 Potencial eólico.....	5
2.4 Histórico do aproveitamento da energia eólica.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Análise dos dados	8
3.2 Metodologia.....	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
4.1 Precipitação Pluviométrica Total Mensal e Velocidade do Vento Média Mensal	10
4.2 Velocidade do Vento Média Mensal e Potencial Eólico Médio Mensal	12
4.3 Direção Dominante dos Ventos em São Luís	14
5. CONCLUSÃO	16
REFERÊNCIAS	17
ANEXO I.....	20
ANEXO II	21
ANEXO III.....	22

1. INTRODUÇÃO

Com a inconstância das chuvas, a geração de energia eólica tornou-se uma alternativa para o sistema hídrico brasileiro assegurando assim o sistema elétrico, que vêm passando por uma crise desde os anos 70, quando a crise do petróleo fez com que a busca por alternativas energéticas fossem pautadas e discutidas. Além da questão do uso de matérias primas para obtenção de energia, vários acontecimentos relacionados a condições ambientais e mudanças nos ciclos naturais vieram a ser constantes em todo o mundo.

O potencial eólico de uma região requer trabalhos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime de ventos. Uma boa avaliação conta com levantamentos específicos, dados coletados de estações meteorológicas, dados de aeroportos ou outras aplicações semelhantes que possam fornecer estimativas do potencial bruto e utilização da energia eólica (ANEEL, 2006).

O cenário político brasileiro e os ajustes econômicos mundialmente não impedem que o setor de geração de energia eólica brasileiro caminhe para uma consolidação, sendo a implantação desta fonte no Brasil impressionante pela evolução rápida.

Outro fator importante, como incentivo, é a possibilidade de complementaridade entre a geração hidrelétrica e a geração eólica, visto que o maior potencial eólico, na região Nordeste, ocorre durante o período de menor disponibilidade hídrica (ANEEL, 2006). Sendo que, a região Nordeste concentra mais de 35% da potência eólica brasileira (GWEC, 2010). Destacando-se os estados do Ceará e Rio Grande do Norte.

A matriz elétrica brasileira que apresenta uma configuração renovável-térmica, apresenta capacidade eólica instalada de 9,81 GW, a participação dessa fonte na matriz é de 6,7%. Este dado confirma-se com o total de 398 usinas instaladas no Brasil, uma capacidade instalada de 9,96 GW.(ABEEÓLICA, 2016)

A cidade de São Luís é a capital do estado do Maranhão, está situada ao norte, localiza-se na região nordeste do Brasil. Está localizada pelas coordenadas geográficas 2° 24` 10” e 2° 46` 37” de latitude Sul e 44° 22` 39” e 44° 22` 39” de longitude Oeste, com área total de aproximadamente 831,7 Km². Possui uma população de 1.067.974 habitantes. A Ilha é composta pelos seguintes municípios: São Luís (capital), São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. (IBGE, 2010).

A possibilidade de aproveitamento desta energia renovável é forte, pois São Luís é uma ilha, que de maneira geral, possui menos obstáculos para a passagem livre dos ventos. No entanto, é sempre necessária a verificação desta probabilidade dentre os dados disponíveis.

A hipótese desta pesquisa foi à verificação se a velocidade dos ventos na ilha de São Luís é alta para colocar em funcionamento um sistema hidráulico de bombeamento de água e se a direção predominante dos ventos é a Nordeste.

Diante dos fatos, a pesquisa tem como objetivo conhecer a velocidade dos ventos e sua direção e, conseqüentemente, estimar o potencial eólico do município de São Luís para um possível aproveitamento dos ventos em forma de energia, contribuindo para o meio ambiente com maior proporção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Energia eólica

Denominamos energia renovável à forma de energia cuja reposição na natureza dá-se de forma mais rápida do que sua utilização pelo homem, em contraste com as energias não-renováveis, de caráter finito ou cuja reposição não se dá na mesma velocidade de sua utilização (CAMPOS, 2004). Dentre as fontes de energias renováveis, podemos citar a energia solar, energia de marés e a energia eólica.

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cataventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água (AMARANTES, 2001).

A tecnologia atual de fontes alternativas de energia proporciona amplas possibilidades de aplicação da energia eólica em bases competitivas. Essas aplicações são encontradas tanto em uma escala muito pequena (pequenos aerogeradores para bombeamento e aquecimento doméstico de água e geração de eletricidade para pequenos eletrodomésticos) quanto em grande escala (irrigação e geração de eletricidade para injeção na rede elétrica de utilidade pública). A complexidade tecnológica envolvida nessas aplicações varia bastante, podendo-se encontrar desde sistemas eólicos simples até os que exigem uma maior sofisticação (SILVA, 1999).

Relacionado à questão energética, é importante citar o conceito de complementaridade hidro-ambiental do sistema de produção de energia associado à variabilidade das fontes energéticas. Este conceito tem como base o ciclo climático sazonal da precipitação (fonte responsável maior produção de energia hidroelétrica no Brasil) e as outras variáveis atmosféricas como velocidade do vento e radiação solar. Por exemplo, no Nordeste Brasileiro, o primeiro semestre é marcado sazonalmente, não levando em consideração a variabilidade interanual, como um período marcado por chuvas, maior índice de nebulosidade e menores velocidades do vento, sendo o período mais favorável a geração de energia hidráulica. Quando diminuem ou cessam as chuvas a partir do mês de junho no semiárido, há um período preferencial ao uso do potencial eólico devido o aumento da velocidade dos ventos e um aumento da radiação solar devido à diminuição da nebulosidade (OLIVEIRA, 2007; SANTIAGO DE MARIA et al., 2006).

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

A energia eólica é especialmente útil para atender a necessidades específicas, principalmente em áreas remotas, onde o seu fornecimento oferece boa relação custo benefício para uma extensa faixa de aplicações (SILVA, 1999).

O primeiro aerogerador com fins de geração de energia elétrica conectada a rede foi instalada em 1956 na Dinamarca. Atualmente a energia eólica cresce em uma taxa de 25 % ao ano e existem aproximadamente de 95.000 aerogeradores em operação somando uma potência instalada de 93.849 MW (WWEA, 2007).

No Brasil, o primeiro aerogerador foi instalado em 1992, no arquipélago de Fernando de Noronha. A capacidade instalada de usinas eólicas no Brasil chegou a 6.183 MW ao final do primeiro semestre de 2015, quase o dobro em relação ao mesmo período do ano passado, quando a capacidade era de 3.106 MW. Esses dados foram divulgados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). O Rio Grande do Norte lidera em capacidade instalada da fonte, com 2.243 MW, seguido por Ceará (1.233 MW), Rio Grande do Sul (1.300 MW) e Bahia (959 MW). De janeiro a julho de 2015, entraram em operação cerca de 1.437 MW de usinas eólicas, e ainda estão previstos cerca de 1.636 MW até o final do ano. Para o ano 2016 já estão previstos cerca de 3.100 MW e para 2017 cerca de 1.985 MW. (ANEEL, 2007; ABEÉOLICA, 2015).

Destaca-se o fato de que no ano de 2014 foi marcante para a fonte eólica, tendo em vista que foram adicionados ao sistema 2,5 GW de potência instalada, novo recorde brasileiro, o que fez do Brasil o 10º país do mundo em capacidade instalada e o 4º que mais acrescentou potência no ano (CENÁRIOS ENERGIA EÓLICA, 2015).

O país alcançou 5,5 GW de energia eólica instalada no fim de 2014. Em 2015, conforme dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeólica), serão adicionados 3,7 GW, o que contribuirá para o Brasil chegar bem próximo da marca de 10 GW. Os investimentos demandados são da ordem de R\$16,6 bilhões. Nos próximos quatro anos, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a previsão é que este volume dobre, para 18,4 GW instalados em 2019 (CENÁRIOS ENERGIA EÓLICA, 2015).

2.2 Origem dos ventos

Segundo Rostand (2005), a energia eólica é a energia cinética dos deslocamentos de massas de ar gerada pelas diferenças de temperatura na superfície do planeta, resultado da associação da radiação solar incidente no planeta com o movimento de rotação da terra, são fenômenos naturais que se repetem, por isso é considerada energia renovável.

O movimento de parcelas de ar, nas atmosferas planetárias, é denominado vento. Embora, o ar possa mover-se na direção vertical, a denominação "vento" é comumente aplicada apenas ao movimento horizontal, paralelo à superfície do planeta. Na meteorologia, a velocidade e a direção do vento, juntamente com a temperatura, a umidade e a pressão do ar atmosférico, são as variáveis mais importantes empregadas na descrição meteorológica da atmosfera terrestre (MARTINS et al, 2008).

O vento, como agente meteorológico, atua nas modificações das condições do tempo, sendo responsável pelo transporte de umidade e de energia na atmosfera. A energia dos ventos pode provocar grande destruição quando associado a eventos como furacões e tornados. Contudo, o vento pode ser empregado como uma fonte alternativa de energia por meio da conversão de sua energia cinética em outras formas de energia, especialmente eletricidade (MARTINS et al, 2008).

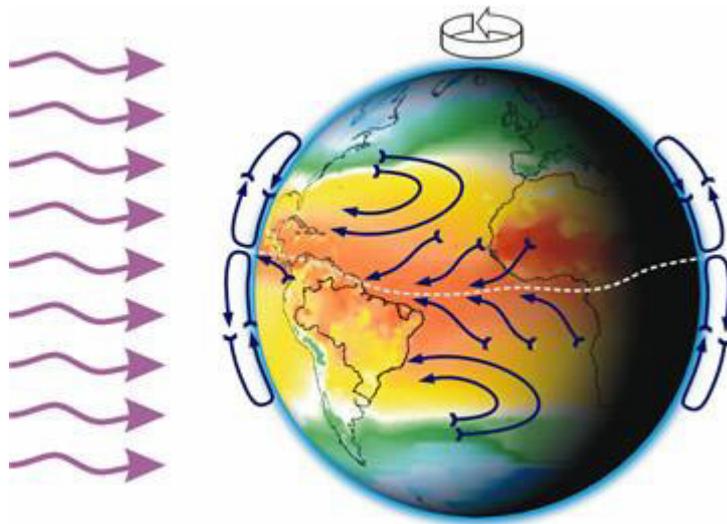


Figura 1: Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar. (Fonte: CEPTEL, 2001)

2.3 Potencial eólico

A identificação do potencial eólico de uma localidade é tarefa fundamental e tem, como requisito básico e indispensável, a existência de uma série temporal de observações da velocidade e direção do vento a uma altura adequada. Nas médias horárias do vento Nordeste

brasileiro há registros de velocidades, obtidas a 10 m de altura, em 77 estações climatológicas pertencentes ao INMET. (SILVA et al., 2002).

A aplicação da energia eólica pode ser promissora para a geração da energia necessária no funcionamento das bombas, dos quais o bombeamento de água para sistemas de irrigação não é conectada à rede. Para a aplicação desta tecnologia, é importante investigação sobre a área, e, portanto, a caracterização local do potencial eólico é essencial. (GRAH, 2014)

A produção de energia renovável pode prover desenvolvimento econômico e oportunidades de emprego, especialmente em áreas rurais. As fontes renováveis, no âmbito de um modelo sustentável, poderão ajudar a reduzir a miséria nessas regiões e aliviar as pressões sociais e econômicas que conduzem a migração urbana. (REIS, 2006)

2.4 Histórico do aproveitamento da energia eólica

Os primeiros registros do aproveitamento da força dos ventos pelo homem têm data bastante imprecisa, mas certamente ocorreu há milhares de anos no Oriente. Estima-se que a partir da Idade Média, o homem passou a utilizar em maior escala as forças aerodinâmicas de sustentação, permitindo as grandes navegações e também maior eficiência às máquinas eólicas. Possivelmente, as máquinas eólicas movidas por forças de sustentação foram introduzidas na Europa pelas Cruzadas, por volta do século XI (ELDRIDGE apud CHESF-BRASCEP, 1980).

A introdução dos cata-ventos na Europa deu-se, principalmente, no retorno das Cruzadas há 900 anos. Os cata-ventos foram largamente utilizados e seu desenvolvimento bem documentado. As máquinas primitivas persistiram até o século XII quando começaram a ser utilizados moinhos de eixo horizontal na Inglaterra, França e Holanda, entre outros países. Os moinhos de vento de eixo horizontal do tipo “holandês” foram rapidamente disseminados em vários países da Europa. (CRESCER, 2012)

Um importante marco para a energia eólica na Europa foi a Revolução Industrial no final do Século XIX. Com o surgimento da máquina a vapor, iniciou-se o declínio do uso da energia eólica na Holanda. Já no início do século XX, existiam apenas 2.500 moinhos de ventos em operação, caindo para menos de 1.000 no ano de 1960 (CHESF-BRASCEP, 1987).

A utilização de cata-ventos de múltiplas pás destinados ao bombeamento d'água desenvolveu-se de forma efetiva, em diversos países, principalmente nas suas áreas rurais. Acredita-se que, desde a segunda metade do século XIX, mais de 6 milhões de cata-ventos já teriam sido fabricados e instalados somente nos Estados Unidos para o bombeamento d'água

em sedes de fazendas isoladas e para abastecimento de bebedouros para o gado em pastagens extensas (CHESF-BRASCEP, 1987). O sistema se adaptou muito bem às condições rurais tendo em vista suas características de fácil operação e manutenção. Toda a estrutura era feita de metal e o sistema de bombeamento era feito por meio de bombas e pistões, favorecidos pelo alto torque fornecido pelo grande número de pás. Até hoje esse sistema é largamente usado em várias partes do mundo para bombeamento d'água.

A geração de eletricidade com o uso de turbinas eólicas de grande porte, para alimentar de forma suplementar o sistema elétrico, é tecnologia que existe há diversas décadas. Desde a fase experimental, ressaltam-se os primeiros aproveitamentos eólio-elétricos realizados durante as décadas de 1940 e 1950 nos Estados Unidos e na Dinamarca. Na Alemanha, em 1955, Hütter desenvolveu o precursor dos atuais aerogeradores (com controle de passo, pás de materiais compostos e torre tubular esbelta) que, nos dias de hoje, atingem uma capacidade individual da ordem de alguns megawatts, tornando possível a construção de usinas eólicas suficientemente grandes e eficazes para serem consideradas uma alternativa viável para complementar as matrizes energéticas em todo o mundo (AWEA, 2002).

No Brasil, embora o aproveitamento da energia eólica tenha sido feito tradicionalmente com o uso de cata-ventos multipás para o bombeamento de águas, alguns estudos indicam que em diversos pontos do litoral e interior brasileiro existem um imenso potencial não explorado; usa-se essa energia para produção de eletricidade, com turbinas de médio e grande porte conectadas à rede elétrica. A capacidade instalada no Brasil, atualmente, é de 20,3 MW. Além destas turbinas, existem dezenas de turbinas de pequeno porte gerando energia em zonas aonde a rede elétrica não chega (CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA, 2007). Estudos recentes indicam um relevante potencial eólico em nosso país. O estado do Ceará, por exemplo, foi um dos pioneiros neste tipo de aproveitamento, com um programa de levantamento eólico através de modernos anemógrafos computadorizados. Em Minas Gerais, desde 1994, há uma central eólica em funcionamento, em local afastado da costa marítima, com excelentes condições de ventos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Análise dos dados

A análise dos dados foram realizadas no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – Campus IV, localizado no município de Chapadinha, estado do Maranhão, a 247 km de São Luís, com localização geográfica definida pelas coordenadas: 3° 44' 30" Latitude Sul (S) e 43° 21' 37" Longitude Oeste (W) e altitude média de 105 metros.

3.2 Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho foi à mesma descrita no trabalho de Sobrinho (2012). Onde, os dados meteorológicos foram tabulados, com um auxílio de um microcomputador. Posteriormente, esses dados foram submetidos à análise, através do programa Excel 2010 para verificar a possibilidade da utilização de um sistema eólico, em função do comportamento dos ventos.

Os dados médios mensais de velocidade e direção do vento foram extraídos do site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). O sensor que mede a velocidade e a direção dos ventos localiza-se a 10 m de altura do solo. A estação meteorológica de origem dos dados está localizada em um bairro central da cidade em estudo, denominada São Luís A-203, com latitude de -2,526771° e longitude de -44,213577° e altitude de 55 metros.

Segundo Mialhe (1980), no processo de determinação do potencial eólico para bombeamento de água, estima-se:

Recurso Eólico: neste, fez-se uma coletânea de dados da velocidade do vento em médias mensais fornecidos pela estação meteorológica do local. Desenhou-se o gráfico da velocidade eólica mensal e o potencial eólico.

O potencial eólico "P" disponível do vento é obtido pela Equação 01:

$$\frac{P}{A} = k * V^3$$

Onde:

P/A = Potencial eólico ($W.m^{-2}$);

k = Valor tabelado;

V = Velocidade do vento ($m.s^{-1}$).

O valor de "k" é tabelado a ser empregado no cálculo do potencial eólico para diferentes unidades de P, A e V. Conforme Tabela 01.

Tabela 01: Valores da constante de proporcionalidade "k" para o cálculo do potencial eólico para diferentes unidades de Pressão, Área e Velocidade.

Unidade de Potência	Unidade de Área	Unidade de Velocidade	Valor de k
Cv	m ²	m/s	0,0008766565
KW	m ²	m/s	0,0006449924
KW	m ²	km/h	0,0000138244
Hp	ft ²	m.p.h.	0,0000071316
KW	ft ²	m.p.h.	0,0000053215

Fonte: Máquinas Motoras na Agricultura, 1980.

A direção predominante foi verificada ao observar a direção predominante dos ventos nesta região neste mesmo período.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Precipitação Pluviométrica Total Mensal e Velocidade do Vento Média Mensal

Analisando o Quadro 01 observa-se a média mensal da velocidade do vento de 2008 a 2015, os valores acima de $1,9 \text{ m.s}^{-1}$, ocorrem em todo o período da primavera e início do verão, praticamente coincidindo com o período de menor precipitação que vai de agosto a dezembro como indicado no Quadro 02.

Esses dados são melhores observados na Figura 02 onde compila os dados do total mensal de precipitação para cada ano e a média mensal de velocidade do vento para o mesmo intervalo de anos, onde nota-se, que no período de baixa precipitação é o período de maior velocidade do vento que vai de agosto a dezembro com velocidades a partir de $1,9 \text{ m.s}^{-1}$ aumentando gradativamente até atingir o ápice com $2,9 \text{ m.s}^{-1}$ em novembro, diminuindo gradativamente de dezembro até maio que fica com $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ passando, a aumentar a partir de junho.

Este resultado que apresenta similaridade com a pesquisa de Sobrinho (2012), que analisou os dados de precipitação e velocidade do vento de Chapadinha, e verificou que para a região em questão o período de maior incidência de precipitação varia de janeiro a junho, ocorrendo exatamente o contrário para velocidade do vento que nos meses de abril e maio ocorreram os menores valores, ambas com $1,5 \text{ m.s}^{-1}$.

A partir do mês junho ocorreu uma ascendência da velocidade do vento de $1,8 \text{ m.s}^{-1}$ até setembro com $2,5 \text{ m.s}^{-1}$, havendo pequena queda para $2,2 \text{ m.s}^{-1}$ em outubro, com nova elevação até dezembro onde atingiu o ápice de velocidade do vento em torno de $2,6 \text{ m.s}^{-1}$.

O resultado obtido na região de São Luís de velocidade média mensal de $6,84 \text{ km/h}$ é melhor do que o obtido por Marques Júnior et. al. (1995) citado por Sobrinho (2012), onde analisaram os dados de ventos para a região de Botucatu e concluíram que a velocidade média de $6,25 \text{ km/h}$ demonstra uma grande possibilidade de uso desse elemento como fonte de energia alternativa.

Quadro 01: Velocidade do vento média mensal no intervalo de anos de 2008 a 2015 no município de São Luís.

MÊS	VELOCIDADE DO VENTO MÉDIA MENSAL (m.s ⁻¹)								
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	MÉDIA
JANEIRO	2,1	2,3	2,2	1,8	2,3	2,4	2	2,4	2,2
FEVEREIRO	1,7	1,6	2,2	1,4	1,9	2,2	1,5	2	1,8
MARÇO	1	1,2	1,8	1,1	1,6	1,9	1,5	1,3	1,4
ABRIL	0,9	0,8	0,9	0,9	1,6	-	1,1	1,2	1,1
MAIO	0,8	0,7	1	0,9	1,8	-	0,8	1,1	1,0
JUNHO	0,8	0,9	0,9	-	1,8	1,2	1,3	1,2	1,2
JULHO	1	1,2	1,1	-	1,7	1,2	1,7	1,7	1,4
AGOSTO	1,5	1,7	1,5	-	2,1	1,9	2,1	2,2	1,9
SETEMBRO	2,2	2,5	2,4	2,4	2,8	2,7	2,8	2,8	2,6
OUTUBRO	2,6	2,5	2,4	2,7	3,1	3	-	2,9	2,7
NOVEMBRO	3	3	2,8	3	2,9	2,7	-	2,9	2,9
DEZEMBRO	2,9	3	2,4	2,8	2,7	2,6	2,6	3,1	2,8

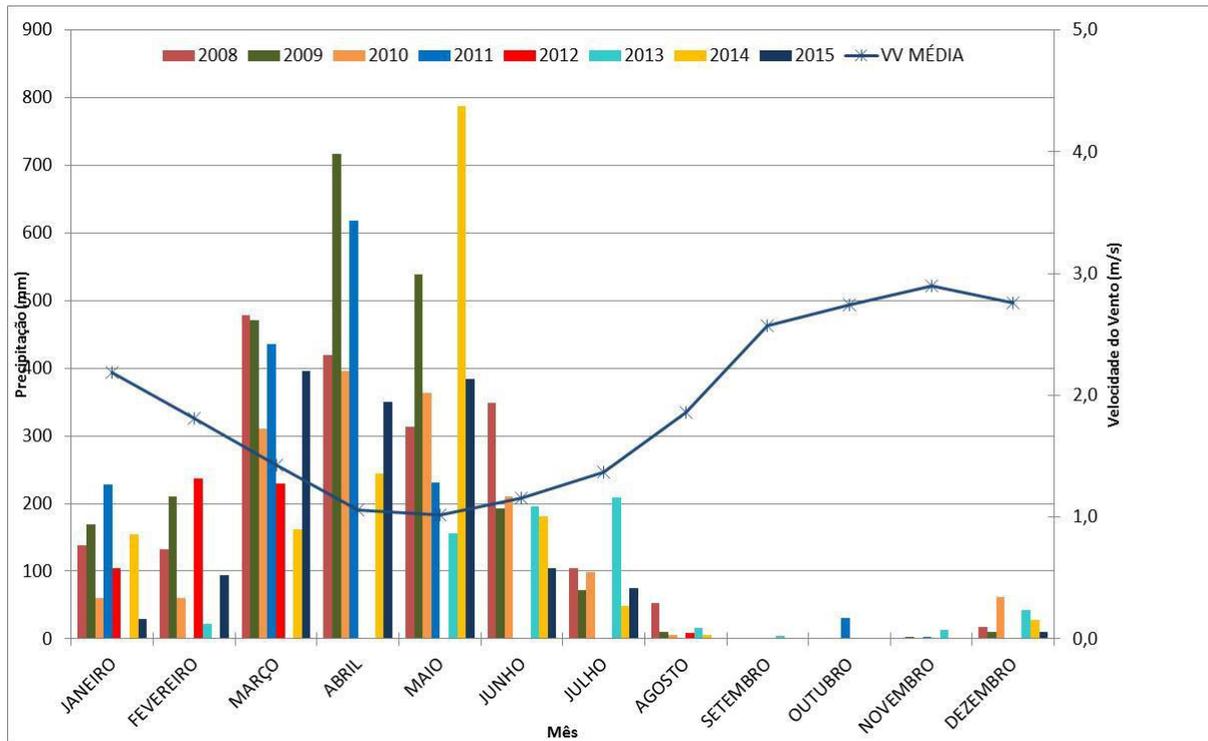


Figura 02: Média da velocidade mensal do vento e precipitação total mensal de 2008 a 2015 em São Luís/MA.

Quadro 02: Precipitação total mensal de 2008 a 2015 em São Luís/MA.

MÊS	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA (mm)								Média (mm)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
JAN	137,6	168,6	59,8	228,6	104,6	-	154,2	30,0	126
FEV	131,8	210,6	60,2	-	237,4	22,0	-	93,4	126
MAR	477,8	471,6	309,8	436,2	230,0	-	162,4	395,4	355
ABR	419,4	717,4	395,6	618,4	0,0	-	245,0	350,2	392
MAI	314	538,4	363,4	231,4	1,6	155,4	788,0	383,8	347
JUN	348,6	193,2	210,6	-	0,0	196,2	180,8	104,2	176
JUL	104	72,2	97,8	-	0,0	209,6	47,8	75,4	87
AGO	52,6	10,6	5,6	-	8,6	15,8	5,0	0,6	14
SET	0,4	0,0	0,8	0,0	0,0	4,6	0,8	0,0	1
OUT	0,2	0,0	0,0	30,4	0,0	1,4	-	0,0	5
NOV	1,8	2,4	0,2	3,2	0,0	13,6	-	0,4	3
DEZ	16,8	10,0	62,2	0,6	0,0	42,8	27,6	10,6	21

4.2 Velocidade do Vento Média Mensal e Potencial Eólico Médio Mensal

No Quadro 03 e Figura 03 observa-se que o potencial eólico alcançou o valor máximo em novembro quando a velocidade média do vento foi de $2,9 \text{ m.s}^{-1}$ que corresponde ao potencial de $15,73 \text{ W.m}^{-2}$ seguindo exatamente pelo mês de dezembro que apresenta o segundo maior valor com $13,60 \text{ W.m}^{-2}$. Estes resultados são melhores em relação aos resultados de Sobrinho (2012), onde o potencial eólico atingiu o maior valor em dezembro com a velocidade do vento de $2,7 \text{ m.s}^{-1}$ que corresponde ao potencial eólico de 12 W.m^{-2} e o seguido de setembro com $10,60 \text{ W.m}^{-2}$.

O potencial eólico de São Luís variou de $0,67 \text{ W.m}^{-2}$ ($1,0 \text{ m.s}^{-1}$) no mês de maio a $15,73 \text{ W.m}^{-2}$ ($2,6 \text{ m.s}^{-1}$) no mês de novembro. Já em Chapadinha, os dados de Sobrinho (2012), variaram de $2,4 \text{ W.m}^{-2}$ ($1,5 \text{ m.s}^{-1}$), nos meses de abril e maio, sendo estes resultados maiores que os encontrados em São Luís durante o mesmo período, em Chapadinha durante o mês de dezembro encontrou-se valores próximos de 12 W.m^{-2} ($2,6 \text{ m.s}^{-1}$), sendo este inferior em relação a São Luís, que apresentou valor igual a $13,60 \text{ W.m}^{-2}$ ($2,8 \text{ m.s}^{-1}$).

Os meses de baixo potencial eólico são justamente os de maior precipitação e, quando há uma baixa precipitação, há também um maior potencial eólico sugerindo um aproveitamento desta energia para bombeamento de água suprindo as necessidades hídricas na atividade agrícola.

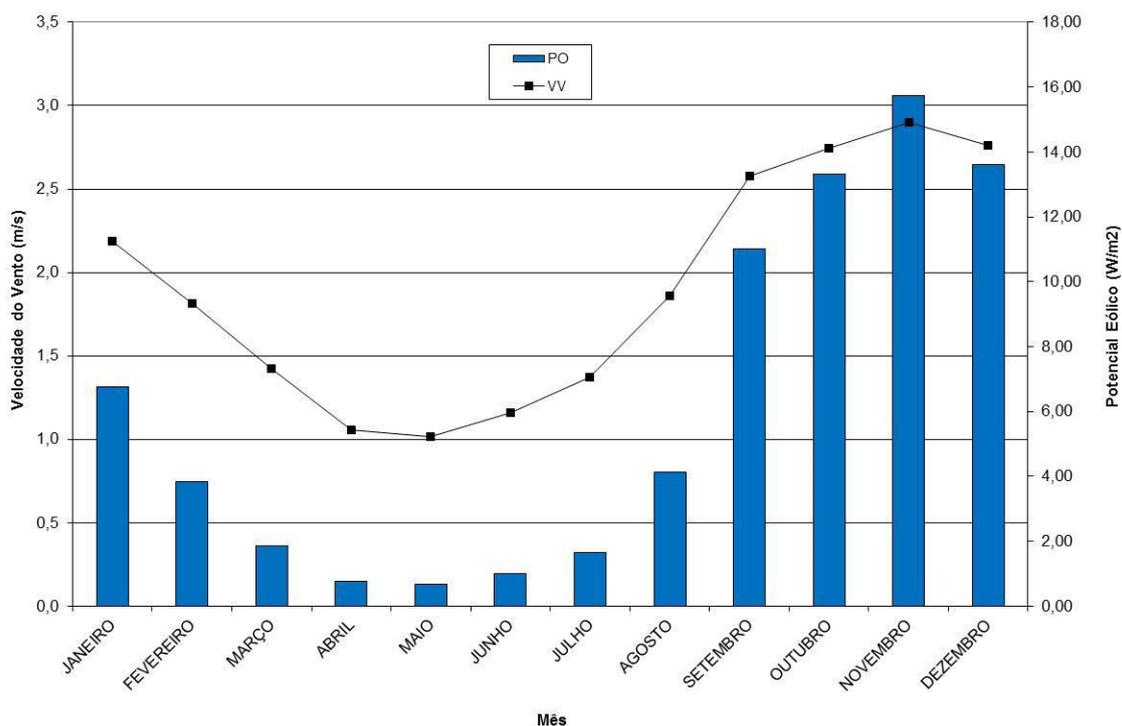


Figura 03: Média mensal da velocidade do vento e potencial eólico de 2008 a 2015 em São Luís/MA.

Quadro 03: Média mensal da velocidade do vento e potencial eólico (PE) de 2008 a 2015 em São Luís/MA.

MÊS	VELOCIDADE MÉDIA MENSAL DO VENTO ($m.s^{-1}$)										PE ($W.m^{-2}$)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	MÉD		
JANEIRO	2,1	2,3	2,2	1,8	2,3	2,4	2	2,4	2,2	6,75	
FEVEREIRO	1,7	1,6	2,2	1,4	1,9	2,2	1,5	2	1,8	3,84	
MARÇO	1	1,2	1,8	1,1	1,6	1,9	1,5	1,3	1,4	1,87	
ABRIL	0,9	0,8	0,9	0,9	1,6	-	1,1	1,2	1,1	0,76	
MAIO	0,8	0,7	1	0,9	1,8	-	0,8	1,1	1,0	0,67	
JUNHO	0,8	0,9	0,9	-	1,8	1,2	1,3	1,2	1,2	1,00	
JULHO	1	1,2	1,1	-	1,7	1,2	1,7	1,7	1,4	1,66	
AGOSTO	1,5	1,7	1,5	-	2,1	1,9	2,1	2,2	1,9	4,13	
SETEMBRO	2,2	2,5	2,4	2,4	2,8	2,7	2,8	2,8	2,6	11,01	
OUTUBRO	2,6	2,5	2,4	2,7	3,1	3	-	2,9	2,7	13,31	
NOVEMBRO	3	3	2,8	3	2,9	2,7	-	2,9	2,9	15,73	
DEZEMBRO	2,9	3	2,4	2,8	2,7	2,6	2,6	3,1	2,8	13,60	

4.3 Direção Dominante dos Ventos em São Luís

Nos dados analisados no Quadro 04 e Figura 04, que coloca a direção predominante dos ventos na região de São Luís no período que abrange os anos de 2008 a 2015 é a Nordeste (NE), pois das 80% das direções médias mensais do vento ficaram entre o primeiro quadrante, com resultados entre 1° a 89°, situação esta predominante em todos os meses dos últimos quatro anos analisados excetuando-se maio de 2013 e 2014 que foi de 91° e 103°, respectivamente; e os outros 20% ficou no segundo quadrante, com resultados entre 91° a 159°, que é a direção Sudeste (SE) excetuando março de 2008 que foi de 185°.

Quadro 04: Direção média mensal predominante dos ventos de 2008 a 2015 no município de São Luís.

MÊS	DIREÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO (°)								Média mensal (°)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
JAN	56	59	61	78	68	55	71	54	62
FEV	70	73	55	103	77	68	71	73	73
MAR	185	102	67	106	70	64	63	87	93
ABR	137	149	106	127	69	68	86	84	103
MAI	114	159	100	122	68	91	103	87	105
JUN	126	118	110	76	65	76	85	83	92
JUL	96	72	91	69	68	88	72	75	78
AGO	61	61	69	65	72	61	66	66	65
SET	48	47	49	63	58	61	56	56	54
OUT	45	41	48	55	55	55	55	56	51
NOV	39	43	42	56	49	59	54	52	49
DEZ	47	45	56	55	56	55	59	53	53

Para Sobrinho (2012), analisando a região de Chapadinha, que dista 240 km em direção sudeste da ilha de São Luís indo para o interior do estado, observou que a direção predominante dos ventos é a Nordeste (NE) em praticamente 100% dos resultados excetuando outubro e novembro de 2007 e abril de 2009 que foi a direção Norte (N), pois foi de 0°.

Já para Martins (1993), citado por Sobrinho (2012) observou que a direção predominante dos ventos é a Sudeste (SE) para a região de Botucatu/SP.

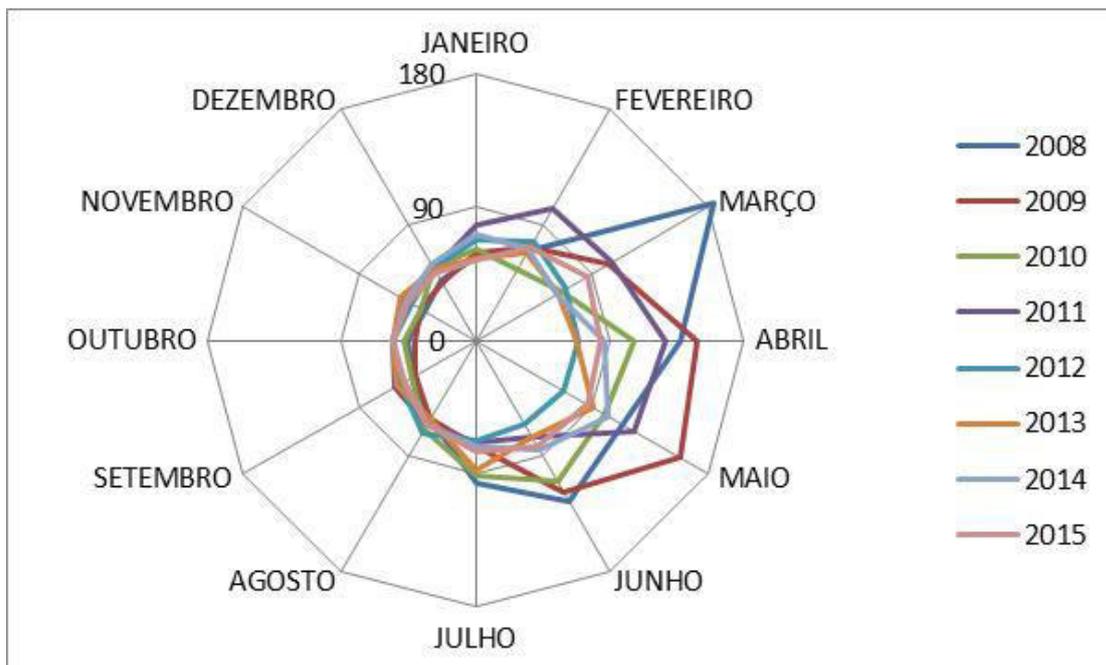


Figura 04: Direção média mensal em (graus) predominante dos ventos no intervalo de anos de 2008 a 2015 no município de São Luís

5. CONCLUSÃO

A velocidade média mensal dos ventos em São Luís no intervalo de anos pesquisado varia de 1,0 a 2,9 m.s⁻¹ a 10 m de altura.

O potencial eólico varia de 0,67 a 15,73 W.m⁻².

O período de menor potencial eólico acontece no outono se estendendo para o inverno.

O período de maior potencial acontece no período que se estende da metade do inverno e toda primavera coincidindo com o período seco do ano.

A direção predominante dos ventos é a NE.

Esse resultado nos mostra uma possibilidade de aproveitamento de fonte de energia alternativa para lugares na região de São Luís como a zona rural onde ou não tem o fornecimento de energia elétrica ou pode ser uma opção na economia desta no caso de bombeamento d'água para abastecer a atividade agrícola praticada.

REFERÊNCIAS

AMARANTE, O.A.C., BROWER, M., ZACK, J., SÁ, A.L., **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: Brasil, 2001.

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração, 2006. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf). Acesso em: 09 de setembro de 2015.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **O Estado das Energias Renováveis no Brasil**. Brasília, 2007. CD-ROM, Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas n. 7.

AWEA, 2002. Wind Power is Ready – Clean Energy Technology for Our Economy and Environment. Washington: American Wind Energy Association.

BOLETIM DE DADOS. São Paulo: ABEEÓLICA. Julho/2016.

CAMPOS, F. G. de. **Geração de energia elétrica a partir de fonte eólica com gerador assíncrono conectado ao conversor estático duplo**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-25062004-130205/>. Acesso em: 1 mar. 2016.

CENÁRIOS ENERGIA EÓLICA. Rio de Janeiro, RJ: Editora Brasil Energia, ANUÁRIO 2015/2016, ISSN 2238864-8, agosto, 2015.

CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA. **Panorama da energia eólica**. 2007. Disponível em: <http://www.eolica.com.br/energia.html>. Acesso em: 2 mar. 2016.

CEPEL, 2001. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Ed. CEPEL, Rio de Janeiro, RJ.

CHESF-BRASCEP, 1987. **Fontes Energéticas Brasileiras, Inventário/Tecnologia**. Energia Eólica. V.1 De cata-ventos a aerogeradores: o uso do vento, Rio de Janeiro.

CRESCER - Centro De Referência Para Energia Solar E Eólica Sérgio De Salvo Brito. **Eólica**. 2012. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>. Acesso em: 22 jun. 2016.

ELDRIDGE, F.R., 1980 Wind Machines, 2 ed., Van Nostrand , New York, apud CHESF-BRASCEP, 1987. Op. cit.

GRAH, Vanessa de F., Isaac de M. Ponciano, and Tarlei A. Botrel. "**Potential for wind energy generation in Piracicaba, SP, Brazil/ Potencial para geracao de energia eolica em Piracicaba, SP, Brasil**." *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18.5 (2014)

GRUBB, M.J; MEYER, N. I. **Wind energy: resources, systems and regional strategies**. In: JOHANSSON, T.B. et. Al. Renewable energy: sources for fuels and electricity. Washington, D.C.: Island Press, 1993.

GWEC. GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. Global Wind Energy Outlook 2010. 2010. Disponível em: <http://gwec.net/wp->

[content/uploads/2012/06/GWEC_annual_market_update_2010_-_2nd_edition_April_2011.pdf](#) >. Acesso em: 10 de fevereiro de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE < <http://cod.ibge.gov.br/3RV> >. Acesso em: 02 de novembro, 2015.

MARQUES JÚNIOR, S. ET al. **Análise de dados de vento para a região de Botucatu – SP utilizando a distribuição beta**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v 3, p, 129-132,1995.

MARTINS, F.R; GUAMIERI, R.A.; PEREIRA, E.B. **The wind energy resource**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 1304 (2008).

MIALHE, L. G. **A energia dos ventos**. In: Máquinas motoras na agricultura. v.1. São Paulo: EDUSP, 1980. v.1, p.74-93.

OLIVEIRA, J. L.. Influência da circulação geral e da variabilidade interanual sobre o potencial eólico do Nordeste brasileiro. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas) – Universidade Estadual do Ceará, 2007.

REIS, L. B., **Energia Elétrica e Sustentabilidade – Aspectos tecnológicos, socioambientais e legais**. São Paulo, editora MANOLE, 2006.

ROSTAND, R. **Energia eólica – a energia dos ventos**. 2005. In: PORTAL aonde vamos. Disponível em:<<http://www.aondevamos.eng.br/textos.htm>>. Acesso em: 05 jan. 2016.

SANTIAGO DE MARIA, P. H. S., COSTA, Alexandre A, SOMBRA, Sérgio S. **Simulação de ventos em alta resolução no litoral do Ceará**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14, 2006, Florianópolis. Florianópolis. Anais... XIV Congresso Bras. de Meteorologia, 2006.

SILVA, PATRICIA DE CASTRO. **Sistema para Tratamento, Armazenamento e Disseminação de Dados de Vento** [Rio de Janeiro] 1999 XII, 113 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Mecânica, 1999)

SILVA, Bernardo B. da; ALVES, Jakson J. A.; CAVALCANTI, Enilson P. and DANTAS, Renilson T. **Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro**. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* [online]. 2002, vol.6, n.3, pp.431-439. ISSN 1415-4366. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000300009>.

SOBRINHO, E. N. M. **Avaliação do potencial eólico no município de Chapadinha-MA**. 2012. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Chapadinha, 2012.

WEEKES, S. M.; Tomlin, A. S. **Evaluation of a semi-empirical model for predicting the wind energy resource relevant to small-scale wind turbines**. *Renewable Energy*, v.50, p.280-288, 2013.

WWEA, World Wind Energy Association. Disponível em: <http://www.wwea.com>. Acesso em: 09 de setembro de 2015.

ANEXOS

ANEXO I



Instituto Nacional de Meteorologia - INMET
 2º DISTRITO DE METEOROLOGIA /
 Consulta Genérica
 A203 - SÃO LUIS / MA

Data: 26/01/2016

Hora: 16:12:31

Pág.: 1/1

Atributo: PRECIPITACAO, TOTAL MENSAL (AUT) - I209 (mm) - Consulta Genérica (Total)

Período: 28/02/2003 a 31/12/2015

Localização: Lat 02°31'37" S Long 044°12'47" W Alt 56,00 m

Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2003		448,6	542,2	402,0	170,0	135,6	47,2	33,4	5,6	0,2	4,4	
2004	413,4	471,8	366,8	436,4	172,2	114,2	172,8	80,2	1,8	0,0	3,0	5,6
2005	31,2	226,0	339,0	350,2	136,8	100,4	82,0	9,8	0,0	0,2	4,0	78,0
2006	148,4		356,2	339,0				61,8	2,6	0,0	8,8	16,0
2007	18,4	502,0	430,0	339,6	217,8	26,6						18,0
2008	137,6	131,8	477,8	419,4	314,0	348,6	104,0	52,6	0,4	0,2	1,8	16,8
2009	168,6	210,6	471,6	717,4	538,4	193,2	72,2	10,6	0,0	0,0	2,4	10,0
2010	59,8	60,2	309,8	395,6	363,4	210,6	97,8	5,6	0,8	0,0	0,2	62,2
2011	228,6		436,2	618,4	231,4				0,0	30,4	3,2	0,6
2012	104,6	237,4	230,0	0,0	1,6	0,0	0,0	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0
2013		22,0			155,4	196,2	209,6	15,8	4,6	1,4	13,6	42,8
2014	154,2		162,4	245,0	788,0	180,8	47,8	5,0	0,8			27,6
2015	30,0	93,4	395,4	350,2	383,8	104,2	75,4	0,6	0,0	0,0	0,4	10,6

ANEXO III



Instituto Nacional de Meteorologia - INMET
 2º DISTRITO DE METEOROLOGIA /
 Consulta Genérica
 A203 - SÃO LUIS / MA

Data: 26/01/2016

Hora: 16:16:38

Pág.: 1/1

Atributo: VENTO, VELOCIDADE MÉDIA MENSAL (AUT) - I218 (mps) - Consulta Genérica (Média)

Período: 28/02/2003 a 31/12/2015

Localização: Lat 02°31'37" S Long 044°12'47" W Alt 56,00 m

Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2003		2,0	1,8	1,8	2,0	2,4	2,5	2,9	3,1	3,5	3,2	
2004	2,2	1,8	1,8	1,5	2,2	2,4	2,5	2,7	3,1	3,4	3,2	2,9
2005	2,5	2,0	1,4	1,2	1,4	2,2	2,5	2,7	3,1	3,4	3,3	2,0
2006	1,5	1,9	1,3	0,9								
2007												2,7
2008	2,1	1,7	1,0	0,9	0,8	0,8	1,0	1,5	2,2	2,6	3,0	2,9
2009	2,3	1,6	1,2	0,8	0,7	0,9	1,2	1,7	2,5	2,5	3,0	3,0
2010	2,2	2,2	1,8	0,9	1,0	0,9	1,1	1,5	2,4	2,4	2,8	2,4
2011	1,8	1,4	1,1	0,9	0,9				2,4	2,7	3,0	2,8
2012	2,3	1,9	1,6	1,6	1,8	1,8	1,7	2,1	2,8	3,1	2,9	2,7
2013	2,4	2,2	1,9				1,2	1,2	1,9	2,7	3,0	2,7
2014	2,0	1,5	1,5	1,1	0,8	1,3	1,7	2,1	2,8			2,6
2015	2,4	2,0	1,3	1,2	1,1	1,2	1,7	2,2	2,8	2,9	2,9	3,1