

POTENCIAL EÓLICO, MODELAGENS DE RAYLEIGH-WEIBULL E CORRELAÇÕES BILINEARES DE LONGO ALCANCE EM SALVADOR-BA

José Vicente Cardoso Santos (Doutorando - MCTI), prof.vicentecardoso@gmail.com;

Dr. Davidson Martins Moreira (Orientador - MCTI), davidson.moreira@fiob.org.br;

Dr. Marcelo A. Moret (Coorientador - MCTI), mamoret@gmail.com;

Faculdade SENAI CIMATEC

Palavras Chave: *Fontes Renováveis, DFA, Complexidade, Energia Eólica.*

Introdução

O cenário atual e global no que tange as fontes energéticas, impõe alternativas para suprir esta demanda. Neste cenário não basta apenas pensar em substituição de fontes de energia, mas também garantir a continuidade da mesma, evitando possíveis rupturas no fornecimento energético. (CARVALHO, 2003). No caso específico do Brasil, considera-se que o mesmo tem um alto potencial de geração de energia eólica, estando ainda em fase embrionária de exploração (BRASIL, 2013).

Esta pesquisa tem por objetivo a modelagem da função probabilidade de velocidade de vento em Salvador, Bahia, aplicando o modelo registrado em dados de lei de potência bilinear desta mesma velocidade, para estimar os potenciais geradores locais de energia eólica.

Métodos e Resultados Parciais

Foi utilizada uma metodologia lastreada na revisão de literatura sobre as temáticas envolvidas nos descritores, ou palavras chave, elencadas no resumo do trabalho, classificadas como de cunho documental, histórico e quantitativo. Portanto, foram utilizadas a pesquisa bibliográfica atualizada, acompanhada dos dados coletados na estação meteorológica denominada de *Vantage Pro2*. (6152, 6153), sem fio, e localizada na Latitude de $-12^{\circ} 58' 16''$ e Longitude $-38^{\circ} 30' 39''$, com uma altura média de 8 metros e sensores localizados, aproximadamente, a 40 metros do nível do mar. Tais sensores estão situados no SENAI CIMATEC, na cidade de Salvador (BA). O método utilizado foi o *Destrended Flutuação Analysis (DFA)*, com fins de determinação da persistência da série como fator de relevância para a viabilidade da respectiva instalação local dos geradores eólicos.

As características do processo de geração de

energia eólica estão diretamente relacionadas com as características do regime intermitente do vento local, sua velocidade, continuidade e potência refletida na transmissão de momento linear na sua passagem pelas pás do respectivo gerador (OLAOFE; FOLLY, 2013).

Considera-se também que, para geração de energia elétrica na matriz eólica, deva-se avaliar o potencial energético disponível na localidade de geração, bem como nos sistemas eólicos, uma vez que este potencial é calculado por meio da distribuição estatística de uma série histórica de dados de velocidade dos ventos (AMÊNDOLA, 2007).

Na atualidade, a maioria das pesquisas que tratam da potência dos ventos, concentram-se no problema do ajuste de distribuições estatísticas aos dados históricos de suas velocidades no local de ajustes (JUSTUS; MIKHAIL, 1976).

Figura 1: Curva de potência de um gerador eólico.



Fonte: (SILVA; ALVES; CAVALCANTI, 2002)

A Figura 1 mostra uma curva que descreve o fornecimento de uma potência gerada para cada velocidade de vento, de forma que a geração total de energia elétrica pode ser estimada pela da equação (GASCH; TWELE, 2002)

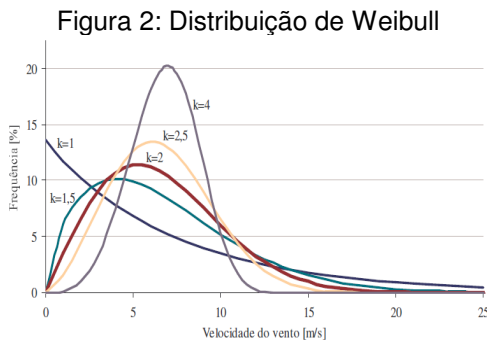
$$E_{Total} = \sum_{i=1}^n (f_i P_i T); \quad e \quad f_i = \frac{t_i}{T},$$

onde T é o período total de tempo considerado na avaliação, P_i , a potência fornecida indicada na curva de potência da instalação para a classe de velocidade do vento v_i , e f_i é a frequência de ocorrência da velocidade v_i indicada na série estatística respectiva (VAREJÃO-SILVA, 2001).

Uma das funções de distribuição utilizadas frequentemente para descrever o histograma de frequências de velocidades de vento é denominada distribuição de Rayleigh (GASCH; TWELE, 2002), que é definida por:

$$f_R(v) = \frac{\pi}{2} \frac{v}{v_{med}^2} e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v}{v_{med}} \right)^2}; \quad v_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^T v_i$$

Pode-se observar que:



Verifica-se a velocidade como único parâmetro para a definição da função de distribuição, o que possibilita boas previsões para locais de forte velocidade de ventos.

A quantidade de energia que o vento transfere em cada segundo para o rotor da turbina eólica pode ser descrita pelas equações:

$$P_v = \frac{1}{2} \sigma E(V^3); \quad E(V^3) = c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right).$$

Além da análise das distribuições de Rayleigh e de Weibull, registra-se também análise de flutuação destendenciada (*Destrended Flutuação Analysis* - DFA), que é um método originário do aperfeiçoamento do método denominado *Fluctuation Analysis* (FA) e permite a eliminação da tendência da série temporal em diferentes escalas, analisando flutuações intrínsecas dos dados (MORET *et al.*, 2010).

As pesquisas preliminares com os dados da estação experimental do SENAI CIMATEC nos possibilitou uma análise com ajuste dos valores extremos locais da velocidade do vento da série, indicando leis de potências em cada classe linear, de modo que o coeficiente de escala global, em um primeiro momento (ajuste em cor vermelha), ficou no intervalo entre 0,5 e 1, ($\alpha=0,82 \pm 0,02$), e em outra faixa de análise (em azul), ($\alpha=0,37 \pm 0,01$), indicando

que existe uma correlação de longo alcance persistente com e sem ruído. (PENG, 1994). Além disto a correlação de longo alcance em ambos os regimes lineares detectados para velocidade e frequência dos ventos nos permite concluir que existe lei de potência em ambos os regimes de forma bi-linear:

$$y = \frac{\alpha_1 x + \beta_1}{1 + e^{(p(x-x_0))}} + \frac{\alpha_2 x + \beta_2}{1 + e^{-p(x-x_0)}}$$

sendo x_0 o ponto de transição entre regimes (crossover), e p o parâmetro de suavidade da transição de um regime para o outro, de forma que o melhor conjunto dos parâmetros deste modelo pode ser obtido através de método de mínimos quadrados não linear, utilizando o algoritmo de Levenberg-Marquardt (BECK, TEBoulLE, 2007).

Conclusões

De forma geral, mesmo com análise clássica que utiliza as modelagens de Rayleigh e de Weibull, fica evidente uma forte correlação entre a bilinearidade detectada e os períodos de alternância do fluxo das marés locais. Isto decorre do fato de estar localizado em região costeira, com brisas persistentes em temporalidades diferentes em função do movimento de marés, onde se deve considerar o fato de que a intensidade da brisa marítima depende de um conjunto de fatores (MOREIRA; TIRABASSI, 2004).

Portanto, grosso modo, pode-se afirmar que a modelagem híbrida com as distribuições clássicas de Rayleigh e de Weibull possibilita planificar estimativas de potências eólicas geradas, ao tempo em que as correlações bilineares detectadas na localidade de estudo proporcionam uma sequência de dados correlacionados em uma série temporal da velocidade do vento com o método DFA, no sentido de indicar períodos de pertinência com intervalos de maximização e minimização no processo de geração de energia eólica nas flutuações temporais da série.

Para trabalhos futuros sugere-se o aprimoramento desta modelagem com o uso de filtros MOS para atenuar os ajustes do processo e o uso de redes neurais para prover novos resultados para o comportamento das séries temporais associadas.

Referências

- AMÊNDOLA, C. A. M. *Contribuição ao estudo de aerogeradores de velocidade e passo variáveis com gerador duplamente alimentado e sistema de controle difuso*. São Carlos. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2007.
- BECK, A.; TEBoulLE, M. *A linearly convergent dual-based gradient projection algorithm for quadratically constrained convex minimization*. Mathematics of Operations Research, 2007.
- BRASIL. *Empresa de Pesquisa Energética*. Balanço Energético Nacional 2014 - Ano base 2013: Relatório Síntese. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf >. Acesso em 7 jul. 2016.
- CARVALHO, P. C. M. *Geração Eólica*. Fortaleza: Imprensa



**Workshop de Gestão,
Tecnologia Industrial e
Modelagem Computacional**

Universitária UFC, 2003.

GASCH, R., TWELE, J. **Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation.** Solarpraxis AG, Alemanha. 2002.

JUSTUS, C. G.; MIKHAIL, A. **Height Variation of Wind Speed and Wind Distribution.** Geophysical Research Letters, v. 3, p. 261-264, 1976.

MOREIRA, Davidson; TIRABASSI, Tiziano. **Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera:** um instrumento técnico para a gestão ambiental. Ambiente & Sociedade, vol. 7, núm. 2, julho-diciembre, 2004, pp. 159-171. Disponível em: Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31770210>. Acesso em 2 jul 2016.

MORET, M. A.; SENNA, V. de; ZEBENDE, G. F.; VAVELIUK, P. **X-ray binary systems and nonextensivity.** Physica A. 389: 854-858, 2010.

OLAOFE, Z. O.; FOLLY, K. A. **Wind energy analysis based on turbine and developed site power curves:** A case-study of Darling City. Renewable Energy, v. 53, p. 306-318, maio. 2013.

PENG, C-K. *et. al.* **Mosaic organization of DNA nucleotides.** Physical Review E, v. 49, n. 2, pp. 1685-1989, 1994.

SILVA, B. B.; ALVES, J. J. & CAVALCANTI, E. P. **Caracterização do Potencial Eólico da Direção Predominante do Vento no Estado da Bahia.** In : XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz de Iguaçu, PR, Anais. p.104-112.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia.** 2ª Ed. ed. Brasília/DF: INMET, 2001. p. 532. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. 1974.