

GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA:

ESTUDOS DE VIABILIDADE VIA ANÁLISE ESTATÍSTICA DA VELOCIDADE DOS VENTOS

Isabela Miranda de Mendonça¹, João Lucas de Castro², Tomaz Pereira Fracetti³

Resumo: O objetivo em estudar a energia renovável proveniente dos ventos é obter uma forma de viabilização da mesma na geração de energia elétrica como fonte alternativa. O motivo deste estudo baseia-se principalmente no fato de o Brasil estar enfrentando uma das mais rigorosas crises hídricas da história, conseqüentemente afetando a produção de energia elétrica, visto que a maior parte é proveniente das usinas hidrelétricas. Assim, torna-se necessário e interessante desenvolver e efetivar estudos que contribuam para o avanço dessa fonte, principalmente nos fatores que influenciam na geração da energia eólica, numa forma de fazer com que os riscos gerados pela sazonalidade diminuam, garantindo maior confiança no abastecimento energético do país. Por isso, foi adotado um modelo de cálculo para realizar estudos de potencial eólico de quatro cidades do país, Juiz de Fora, Chuí, João Câmara e Belém, com o propósito de visualizar e compreender através dos mesmos a possibilidade de instalação de usinas nestes locais e sua eficiência em quatro períodos distintos do ano utilizando a análise de estatísticas das velocidades dos ventos. Além disso, foram considerados os diversos fatores que influenciam no rendimento da turbina a fim de obter o melhor custo benefício e tornar a malha energética do país mais diversificada e confiável. Dessa forma, pode-se concluir informações de alta relevância para a viabilidade de instalação das centrais eólicas nas cidades analisadas, verificadas a partir dos dados obtidos e análise dos gráficos construídos.

Palavras-chave: Eólica, potência, renovável, turbina.

INTRODUÇÃO

A energia proveniente dos ventos é utilizada há muito tempo, desde atividades essenciais como a caça ou a trituração de alimentos, que utilizava do mecanismo de grandes moinhos. Outro exemplo são as grandes navegações que utilizavam, através das velas, a energia eólica transformando-a em movimento para as embarcações. Há registros também da energia eólica sendo utilizada na irrigação de lavouras na China e na Índia. Nos tempos modernos, surgiu a tecnologia do bombeamento de água pelo aproveitamento dessa mesma energia. E na idade contemporânea, esta adquiriu

uma nova função: a de movimentar as grandes pás das turbinas geradoras de eletricidade, que gradativamente ganham espaço entre as fontes convencionais. Talvez tenha sido no período conhecido como Crise do Petróleo, que despertara, no mundo, a busca de fontes alternativas de energia.

Tendo em vista a grande necessidade do Brasil em se readequar, em termos energéticos ao atual cenário climático pelo qual está passando, em que os períodos chuvosos têm sido cada vez mais secos e conseqüentemente acarretando a baixa no nível dos reservatórios das

1 IF Sudeste MG – Campus Juiz de Fora - isabela.mendonca@ifsudestemg.edu.br

2 Bolsista FAPEMIG IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora - jlucaspqri@gmail.com

3 Bolsista FAPEMIG IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora - tomazfracetti@hotmail.com

usinas hidrelétricas, que são as principais responsáveis pelo abastecimento de energia, torna-se indispensável o surgimento de estudos e pesquisas que contribuam para o avanço e aprimoramento de novas fontes de energia. As fontes renováveis por utilizarem recursos naturais e inesgotáveis, não agredem o meio ambiente do mesmo modo que outras fontes, como o gás natural, o carvão mineral e o petróleo, que são os grandes responsáveis pelo lançamento de gases poluentes na atmosfera, que aceleram o processo natural do efeito estufa, aumentando o aquecimento global (Farret, F. A., 2010).

A facilidade de execução, os menores índices de poluição e também a gratuidade e a inesgotabilidade do vento são fatores atrativos para a instalação de usinas eólicas. Por outro lado, as desvantagens desse tipo de geração de energia estão associadas à inconstância dos ventos, incapacidade de armazenamento, a poluição sonora, a modificação da paisagem e também elevados custos de manutenção que se relacionam, em parte, devido ao tamanho do equipamento e à complexidade do seu sistema de funcionamento. Entretanto, com os investimentos dedicados a essa área, algumas dessas desvantagens estão sendo contornadas (Martins, F.R. et al 2008).

Para suprir a inconstância dos ventos, por exemplo, é armazenada a energia elétrica que é transformada assim que a energia eólica é captada, uma vez que o vento não pode ser armazenado. Aliado a isso, outro avanço foi a redução do alto custo do kW instalado em reais, tendo uma grande queda de 7.497,00 R\$/kW em 2009 para 4.313,00 R\$/kW em 2011 (Braciani, U. 2011). Ademais, atualmente, com a criação dos parques híbridos, consegue-se diminuir drasticamente os custos com instalação, já que são utilizadas as mesmas estruturas para armazenamento e distribuição de energia em um único local.

Nas regiões litorâneas, a diferença de pressão entre continente e mar fica

mais evidente. Logo, os ventos são mais fortes e constantes.

As regiões Nordeste e Sul são as que apresentam melhores condições para criação de parques eólicos, respectivamente, como observado na Figura 1, visto que ambas são atendidas por áreas litorâneas, seus relevos com formas mais planas no sul e dunas no nordeste são favoráveis à instalação, além de suas vegetações de pequeno porte não influenciarem significativamente na potência extraída pelas turbinas. Estima-se que a capacidade instalada eólica chegue a 24 mil MW. Desse total, 21 mil deverão ser gerados no Nordeste (Portal Brasil, 2016).

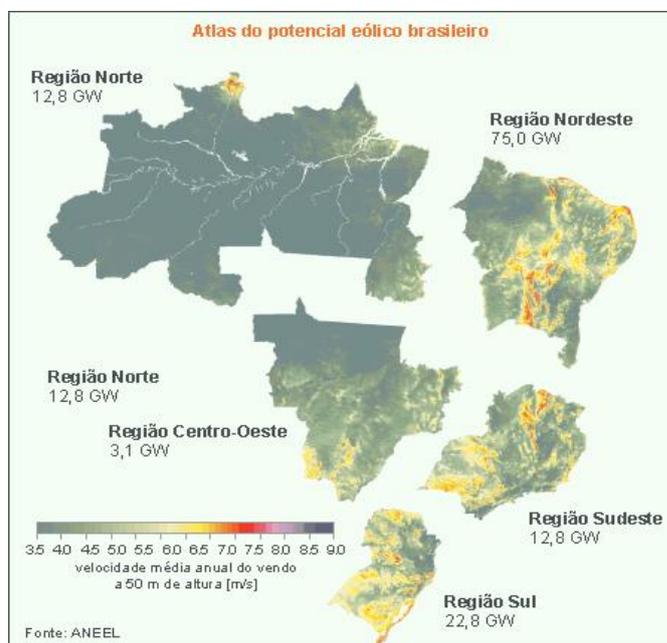


Figura 1- Potencial Elétrico nas regiões brasileiras. Fonte: www.olimpiada.fiocruz.br/potente-cata-ventos-de-energia. Acessado em: 27 jun. 2016.

Para se estudar a energia eólica, vários fatores são considerados com o propósito de se obter a melhor aproximação para o projeto a ser realizado. Deve-se destacar que nem toda potência que é entregue pelo vento será aproveitada para a geração de energia, mas apenas parte dela. Por conseguinte, é necessário que haja a realização de estudos a fim de determinar a melhor forma de extração da potência do vento. Outro fator importante a ser considerado antes de montar uma central é quanto às turbinas e sua clas-

sificação geral, onde estas podem variar de acordo com a função que vão exercer. No caso deste estudo, no qual o foco é a geração de eletricidade, é válido destacar as turbinas do tipo hélice de eixo horizontal como as mais importantes, pois são as mais adequadas para esta finalidade, como o modelo apresentado na Figura 2.

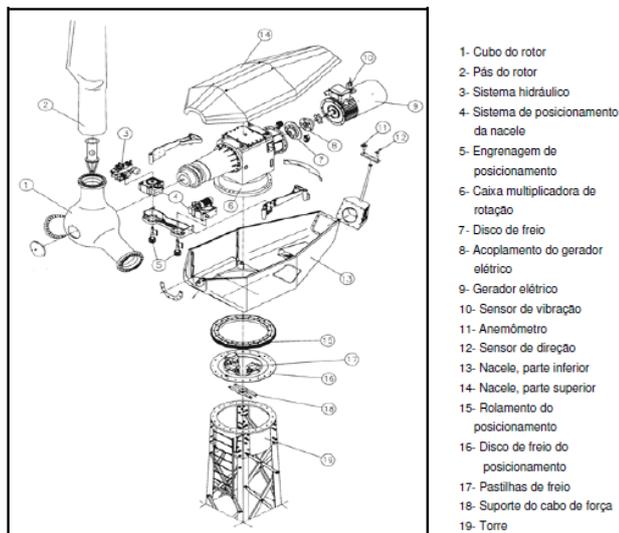


Figura 2: Desenho esquemático de uma turbina eólica.
Fonte: <http://blogdoengenheiroeletricista.blogspot.com.br/>

As turbinas tipo hélice podem variar em relação ao modelo, mas estas não significam mudanças consideráveis entre um conjunto e outro. Além disso, o relevo e o clima das regiões onde serão instaladas as turbinas também interferem no seu aproveitamento e contam como fatores determinantes para a introdução das mesmas. Outros fatores importantes a serem considerados para a realização dos estudos é quanto ao tipo de vegetação ou construções presentes no local previsto para a instalação (CEPA, 1999).

Nesta pesquisa, foram utilizados os dados do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (CRESESB, 2016) como referência, que traz os valores médios de velocidade do vento para os locais escolhidos. Os dados fornecidos pelo atlas do potencial eólico brasileiro são gerados através de coordenadas geográficas fixas a partir de um ponto específico da cidade. Consequentemente, não há a precisão correta do local exato para a instalação das turbinas, in-

terferindo nos resultados encontrados.

MATERIAL E MÉTODOS

DADOS DO VENTO E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para a escolha das cidades a serem estudadas, utilizou-se o critério de buscar diversificar as regiões. Como visto na figura 1, o nordeste e o sul são as regiões do país com maior potencial eólico, 75GW e 22,8GW, respectivamente. Por isso, escolheu-se uma cidade de ambas as regiões, no caso João Câmara (RN) da região nordeste e Chuí (RS) da região sul. O critério para utilização da cidade de Juiz de Fora nos estudos é obter informações sobre o potencial eólico na região da zona da mata mineira, sendo que esta é a principal cidade da região e a de maior referência na mesma. A escolha da capital Belém teve como intuito mostrar as interferências que os elementos do meio causam no potencial eólico de uma dada região; neste caso, o fator responsável pelas grandes perdas foi a vegetação da região, que é composta pela floresta amazônica.

A Tabela 1 apresenta as velocidades do vento que foram consultadas em (CRESESB, 2016). Os valores exibidos referem-se a medições trimestrais tomadas em um único ponto de cada cidade. A média e mediana dessas medições também são apresentadas.

Tabela 1: Velocidade, Média e Mediana das velocidades

Cidades	Velocidades dos ventos (m/s)				Média aritmética das velocidades (m/s)	Mediana das velocidades (m/s)
Juiz de Fora (MG)	5,54	5,62	6,66	6,2	6,005	5,91
João Câmara (RN)	6,46	5,63	7,09	7,37	6,64	6,76
Chuí (RS)	6,82	6,71	6,79	6,71	6,76	6,75
Belém (PA)	4,6	3,29	4,56	6,5	4,74	4,58

Fontes: Acervo próprio e CRESESB (2016).

A partir dos dados da Tabela 1, foi possível a realização dos cálculos da variância das velocidades e do desvio padrão, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Desvio padrão das velocidades

Cidades	Variância das velocidades	Desvio Padrão
Juiz de Fora (MG)	0,208	0,456
João Câmara (RN)	0,447	0,669
Chuí (RS)	0,002	0,049
Belém (PA)	1,31	1,15

Fontes: Acervo próprio

A partir do conhecimento das velocidades médias, é possível calcular a potência que pode ser extraída dos ventos. Na sequência será apresentada a metodologia utilizada para esse procedimento.

DADOS DAS POTÊNCIAS DISPONÍVEIS E EXTRAÍDAS

A potência disponível nos ventos pode ser calculada de acordo com a expressão a seguir (Hodgeé, B. K. 2010):

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

Onde:

P_{disp} : Potência disponível do vento (kW)

A: Área do rotor (m^2)

ρ : Densidade do ar (kg/m^3)

v: velocidade do vento (m/s)

O termo A corresponde à área do círculo, de diâmetro D, delimitado pelas pás do rotor, sendo calculada por:

$$A_{rotor} = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2)$$

Para calcular a potência da turbina, é necessário conhecer o coeficiente de potência. Este é dado pela razão da potência mecânica e potência disponível, conforme a seguir:

$$C_p = \frac{P_{mec}}{P_{disp}} \quad (3)$$

Neste trabalho, foram utilizados os dados de C_p presentes na Tabela 3 abaixo, utilizando os critérios de velocidade e

potência dos ventos, considerando o valor que mais se aproximasse dos dados analisados a fim de obter o C_p adequado para cada caso.

Tabela 3: Coeficientes de Potência em função da velocidade do vento

Velocidade do Vento(m/s)	Potência Turbina(kW)	Potência Vento(kW)	Coefficiente de Potência
0	0	0,0	0,000
1	0	0,9	0,000
2	0	7,1	0,000
3	2	23,9	0,084
4	17	56,7	0,300
5	45	110,7	0,407
6	72	191,2	0,377
7	124	303,6	0,408
8	196	453,2	0,432
9	277	645,3	0,429
10	364	885,2	0,411
11	444	1178,2	0,377
12	533	1529,7	0,348
13	584	1944,8	0,300
14	618	2429,0	0,254
15	619	2987,6	0,207
16	618	3625,8	0,170
17	619	4349,1	0,142
18	620	5162,6	0,120
19	610	6071,7	0,100
20	594	7081,7	0,084
21	592	8198,0	0,072
22	590	9425,8	0,063
23	580	10770,4	0,054
24	575	12237,2	0,047
25	570	13831,5	0,041

Fonte: Acervo próprio.

Fonte: Disponível em: <[https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/22408/1/Energia Eólica.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/22408/1/Energia%20E%C3%B3lica.pdf)>
Acesso em: 16 dez. 2015

A potência na turbina, por sua vez, é produto da potência disponível pelo coeficiente de potência, como escrito na seguinte equação:

$$P_{turbina} = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \quad (4)$$

Onde:

C_p : Coeficiente de potência

$P_{turbina}$: Potência da turbina (kW)

Para este estudo, foram considerados os seguintes dados de entrada:

- Torre de sustentação com 50 m de altura;
 - Pressão atmosférica de 1 atm;
 - Rotor com 50m de diâmetro;
 - Densidade do ar: $1,184 \text{ Kg/m}^3$ (desconsiderando as pequenas alterações ocorridas com as mudanças de temperatura).
- Dessa forma, com os dados de en-

trada, as velocidades médias do vento para cada cidade, bem como o conjunto de equações (1)-(4), é possível calcular a potência extraída pela turbina em cada situação. A Figura 3 apresenta a potência que pode ser extraída da turbina nos quatro períodos do ano para a cidade de Juiz de Fora.

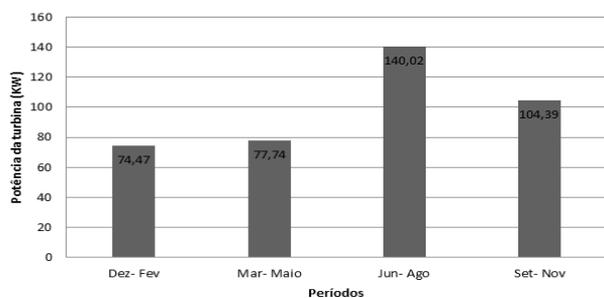


Figura 3 - Potência entregue pela turbina em Juiz de Fora (MG). Fonte: Acervo próprio.

A Figura 4 apresenta o valor da potência que pode ser extraída da turbina nos quatro períodos do ano para a cidade de João Câmara.

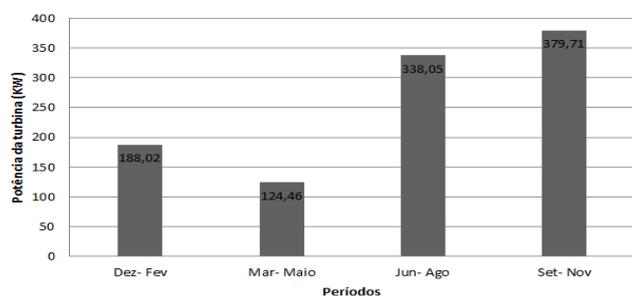


Figura 4 - Potência entregue pela turbina em João Câmara (RN). Fonte: Acervo próprio.

O valor da potência que pode ser extraída da turbina nos quatro períodos do ano para a cidade de Chuí é apresentado na Figura 5.

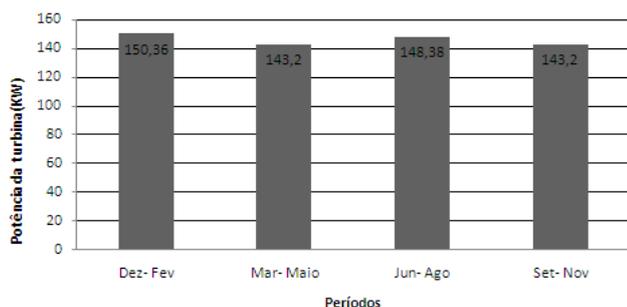


Figura 5 - Potência entregue pela turbina em Chuí (RS). Fonte: Autoria dos autores, (2016).

Por fim, a Figura 6 traz o valor da potência que pode ser extraída da turbina nos quatro períodos do ano para a cidade de Belém.

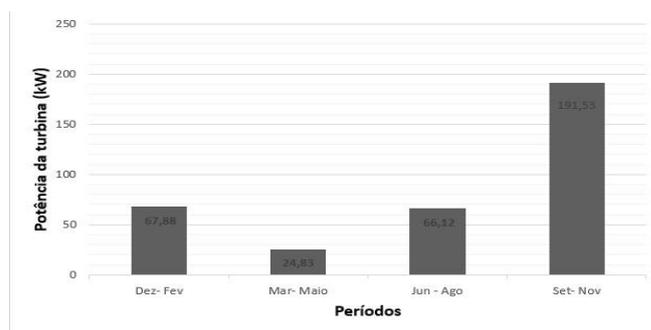


Figura 6 - Potência entregue pela turbina em Belém (PA). Fonte: Acervo próprio.

CONCLUSÃO

Nos estudos de aproveitamento eólico, o fator que mais influencia na potência disponível é a velocidade do vento no local. Isso pode ser compreendido pelas equações apresentadas na seção anterior, que mostram que a potência disponível depende do cubo da velocidade do vento. Isso explica o fato de os as turbinas eólicas serem posicionadas em lugares afastados de grandes centros urbanos, florestas mais densas ou montanhas, aproveitando o vento livre nessas regiões. Além disso, a altura da turbina é escolhida a fim de aproveitar a maior velocidade dos ventos.

A partir do estudo realizado em cada cidade, é possível apontar quais dos locais de estudo são mais favoráveis à implantação de centrais eólicas. Vale ressaltar que os cálculos foram feitos a partir de velocidades médias, obtidas com medições agrupadas em três meses, como já mencionado, coletadas em um único ponto da cidade.

Os cálculos realizados para Juiz de Fora, por exemplo, indicam que a cidade não apresenta boas condições para a instalação de uma central eólica, a partir das medições no ponto de estudo, mostrando que as potências entregues por um possível aproveitamento eólico não seriam constantes em períodos distintos do ano. Somente no período entre junho

e agosto, Figura 3, seria possível realizar um melhor aproveitamento dos ventos. Em virtude das variações existentes dentro desse período não terem sido avaliadas neste estudo preliminar, bem como os resultados refletirem somente um ponto de medição na cidade, sendo esse na região central, não se pode concluir que Juiz de Fora não representa um potencial eólico aproveitável. No entanto, como a cidade apresenta relevo montanhoso, com diferentes altitudes que podem influenciar na constância da velocidade do vento (Custódio, R. S, 2013), grandes áreas com ação antrópica e florestas densas em algumas regiões da cidade, aproveitamentos eólicos poderiam ficar vulneráveis a grandes variações na velocidade do vento, comprometendo desempenho do sistema.

Já a cidade de João Câmara, Figura 4, apresenta uma quantidade significativa de potencial a ser entregue pela turbina, o que indica condições favoráveis para a instalação de uma central eólica. A cidade tem altitude de 160 metros e localiza-se no nordeste, região já conhecida por seus fortes ventos desde o descobrimento do Brasil, época em que as embarcações figuravam como meio de transporte mais utilizado.

Analisando-se os dados da Figura 5, conclui-se que Chuí (RS) apresenta um alto potencial eólico para a instalação de usinas eólicas, devido à constância da potência gerada pela turbina, fato este que se dá exclusivamente pela pouca variabilidade da velocidade dos ventos. Atualmente, Chuí tem sido grande destaque em expansão energética no país, onde recém inaugurou sua central eólica que conta com 72 aerogeradores e potência instalada de 144 MW, capaz de atender a 800 mil habitantes (ELETROBRÁS, 2014).

Belém (PA), por sua vez, não apresenta um considerável potencial eólico, em relação às cidades anteriores, para a instalação de uma usina na maior parte do ano. Além disso, possui uma gran-

de inconstância na velocidade dos ventos. Tais fatos inviabilizam a instalação de uma usina eólica na cidade. Pode-se considerar também a presença de florestas densas na região (Floresta Amazônica), o que reduz a velocidade dos ventos (NEVES et al, 2009).

A energia eólica de uma forma geral vem crescendo nos últimos anos. No cenário brasileiro, em que a geração de energia elétrica por usinas hidrelétricas é predominante, a energia eólica pode atuar de forma complementar. Um exemplo disso é o caso da região nordeste. O rio São Francisco, por exemplo, possui vazão variável ao longo dos meses do ano, conforme é mostrado na Figura 7.

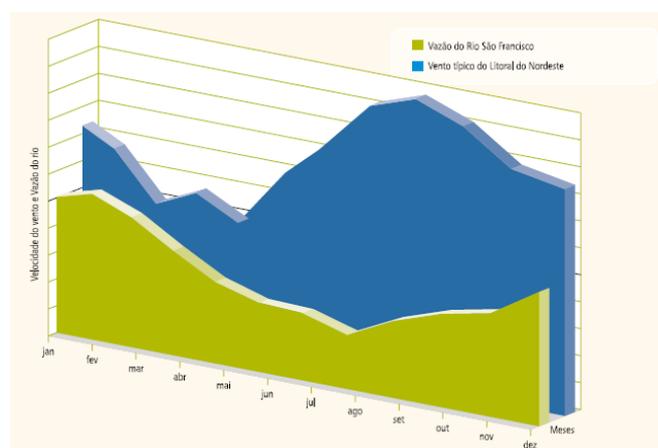


Figura 7- Complementaridade entre os sistemas eólico e hidrelétrico no Brasil. Fonte: www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_eolica/6_6.htm. Acesso em: 20 abril 2016.

Pode-se observar que o período de menor vazão do rio coincide com o período de maior velocidade dos ventos na região, o que demonstra que o impacto da sazonalidade na geração hidrelétrica pode ser amenizado pela geração eólica nesse caso.

Por fim, espera-se que este trabalho possa contribuir com as pesquisas e estudos de aproveitamentos eólicos de uma forma geral, tornando esse tipo de energia mais atrativa e eficiente, de forma que ela consiga suprir as grandes demandas de energia do país.

Abstract: This objective in studying renewable energy from wind, is to obtain a way of enabling the same in the generation of electricity as an alternative supply. Our studies mainly rely on the fact that Brazil is facing the most severe water crises in history, thus affecting the production of electricity, since most comes from hydroelectric plants. Thus, it is necessary and interesting to develop and carry out studies that contribute to the advancement of this source, especially the factors that influence the generation of wind energy, a way to make the risks generated by the seasonal decrease, ensuring greater confidence in energy supply from the country. Therefore, we have adopted a calculation model to perform wind potential studies in four cities, Juiz de Fora, Chuí, Belém and João Câmara, in order to visualize and understand through them the possibility of installing plants in these locations and their efficiency in four different periods of the year using analysis of speed of the winds, taking into account the various factors that influence the efficiency of the turbine in order to get the most cost-effective and make the power grid of the most diverse and reliable country. Thus, it can be concluded highly relevant information for the feasibility of wind power plants installed in the cities analyzed, verified from the data and analysis of built graphics.

Keywords: Wind, power, renewable, turbine.

BIBLIOGRAFIA

BRACIANI, U. **Estrutura de Custos para Implantação das Usinas de Geração de Energia Elétrica no Brasil**. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas), Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB). **Potencial Eólico**- Atlas do Potencial eólico brasileiro. Disponível em: <<http://cresesb.cepel.br>> Acesso em: 17 jun. 2016.

CEPA/USP. **Energia Eólica**. Disponível em: <<http://cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo4B/Eneralte/eolica.htm>> Acesso em: 15 jun. 2016.

CUSTÓDIO, R.S. **Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica**, 2a ed.: Editora Synergia. 2013.

Eletrobrás- Eletrosul. Disponível em: <<http://eletrosul.gov.br/sala-de-imprensa/noticias/extremo-sul-tera-maior-complexo-eolico-da-america-latina>> Acesso em: 15 jun. 2016

FARRET, F. A. **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica**, 2a ed.: Editora UFSM, 2010.

HODGEÉ, B. K. **Sistemas e Aplicações de Energia Alternativa**, 2a ed.: Editora LTC, 2010.

MALTA, C. S. **Estudos de Séries Temporais de Vento Utilizando Análises Estatísticas e Agrupamento de Dados**. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica), Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.A.; PEREIRA, E.B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São José dos Campos, Sociedade Brasileira de Física, v. 30, n. 1, 2008.

NEVES, E. et al. **Introdução ao Estudo de Energia Eólica**. Pp. 1 – 11. Caderno Didático – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Pelotas, 2009.

Portal Brasil(2016). **Brasil é o quarto país em que energia eólica mais cresce no mundo**. Disponível em: <<http://brasil.gov.br/infraestrutura/2016/01/brasil-e-um-dos-principais-geradores-de-energia-eolica-do-mundo>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

PUCRS – Centro de Energia Eólica. Disponível em: <<http://pucrs.br/ce-eolica>>. Acesso em: 21 dez. 2015.