

ENERGIA EÓLICA PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE E A IMPORTÂNCIA DA PREVISÃO

Alessandro Dalmaz

alessandroalmaz@pop.com.br

Leme Engenharia

Florianópolis – SC

Júlio César Passos

jpassos@emc.ufsc.br

LEPTEN / LABSOLAR

Laboratórios de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia /

Laboratório de Energia Solar

Departamento de Engenharia Mecânica – EMC

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

88040-900, Florianópolis – SC

Fone: (48) 3721-9379 r. 217

Sergio Colle

colle@lepten.ufsc.br

LEPTEN / LABSOLAR

Laboratórios de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia /

Laboratório de Energia Solar

Departamento de Engenharia Mecânica – EMC

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

88040-900, Florianópolis – SC

Fone: (48) 3721-9379 r. 217

Resumo

A energia eólica vem se destacando entre as alternativas para geração de eletricidade. Estudos mostram que o Brasil possui ventos que fazem desta fonte uma opção complementar para a geração com reduzido impacto ambiental. Com o aumento da potência eólica instalada, torna-se necessário o desenvolvimento de procedimentos de previsão da quantidade de energia eólica gerada. Neste artigo, é apresentada uma metodologia de previsão de geração a partir de dados meteorológicos corrigidos com redes neurais artificiais.

Área do conhecimento

Energia



Parque eólico em Água Doce – SC
Foto: Fernando Dalmaz

Introdução

A energia dos ventos vem sendo utilizada há milhares de anos para produzir trabalho, principalmente para movimentar embarcações, moer grãos, através dos moinhos de vento, bombear água, movimentar serrarias, entre outras aplicações.

A utilização dos ventos para geração de eletricidade teve início no final do século XIX, com a primeira turbina eólica para geração de energia elétrica desenvolvida pelo americano Charles Brush (1849 – 1929) e também com o desenvolvimento de uma turbina eólica pelo dinamarquês Poul la Cour (1846 – 1908), considerado o precursor dos modernos aerogeradores.

A humanidade enfrenta um grande desafio que é suprir a demanda de energia evitando agressões ao meio ambiente. A energia eólica é parte da solução deste problema, por se tratar de uma fonte renovável de energia, que é abundante e limpa por ter origem na própria dinâmica da atmosfera terrestre, ou seja, a força dos ventos se origina da diferença no aquecimento da superfície terrestre pelo Sol.

No entanto, a origem da energia eólica lhe confere problemas que dificultam a integração deste tipo de geração à rede elétrica. Por depender das condições atmosféricas, a quantidade de energia que será gerada é de difícil previsão, pois as condições do vento não podem ser controladas. Pode-se observar, nas Figs. 1, 2, a oscilação da velocidade do vento, para duas localidades: Água Doce e Florianópolis, a primeira no planalto catarinense (meio-oeste), e a segunda no litoral de Santa Catarina. Os dados mostrados foram coletados por anemômetros a cada 2 s, e armazenados em médias a cada 10 min. Na Fig. 3, são apresentados os gráficos de direção dos ventos para Água Doce e Bom Jardim da Serra, onde se observa que Água Doce apresenta uma clara direção preferencial de nordeste, enquanto Bom Jardim da Serra, localizada na serra de SC, apresenta uma grande dispersão, o que prejudica a geração de energia.

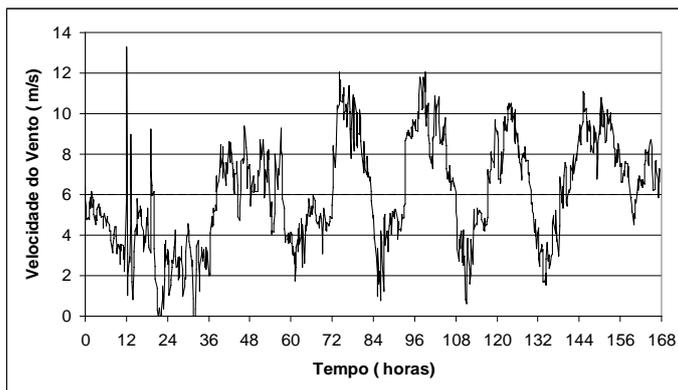


Figura 1. Velocidade do vento em Água Doce – SC, 14 a 20 de janeiro de 2004. Velocidade média de 6 m/s.

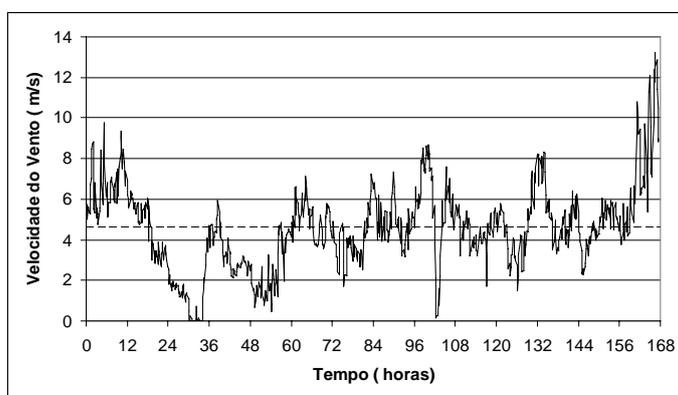


Figura 2. Velocidade do vento em Florianópolis – SC, 09 a 15 de maio de 2002, Velocidade média de 4,6 m/s.

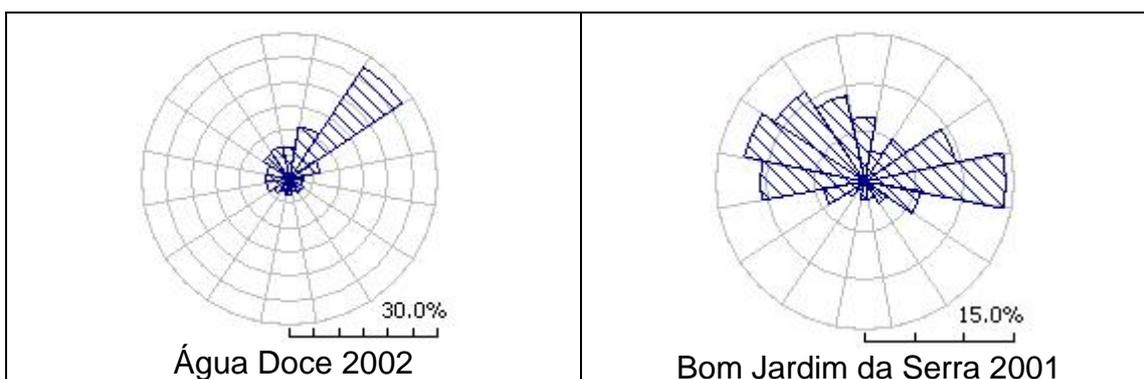


Figura 3. Direção do Vento

Um grande impulso à geração eólica de eletricidade ocorreu após a primeira crise do petróleo. Vários países passaram a investir em pesquisas sobre novas formas de geração de energia, permitindo que a geração a partir da energia eólica se destacasse em vários deles, especialmente na Alemanha, Dinamarca, EUA e Espanha. Atualmente, existem mais de 30 mil aerogeradores (AGs) no mundo, e, na Europa, houve um

crescimento médio anual em torno de 22%, nos últimos anos. A fim de aumentar a participação da energia eólica na matriz energética, vários países estão traçando metas. Até 2020, pretende-se, na Europa e nos Estados Unidos, atingir 10% e 6%, respectivamente, de eletricidade de origem eólica, segundo Corin Millais, diretor executivo da Associação de Energia Eólica Européia, e o Departamento de Energia dos Estados Unidos (USDOE).

O Brasil está iniciando a exploração da energia eólica. São 15 parques eólicos, localizados em sete estados, totalizando uma potência de 240 MW, representando 0,24% da potência instalada no país. Para o desenvolvimento das fontes alternativas, foi regulamentado, em 2004, o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), que através de financiamentos e garantias de compra e preço da energia, visa a aumentar a participação das fontes alternativas na matriz energética brasileira.

Alguns estudos mostram o grande potencial brasileiro para geração eólica. Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001), o Brasil tem um potencial estimado em 143,47 GW, considerando apenas os locais com velocidade média anual acima de 7 m/s. Algumas regiões que se destacam no Brasil são: o litoral do nordeste, principalmente do Ceará e do Rio Grande do Norte, o litoral do Rio Grande do Sul, as Serras Gaúcha e Catarinense, alguns locais do litoral Catarinense e a região dos campos entre Paraná e Santa Catarina. No caso do nordeste, dados de vento mostram áreas com médias anuais de velocidades superiores a 8,5 m/s. Ainda, estudos realizados pela CHESF (Companhia Hidroelétrica do São Francisco) e pela COPEL (Companhia Paranaense de Energia), mostram que, para certas regiões, há complementaridade entre a geração hídrica e a eólica, ou seja, os períodos do ano com maior incidência de ventos coincidem com os de menor oferta de chuvas.

Os custos de instalação e geração de energia eólica ainda são altos, porém, vêm diminuindo, nos últimos anos, com os avanços tecnológicos e de planejamento dos projetos dos parques eólicos. O custo de instalação de um parque eólico na Europa é pouco superior a US\$ 1000 / kW, enquanto no Brasil os valores chegam a custar, em média, R\$ 3500 / kW instalado, conforme mencionado por Jens P. Molly do Instituto Alemão de Energia Eólica (DEWI) em 2005.

Potência do vento

A potência do vento pode ser calculada através da equação abaixo:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

onde ρ é a massa específica do ar, em kg/m^3 , A a área varrida pelas pás do aerogerador, em m^2 e V é a velocidade do vento em m/s . Quanto maior for a área varrida pelas pás, maior será a potência que o AG aproveitará do vento. A potência também é função da velocidade do vento elevada ao cubo, o que implica que uma pequena alteração desta velocidade resulta em uma grande variação na potência. Por isso é interessante que se pesquise locais com médias de velocidades de vento altas, e também se analise a melhor altura da torre sobre a qual o aerogerador será instalado, pois a velocidade do vento aumenta com a altura.

O Brasil, que está iniciando a exploração da energia eólica, deve aproveitar a experiência dos países mais tradicionais no uso da energia dos ventos. Como exemplo, na Alemanha está ocorrendo o que se chama de repotenciação (*repowering*, em inglês), ou seja, aerogeradores de pequeno e médio porte estão sendo substituídos por aerogeradores de grande porte (maior diâmetro), mais modernos e eficientes, aumentando a relação potência instalada por área. O Brasil, apesar de possuir uma grande extensão territorial, deve analisar os projetos eólicos a fim de fazer um melhor aproveitamento do território desde o início da exploração dos ventos.

Aproveitamento da potência instalada em um parque eólico

Diversos são os fatores que influenciam a eficiência de um aerogerador e de um projeto eólico: aerodinâmicos, que também dependem do projeto das pás do aerogerador, e a variabilidade da velocidade e direção dos ventos. Na Fig. 4, é representada a curva de potência de um aerogerador com potência nominal (máxima) de 600 kW (a Curva de Potência fornece o valor de potência de um aerogerador em função da velocidade do vento). De acordo com esta curva, o aerogerador só estaria operando com sua potência nominal para valores de velocidade de vento superiores a 13 m/s (46,8 km/h). Então, mesmo para locais com excelentes médias de velocidade de vento, o aerogerador estará operando, na maior parte do tempo, com uma potência menor que sua potência nominal, ou seja, em carga parcial.

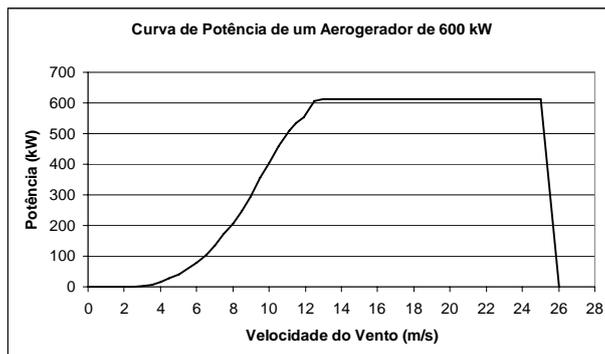


Figura 4. Curva de Potência de um aerogerador de 600 kW de potência nominal, 44 m de diâmetro.

Uma forma de se avaliar a capacidade de geração de um parque eólico é através do valor do Fator de Capacidade (FC), que é calculado a partir da equação abaixo:

$$FC = \frac{E_a}{P_N T}$$

onde E_a é a quantidade de energia produzida no intervalo de tempo T , e P_N é a soma das potências nominais dos aerogeradores do parque eólico. Desta forma, o produto $P_N T$ representa a quantidade de energia que seria gerada caso a velocidade do vento estivesse sempre acima da velocidade nominal. São considerados bons valores do FC quando acima de 0,3, ou seja, quando se está aproveitando 30% do potencial instalado. Na Fig. 5, é mostrada a Curva de Duração de Potência, para o período de um ano (8760 horas), que indica o número de horas em que o aerogerador esteve operando acima de um determinado valor de potência. Pode-se notar que um aerogerador de 600 kW instalado em Laguna - SC operaria cerca de 1200 horas, apenas, com sua potência nominal. O valor do FC de Laguna, neste exemplo, estaria em torno de 0,38, que é considerado excelente.

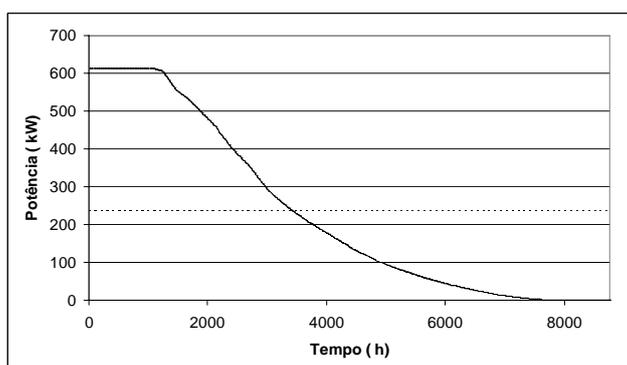


Figura 5. Curva de Duração de Potência para Laguna – SC, ano 2000.

Um empreendimento eólico está sujeito aos caprichos da natureza, de forma que mesmo tendo-se uma grande potência instalada nenhuma energia será gerada, quando os ventos forem fracos. Desta forma, uma matriz energética dependente da geração eólica tornaria o sistema de energia elétrica bastante vulnerável. Esta preocupação em relação à inconstância da produção de energia pelos aerogeradores, devido às variações na velocidade do vento, torna-se cada vez mais importante, à medida que aumenta a participação da geração eólica na matriz energética dos países.

Previsão de ventos e de geração eólica de energia

As características, acima, tornam a energia eólica menos competitiva em relação às outras formas de geração, como a hidráulica e a térmica, pois para que se tenha um suprimento seguro e viável de energia, a sua quantidade deve ser suficiente para atender à demanda com a menor incerteza possível. A fim de permitir que a energia eólica contribua de forma complementar à matriz energética, torna-se fundamental uma previsão precisa da velocidade e da direção do vento, no local do parque eólico. Esta previsão pode ser feita por um modelo numérico de previsão meteorológica (NWP) baseado nas equações da mecânica dos fluidos, que descrevem teoricamente o comportamento do ar atmosférico em escoamento. No entanto, as previsões dos modelos NWP são para áreas bem maiores que a área ocupada por um parque eólico, portanto com uma resolução relativamente baixa.

Em uma parceria entre o LEPTEN / LABSOLAR (Laboratórios de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia / Laboratório de Energia Solar) e o CPTEC / INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.), foi iniciado um estudo do potencial eólico e previsão de ventos para geração de eletricidade no Estado de Santa Catarina.

O CPTEC forneceu os dados de previsão de velocidades do vento do seu modelo de meso-escala, chamado Eta, que apresenta resolução horizontal de 40 x 40 km. A CELESC forneceu os dados de velocidade do vento, obtidos a partir de medições em torres anemométricas contendo dois anemômetros instalados, em geral, a 30 e 48 m de altura, para várias regiões do Estado de Santa Catarina. A localização destas estações pode ser observada no mapa da Fig. 6. A CELESC forneceu, também, os dados de potência gerada por dois parques eólicos em operação em Santa Catarina: o Parque

Eólico do Horizonte (com 8 aerogeradores de 600 kW) e a Usina Eólica de Bom Jardim da Serra (com 1 aerogerador de 600 kW).

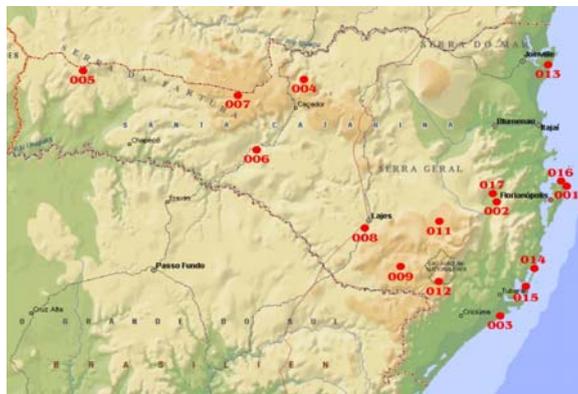


Figura 6. Localização das estações anemométricas em Santa Catarina.

De posse destes dados, é necessária uma correção das previsões do modelo meteorológico, pois, conforme já mencionado, a resolução do modelo Eta ainda pode ser melhorada pois a sua área de cálculo é várias vezes àquela ocupada por um parque eólico. Na realidade, um parque eólico ou estação anemométrica equivale, apenas, a um ponto dentro da área da resolução do modelo, sendo uma das principais causas das diferenças entre os resultados previstos e os medidos. Além disso, os valores previstos pelo modelo meteorológico não são, na maioria dos casos, para a mesma altura em que serão instalados os aerogeradores. Na Fig. 7, pode-se observar duas curvas que mostram as diferenças entre os valores de velocidade medidos através de anemômetros e os valores previstos pelo modelo Eta. Percebe-se que as previsões acompanham, relativamente bem, a tendência de comportamento do vento, porém com grandes divergências em relação aos valores, mesmo quando considerados os valores médios (linhas tracejadas) para o período.

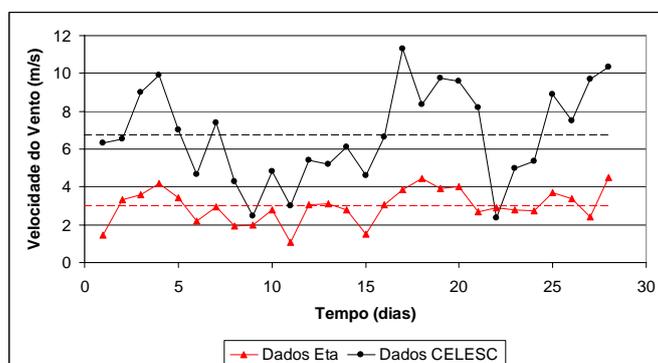


Figura 7. Comparação entre a velocidade do vento medida (CELESC) e prevista (Eta), Água Doce – SC, fevereiro de 2002.

A correção necessária para aproximar os valores previstos de velocidade com os medidos foi feita através do uso de um programa de redes neurais artificiais (RNA). A técnica de previsão com o auxílio de RNAs tem sido empregada, na Alemanha, para este tipo de aplicação, pois estas podem ser “treinadas” para captar a tendência de uma base de dados medidos. Uma vez “treinada” ou “condicionada”, a rede é, por hipótese, considerada adequada a corrigir os dados do modelo de previsão meteorológica.

Os dados fornecidos como entrada, neste estudo, foram os valores de velocidade de vento previstos pelo modelo Eta e, como referência para o treinamento da rede neural, os dados de potência medidos nos aerogeradores em operação nos parques eólicos citados. Então, tem-se como saída da rede neural, uma previsão de potência para o local, baseada nos dados de velocidade de vento previstos pelo modelo meteorológico.

Na Fig. 8, são apresentadas a potência prevista, com base nos dados do modelo Eta, e os valores de potência disponível no aerogerador da Usina de Bom Jardim da Serra Fig. 9, para o mesmo período. Neste caso, o treinamento da RNA foi realizado com dados de potência do mesmo aerogerador, para um período anterior àquele da Fig. 8.

Pode-se observar que são bastante grandes as diferenças entre os valores individuais das previsões e aqueles medidos, o que resulta em grandes erros (valores altos de RMSE, erro quadrático médio). Porém, há uma boa aproximação em relação aos valores médios no ano, o que pode ser observado pelas linhas tracejadas na mesma figura, a saber: 92,4 kW de potência média medida no aerogerador e 113,16 kW para a previsão. Na previsão da velocidade média anual, utilizando este método, as diferenças entre previsão e os valores reais chegam a 2%, porém, quando se faz a previsão da potência, a incerteza aumenta devido à maior sensibilidade em relação às flutuações dos valores da velocidade do vento.

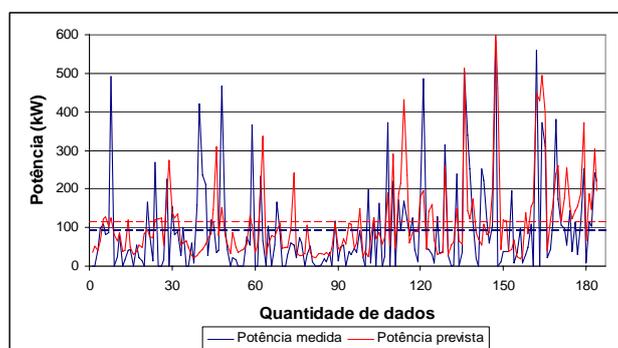


Figura 8. Comparação entre previsão e medição de potência para Bom Jardim da Serra – SC.



Figura 9. Aerogerador em Bom Jardim da Serra, 600 kW, diâmetro de 44 metros.
Foto: Júlio César Passos

Conclusões

Os resultados deste estudo ainda são insatisfatórios pois o período analisado e a quantidade de dados disponíveis para o treinamento das redes neurais e validação do procedimento de cálculo são considerados pequenos, o que limita o alcance da previsão. Os valores médios da previsão de velocidade de vento e potência apresentam uma boa aproximação com os valores reais, o que demonstra a adequação do método de redes neurais para previsão eólica. No entanto, ainda há bastante trabalho a ser feito, a fim de se diminuir as incertezas e ampliar a confiabilidade da geração eólica, no Brasil.

Sugestões de leitura

AMARANTE, O. A. C.; BROWER, M.; ZACK, J.; SÁ, A. L. de. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Brasília, 2001.

AMENEDO, J. L. R.; GÓMEZ, S. A.; DÍAZ, J. C. B. Sistemas Eólicos de Producción de Energia Electrica. Madrid: Rueda, 2003.

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2002.

DALMAZ, A., Estudo do Potencial Eólico e Previsão de Ventos para Geração de Eletricidade em Santa Catarina, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 175 p., Março, 2007.

Na Internet

Centro Brasileiro de Energia Eólica
www.eolica.com.br

Laboratório de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia –
LEPTEN / LABSOLAR
www.lepten.ufsc.br



Transporte das pás de um aerogerador.
Foto: Fernando Dalmaz



Pás de um aerogerador comparadas a um caminhão
Foto: Fernando Dalmaz