

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO APROVEITAMENTO DE ENERGIA EÓLICA NO MUNICÍPIO DE VILHENA-RO ¹

Robson Leal da Silva², David Luiz da Silva³

¹Aceito para publicação no 4º Trimestre de 2016.

²Dr. em Eng. Aeronáutica e Mecânica, graduado em Eng. Mecânica, Professor Associado na UFGD - Universidade Federal da Grande Dourados (cursos Engenharia de Energia & Engenharia Mecânica), Dourados-MS, Brasil, rlealsilva@hotmail.com.

³Técnico Agrimensor e Gerente Técnico (Leste Engenharia e Topografia), Discente do Curso de Matemática (Licenciatura) no IFRO - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia. Vilhena-RO, Brasil, lestemt@uol.com.br.

Resumo

O Centro-Oeste e Norte do Brasil são regiões geográficas com poucas pesquisas registradas na literatura técnico-científica a respeito do potencial para aproveitamento de energia eólica. Conhecer qual é o regime de vento e as condições predominantes em cada local é importante para uma melhor estimativa do potencial eólico local, dentre outras aplicações que dependem dessas características. Assim, o objetivo deste trabalho é determinar a direção predominante e intensidade da velocidade do vento (médias e frequências de ocorrência), bem como seu comportamento sazonal no município de Vilhena-RO. Adicionalmente, realizar avaliação preliminar do potencial eólico local. A metodologia considera os dados registrados a cada hora, por estação meteorológica localizada no aeroporto municipal de Vilhena-RO (latitude 12° 42'S, longitude 60° 05' W e altitude de 612m), com anemômetro instalado 9m acima do nível do solo, e série histórica no período 01/2003 a 01/2004. Frequências de ocorrência para direção são estabelecidas com intervalos de 30° e, para velocidade com intervalos de 1,0 m/s. Os resultados obtidos, considerando a série histórica analisada e características geográficas locais, é possível destacar o que segue: i) Direções predominantes da velocidade do vento são

na direção Leste (E) e Norte (N); ii) Velocidade máxima registrada é de 10 m/s (ou 36 km/h); iii) Velocidade média anual é de ~3,5 m/s; iv) Potência eólica estimada é de ~47,44 W/m².

Palavras-chave: Energias renováveis, Estações meteorológicas, Estatística, Modelos matemáticos, Comunidades isoladas.

PRELIMINARY ASSESSMENT ON WIND ENERGY HARNESSING IN VILHENA-RO

Abstract

Brazil's Central-West and North are geographical regions with few researches registered in the technical-scientific literature of the potential for wind energy harnessing. To know wind regime and the conditions prevailing in each location are important for better estimations of the local wind energy potential, among other applications dependent on these characteristics. The aim of this work is to determine the prevailing wind speed direction and its intensity (mean values and occurrence frequencies), as well as their seasonal behavior in the city of Vilhena-RO. Furthermore, perform preliminary assessment of the local wind energy potential. Methodology considers data recorded every hour, weather station located at Vilhena-RO municipal airport (latitude 12° 42'S, longitude 60° 05 'W and altitude 612m), with anemometer installed 9m above ground level, and historical series in the period 01/2003 to 01/2004. Occurrence frequencies for direction are set at 30° intervals and 1,0 m/s intervals for wind speed. The results, considering the historical series analyzed and local geographical features, it can highlight the following: i) prevailing directions of wind speed are toward East (E) and North (N); ii) Maximum recorded wind speed is 10 m/s (or 36-km/h); iii) Average annual wind speed ~3.5 m/s; iv) Wind energy potential is estimated for ~ 47.44 W/m².

Keyword: Renewable energy, Meteorological weather stations, Statistics, Mathematical models, Isolated communities.

Introdução

Existe acesso limitado à energia para uso final em consumidores isolados (comunidades, fazendas de produção agro-industrial, tribos, vilas, pequenos agricultores dentre outros) nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil. Isto acontece principalmente devido aos baixos usos individuais e também longas distâncias até as linhas de transmissão, o

que requer altos investimentos e baixo retorno financeiro para as companhias de energia elétrica. A região da Amazônia Legal abrange aproximadamente 60% da extensão territorial do Brasil e é composta por 9 estados que estão situados na região Norte (AC, AM, AP, PA, RO, RR e TO), Nordeste (MA) e Centro-Oeste (MT). As características deste conjunto territorial são de baixa densidade populacional (3,4 habitantes/km²), disponibilidade escassa de energia elétrica, que quando existem é de fontes termoelétricas, e cerca de 30% desta população (de um total de 17 milhões) sem acesso à energia elétrica, conforme IBGE (2000) e ANEEL (2005).

O estudo destes potenciais energéticos na região Amazônica e Centro-Oeste aponta para possíveis localidades nas quais é possível converter fontes de energias renováveis, tais como a eólica, de maneira regular e confiável, embora não em valores elevados (i.e., de grande porte) como ocorre nas região litorânea (Nordeste e Sul com instalações de grande porte), mas ainda assim viável pelas características regionais. Existe um enorme potencial de exploração das energias eólica e solar num país gigantesco e de clima tropical como o Brasil, sendo necessário que sejam dadas às condições para o levantamento e estudos de viabilidade que em longo prazo resultarão em desenvolvimento de equipamentos e processos inovadores, sendo esse um dos objetivos principais da pesquisa e desenvolvimento apoiado pelos órgãos competentes e mesmo a iniciativa privada.

A utilização de fontes renováveis de energias, tais como energia solar e eólica no Brasil e no mundo (CRESESB, 2005) possui como principal impedimento, a ausência de informações sobre os reais potenciais energéticos disponíveis e também a necessidade de uma base de dados de longo prazo para formar uma base histórica do comportamento anual. Este desconhecimento somente poderá ser resolvido a partir da coleta de dados e posterior processamento, estudo e interpretação que será capaz de apontar as viabilidades de recursos. Mesmo que estes recursos sejam mensurados como de pequeno e médio porte, poderão ser ainda utilizados para aplicações específicas (uso doméstico, movimentação de máquinas e equipamentos para produção e beneficiamento agro-industriais de pequeno e médio porte, atividades de transformação de matéria-prima, etc).

Aproveitamento de grande porte para energia eólica utiliza equipamentos comerciais com projetos desenvolvidos fora do Brasil e que estão disponíveis comercialmente, de maneira que o regime de ventos do local de instalação devem se adaptar aos equipamentos já

existentes. Tais tecnologias são utilizadas em larga escala por outros países graças a projetos que contam com subsídios de seus governos, dentre os quais pode-se mencionar os EUA, Alemanha e Dinamarca. No entanto, as características do regime de vento que existe no Brasil que podem fazer uso destas são limitadas ao litoral do país, para velocidades do vento elevadas, destacando-se o estado do Ceará e Rio Grande do Norte, sendo mais recentes os estudos e medições da velocidade dos ventos nas regiões Sul e Sudeste.

O Mapa do Potencial Eólico do Brasil (Amarante et al., 2001) indica regime de ventos com velocidades inferiores às necessárias para a utilização de equipamentos comerciais de grande porte nas regiões Centro-Oeste e Norte do país. Diante deste quadro, este trabalho pretende iniciar um estudo para aproveitamento da energia eólica em regiões de características distintas daquelas encontradas no litoral brasileiro (superiores a 7 m/s próximo ao nível do solo), as quais possuem um regime de ventos regular de pequena e média intensidade (entre 1-3 e 3-5 m/s) nos estados de Rondônia e Mato Grosso com potencial para serem transformados em energia mecânica (movimento das pás de turbinas eólica, potência mecânica é igual a torque versus rotação) para usos diversos (ex: bombeamento de água, moagem de grãos, etc) e, também em energia/potência elétrica.

Em região próxima ao município de Vilhena-RO, Dallacort et al. (2010) relataram as características de Tangará da Serra-MT, cujos ventos característicos tem direção predominante Nordeste e Norte, com velocidade média anual de 1,30-2,20m/s (a 10m do solo). Utilização de estações meteorológicas de aeroportos, juntamente com outra estação meteorológica, para fins de análise do regime de ventos foi utilizado por Ratto e Nico (2012), para La Plata, cidade Argentina.

O potencial eólico (W/m^2 , por área das pás da turbina eólica) de uma determinada região é tipicamente determinado após investigação dos dados referentes à velocidade média horária do local, a exemplo do estudo da região leste do Mediterrânea realizado por Sahin et al. (2005). Estes parâmetros são obtidos para o período de um ano ou mais, fornecidos por estações meteorológicas próximas ao solo ($\leq 10m$, usualmente) e extrapolados para alturas de instalação das turbinas eólicas. Resultados referentes a 12 meses de medições foram obtidos por Costa et al. (2012), utilizando anemômetros tipo concha de copo instalados em torres a 30m de altura, obtendo velocidades médias mensais para a região de Alagoas, respectivamente Agreste, Sertão e Litoral, de $7,1 \pm 1,2$ (m/s), $6,8 \pm 0,9$ (m/s) e $5,3 \pm 0,8$ (m/s).

Visto que as velocidades de partida de turbinas eólicas comerciais é em torno de 3,0 m/s, é necessário instalar estes equipamentos em alturas superiores às aquelas de estações meteorológicas, por exemplo entre 15-30m para pequeno e médio portes e 50-100m de altura para equipamentos de grande porte, usualmente interligados ao sistema elétrico nacional como é o caso das fazendas eólicas atualmente existentes no Brasil no Ceará, Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul. Dados da literatura indicam viabilidade técnica para aproveitamento de energia eólica de grande porte quando o seu potencial é superior a 500 W/m² na altura de 50m, que corresponde à ao vento com velocidade mínima de 7 a 8 m/s (Silva, 2007). No entanto, para aproveitamentos de pequeno e médio portes, pode-se considerar por exemplo, uma ordem de grandeza a menos, ou seja, em torno de 50 W/m².

Objetivos

Assim, o objetivo deste trabalho é determinar a direção predominante e intensidade da velocidade do vento (médias e principais frequências de ocorrência), bem como seu comportamento sazonal no município de Vilhena-RO, representativo da região geográfica de transição Centro-Oeste e Norte do Brasil. Adicionalmente, uma avaliação preliminar do potencial eólico local é pretendida, considerando os dados brutos distribuídos de maneira discreta em diferentes frequências de ocorrência, sem necessidade de desenvolver uma distribuição estatística mais elaborada, de natureza contínua a exemplo da distribuição de Weibull. Os resultados obtidos podem subsidiar a viabilidade técnica para aproveitamento de energia eólica de pequeno e médio porte em áreas urbanas e rurais da região geográfica com as características do local.

Materiais e métodos

Estação meteorológica e geografia local

A análise preliminar do potencial eólico tem como fonte de informações um conjunto de 6.828 observações (dados brutos), referentes ao aeroporto do município de Vilhena-RO. O local, embora seja parte da região Norte do Brasil, está localizado na fronteira entre os estados de Rondônia e de Mato Grosso. A localização geográfica do município é na latitude 12° 42' S, longitude 60° 05' W e altitude de 612m acima do nível do mar, distante 780 km de Porto

Velho-RO e 730 km de Cuiabá-MT, respectivamente as capitais dos estados representativos para região Centro-Oeste e Norte mencionadas neste trabalho.

As características geográficas da região escolhida para o estudo do potencial eólico são bastante representativa do cerrado e da zona de transição cerrado-floresta, sendo que a economia regional é baseada no setor agrícola de produção de grãos (soja, milho, algodão e outros), pecuária de corte bem como de pequenos agricultores em localidades distantes da linha de transmissão de energia elétrica. A cobertura vegetal de cerrado na região em estudo caracteriza uma baixa influência do terreno quando à rugosidade da superfície em caso de instalação de sistemas anemométricos e torres de captação da energia eólica.

A leitura anemométrica de superfície forneceu informações de velocidade e direção do vento na região entre os meses de janeiro de 2003 e janeiro de 2004. Assim, 13 meses de dados coletados representam uma série histórica de pelo menos 1 ano, para estimativa preliminar do potencial eólico local, o qual poderá ser estendido para uma grande área de características geográficas similares nos estados de Mato Grosso e Rondônia.

Para a coleta de dados foram utilizados os seguintes equipamentos: anemômetro coester (modelo anm77), coletor de intensidade com 3 conchas e coletor de direção do tipo par (com leme de catavento). As velocidades coletadas correspondem aos ventos de superfície no aeroporto de Vilhena-RO, sendo que a altura de instalação deste conjunto de equipamentos foi de 9m de altura, com a leitura de dados feita diretamente nos indicadores dos instrumentos coletados e organizados por Farias (2004).

Modelagem e análise estatística

A partir dos cálculos realizados, bem como dos registros horários do anemômetro, estes valores foram tabulados para determinação da frequência absoluta (quantidade total de eventos em determinado intervalo) e relativa (% , relação entre quantidade de ocorrências no intervalo e quantitate total em todos os intervalos). Ou seja, determinou-se Frequências Relativas Horárias e Diárias (FRH e FRD) a partir de Frequências Absolutas Horárias e Diárias (FAH e FAD).

Para a direção do vento, foi estabelecido como critério a divisão de 360° em 12 intervalos (ou classes) de 30° cada um, tendo 0° como referência para o Norte geográfico. As maiores frequências relativas dentre todas os intervalos indicarão à direção predominante do

vento. Para a velocidade do vento, foram utilizado a faixa total entre 0 e 10 m/s, porém com poucos valor registrados superior a 7 m/s com o anemômetro a 9m de altura. Assim, dividiu-se em 10 intervalos (ou classes) de 1,0 m/s cada um: 0,0-1,0 m/s; 1,0-2,0 m/s; ...até 9,0-10,0 m/s.

A distribuição de velocidades obtida resulta num histograma de velocidades ao longo do tempo. Trata-se de uma distribuição discreta que pode ser ajustada por modelos estatísticos que resultam em uma função matemática contínua, chamada de função densidade de probabilidade, a qual facilita a manipulação numérica dos dados para fins de integração e obtenção de uma velocidade média em função do tempo, $v = f(t)$. Dentre as diversas opções de distribuições estatísticas, a função densidade de probabilidade de Weibull é a mais comum em diversos trabalhos da literatura no assunto (Alé, 2001; Cereser, 2003). A função de Weibull apresenta-se normalmente como a melhor opção para se estimar a quantidade de energia gerada em sistemas eólicos a partir da distribuição de velocidade média do vento e a quantidade de tempo (horas por mês).

No entanto, neste trabalho, que tem como objetivo uma avaliação preliminar do potencial eólico, será utilizada a distribuição discreta (histograma) como base para a estimativa da velocidade média em cada intervalo, e a somatória das parcelas de potência eólica a partir das velocidades médias resultando na potência total.

Estimativa da potencia eólica local

A energia eólica armazenada na atmosfera é obtida a partir da energia cinética do deslocamento dos ventos (circulação atmosférica resultante da radiação solar que chega ao planeta com efeitos diferenciados nas diversas regiões). Deste montante, somente uma pequena parte é possível ser recuperada na prática, com a tecnologia e equipamentos hoje disponíveis. Porém, este potencial de energia eólica representa uma parcela significativa quando considerada para regiões e usos específicos, podendo ser estimado por meio de curvas de duração da velocidade do vento para uma determinada localização geográfica e altitude acima do nível do mar (que altera a massa específica do ar).

Uma vez que a energia gerada por uma turbina eólica é função da velocidade do ar que a movimenta, a velocidade média obtida pelos instrumentos de medição (anemômetros) que estão em determinada altura (h), deve ser corrigida para a altura (H) correspondente à

instalação da turbina eólica. O modelo de correção a ser considerado é o método de extrapolação logarítmico no qual o estudo da camada limite resulta em uma expressão do perfil de velocidades que é uma função logarítmica. Esta lei exponencial é dada pela Eq. (1), conforme utilizado por alguns autores (Burton, 2011; Carvalho, 2003), e que se aproxima com precisão satisfatória de resultados experimentais, amplamente usado para análises preliminares de potencial eólico.

$$v_H = v_h \cdot (H/h)^\alpha \quad (1)$$

Onde:

v_H = Velocidade do vento (m/s) estimada na altura H (m);

v_h = Velocidade do vento (m/s) medida na altura h (m);

H = Altura de instalação (m) da turbina eólica, com referência na linha do eixo/cubo do rotor;

h = Altura de instalação (m) do instrumento para medição de velocidades (anemômetro);

α = Parâmetro de forma do perfil de velocidades, função da rugosidade do terreno;

O valor do parâmetro “ α ” é adimensional, função da topografia do local da coleta de dados (superfície e arredores) e varia entre 0,06 até 0,6, respectivamente para locais lisos (ex: superfície do mar) e locais de elevada rugosidade (ex: cidades). Na estimativa para o presente estudo é considerado igual a 1/7, conforme apresentado por Burton (2011) e Silva (2013).

A potência eólica disponível em um determinado ponto de coleta de dados com altura h , pode ser avaliada pela Eq. (2).

$$P_{Eólica} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \text{ ou } \frac{P_{Eólica}}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad (2)$$

Onde:

$P_{Eólica}$ = É a potência eólica teórica disponível na energia cinética dos ventos, W;

ρ = massa específica do ar, tipicamente em CNTP dada por 1,25 (kg/m³);

A = Área de passagem do ar ou área da secção transversal das pás da turbina eólica, m²;

v = Velocidade média do ar, m/s;

Ressalta-se que $P_{Eólica}$ é a potência instantânea teórica e, em condições reais, apenas uma parcela desta quantidade de potência ($W = J/s$, energia/tempo) pode ser transformada e absorvida pelas máquinas de fluido que consistem as turbinas eólicas para conversão de

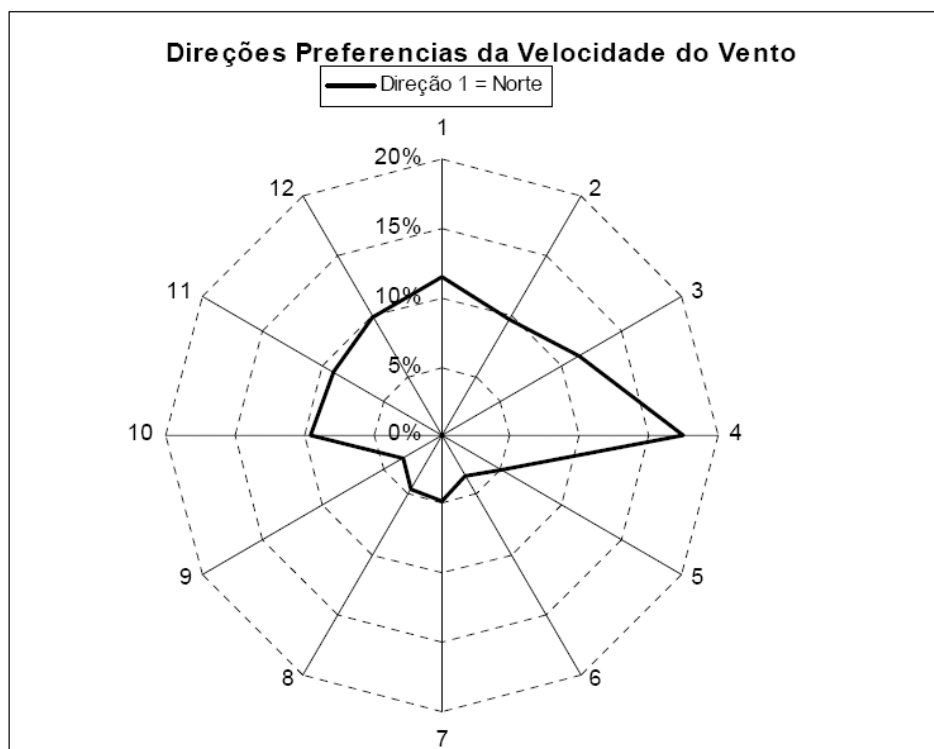
energia. Isto acontece porque o mecanismo utilizado para a transformação da energia do ar em torque mecânico é um rotor eólico e suas pás, nas quais o ar chega na velocidade $v_{\text{entrada}} > 0$, mas não sai com $v_{\text{saída}} = 0$ e, conforme pode ser comprovado pelo teorema de Betz, demonstrado por Gouveia (2004), a máxima quantidade de energia cinética dos ventos que pode ser transformada em energia mecânica é ~59,3%. Isto corresponde a uma relação entre v_{entrada} e $v_{\text{saída}}$ de 3:1 no ponto de máximo rendimento, sem considerar outras perdas mecânicas que resultam do conjunto de equipamentos a ser montado. Além disso, caso se busque a conversão final em energia elétrica, haverá ainda outra parcela de eficiência de conversão no gerador elétrico a ser considerada.

Resultados e discussão

O estudo do comportamento e intensidade local dos ventos para fins de aproveitamento eólico precisa de respostas para as seguintes questões: a) Quais as direções principais destes ventos, para fins de instalação de turbinas eólicas caso sejam fixas; b) Qual é a velocidade média dos ventos em um determinado período (ex: diária, mensal e anual) e também a série histórica (ex: anual). Estas respostas são essenciais para avaliação de viabilidade de aproveitamento eólico, sendo que a segunda resposta indicará qual a estimativa do potencial eólico existente no local (W/m^2) e a primeira as características do sistema de captação (necessidade de mobilidade direcional ou não).

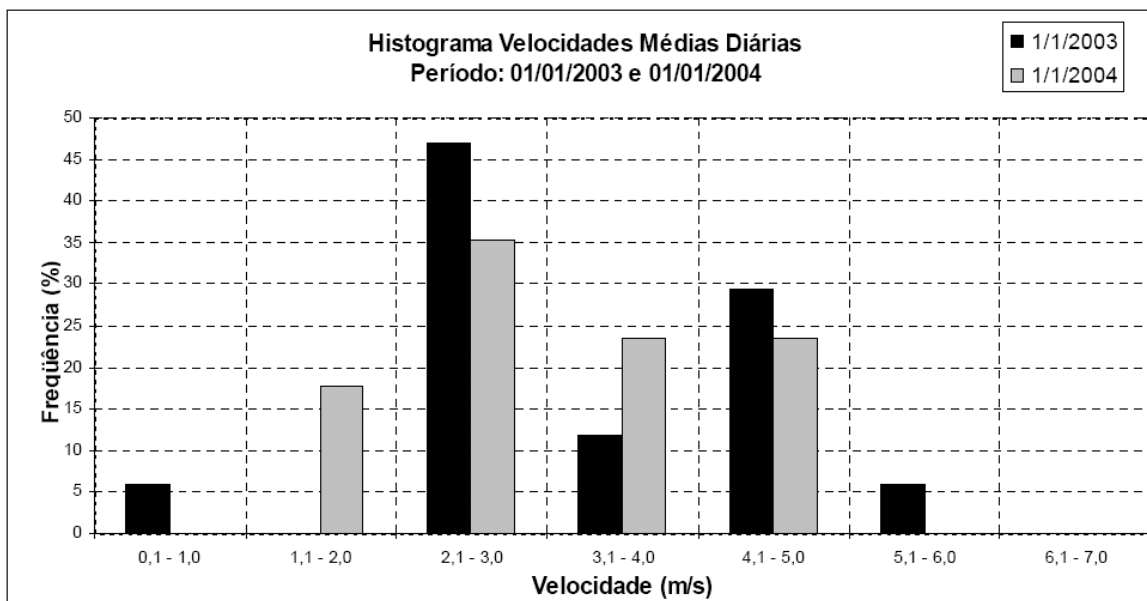
A Figura 1 apresenta como resultado a identificação das direções do vento que são predominantes no município de Vilhena-RO. Esta figura mostra um diagrama típico conhecido como rosa dos ventos, indicando quais são as direções preferenciais típicas da região geográfica, sendo as indicações “1”, “7”, “4” e “10”, respectivamente, as direções Norte, Sul, Leste e Oeste. Percebe-se que a direção que predomina é a Leste (E), com frequência de ocorrência entre 15-20% do total de registros e a 2ª direção mais predominante é a direção Norte (N) entre 10-15% de ocorrências ao longo do ano. Dallacourt et al. (2010) relataram para o município de Tangará da Serra-MT, direções predominantes Norte (N) e Nordeste (NE), respectivamente, com ocorrências ao longo do ano entre 9-30% e 16-29%. Ou seja, ambas as localidades são próximas geograficamente (planalto dos Parecis) e bastante similares quanto às direções predominantes.

FIGURA 1: Direções preferenciais do vento em Vilhena-RO (Rosa dos Ventos).



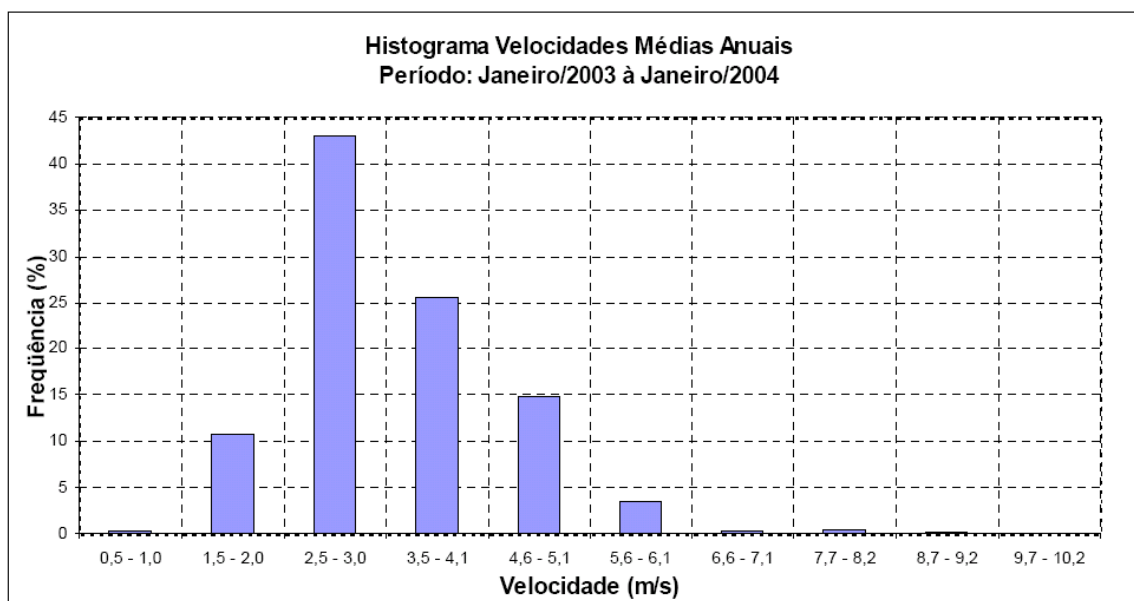
Na Figura 2, apresentada a seguir, mostra-se a distribuição diária (01/01/2003 a 01/01/2004) para as velocidades médias do vento de superfície no aeroporto de Vilhena-RO. Os resultados demonstram que este fenômeno, velocidade dos ventos locais, além de ser variável ao longo das 24 horas do dia também o é ao longo dos meses, ou seja, sazonal de acordo com as estações climáticas. Além disso, após 1 ano há algumas mudanças nas características indicando diferenças em anos distintos, ou seja, variação periódica da velocidade do vento (quantitativa e qualitativa), embora ainda próximas o suficiente para manter enquadramento no perfil de distribuição estatística. Isto fica evidente nos dados referentes a 01/01/2004 na faixa de 1,1-2,0 m/s e referentes a 01/01/2003 nas faixas de 0,1-1,0 e 5,1-6,0 m/s, bem como na proporcionalidade observada nas faixas 2,1-3,0 e 4,1-5,0 m/s.

FIGURA 2: Histograma para velocidade do vento (média diária) em Vilhena-RO – Dia típico.



Na Figura 3, tem-se o histograma correspondente ao período de 12 meses, referentes ao ano de 2003. Isto foi obtido a partir da média mensal da velocidade do vento, obtida a partir das médias diárias com 24 valores cada. As velocidades mais elevadas, acima de 5,1 m/s ocorrem com frequências que totalizam em conjunto cerca de 5% do total. Destaca-se que em cerca de 70% do tempo, as velocidades ficam entre 2,5-4,1 m/s e 15% do tempo entre 4,6-5,1 m/s. Estes valores são significativos considerando que referem-se à altura do anemômetro posicionado 9m acima do solo, e superiores a isso em instalações de turbinas eólicas conforme indicado pela Eq. (1). A velocidade máxima observada foi de 10 m/s (ou 36 km/h) no dia 20/09/2003.

FIGURA 3: Histograma para velocidade do vento (média anual) em Vilhena-RO – Ano 2003.



A distribuição da Figura 3 pode ser modelada por uma função distribuição de probabilidade de Weibull, a qual pode ser utilizada para estimativa do potencial de energia eólica disponível no local, como exemplificado por Gabriel Filho et al. (2011). No entanto, como destacado na metodologia, os resultados preliminares aqui obtidos são baseados na distribuição discreta fornecida pelo histograma.

Na Tabela 1 apresentada a seguir, apresenta-se o resultado do potencial eólico a partir das distribuições discretas (histogramas). Embora a distribuição de Weibull seja mais comum na literatura, um resultado preliminar aqui pretendido é obtido com aproximações a partir da Figura 3. Considerando a Eq. (2), a velocidade média em cada faixa deverá ser multiplicada por um fator igual a $[(50 / 9)^{1/7}]$, ou seja, 1,2776. Em seguida, a partir da Eq. (2) obtém-se a potência eólica por unidade de área, $P_{Eólica} / A$ (W/m²), que multiplicada pelas diversas frequências de ocorrências resulta em potência parcial. A somatória das parcelas de potência para cada frequência de ocorrência resulta na potência total, por unidade de área (W/m²). Assim, tem-se como potência eólica local, a 50m de altura, ~47,44 (W/m²) que é uma ordem de grandeza menor do que a potência eólica de referência em turbinas eólicas de grande porte. Ou seja, resultados são indicativos para aproveitamento de pequeno-médio portes.

TABELA 1: Potencial eólico estimado dos histogramas de velocidade em 2003, Vilhena-RO.

	1,0-2,0	2,0 a 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	5,0 a 6,0
Faixa de velocidades	~1,5 (m/s)	~2,5 (m/s)	~3,5 (m/s)	~4,5 (m/s)	~5,5 (m/s)
v_H , em 50m altura	1,92	3,20	4,47	5,75	7,03
v_H^3	7,08	32,77	89,31	190,11	347,43
$P_{Eólica} / A$ (W/m ²)	~4,4	~18,4	~50,2	~109,3	~195,4
Frequência (%)	~10	~45	~25	~15	~5
Potência parcial (W/m ²)	0,44	8,28	12,55	16,40	9,77
Potência total (W/m ²)	47,44				

Conclusões

Como comentários finais, destaca-se que o objetivo deste trabalho foi iniciar a organização de uma base de dados consistente e de boa confiabilidade sobre recursos energéticos renováveis, especificamente para energia eólica na região Centro-Oeste e Norte do Brasil. Assim, pode-se fornecer informações necessárias para eventual tomada de decisões embasadas em conhecimento técnico-científico, com o objetivo de reduzir as incertezas nos custos de implementação de projetos com maior garantia de retorno dos investimentos e, desta forma, atrair investidores para a exploração de fontes renováveis energia.

Dos resultados apresentados neste artigo, considerando a série histórica analisada (13 meses de dados brutos coletados), correspondentes ao município de Vilhena-RO, destacam-se:

- i) Ao longo do ano, as direções predominantes da velocidade do vento são na direção Leste (E) com 17,43% das ocorrências, seguida pela direção Norte (N) com 10 a 15%;
- ii) A velocidade máxima registrada é de 10 m/s (ou 36 km/h) no dia 20/09/2003;
- iii) A velocidade média predominante é na faixa de 3,5 m/s em ~45% do tempo anual;
- iv) A potência eólica, por unidade de área é estimada em ~47,44 (W/m²), o que corresponde ao indicativo técnico para aproveitamento utilizando equipamentos de pequeno-médio portes;

Turbinas eólicas de pequeno porte, entre 10 e 50 kW, correspondem à faixa de consumo de uma residência. Assim, estes são os modelos comerciais que podem ser recomendados para utilização do potencial eólico disponível na região.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao projeto de pesquisa “*Geração e armazenamento de energia eólica*”, via com Edital 005/2004 PAPPE INOVA MATO GROSSO FAPEMAT/FINEP,

respectivamente Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso e Financiadora de Estudos e Projetos, processo N° 442/2004 em sua Fase I para Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Comercial – EVETEC.

Agradecimentos adicionais às contribuições do grupo de trabalho formado por Adair Jesus Fébba, Oduvaldo Gonçalves e César Augusto Marcelino Matoso, Eng. Mecânico, por meio de informações, dados coletados e troca de idéias que tornaram possível elaborar o presente trabalho, e de outros colaboradores do ambiente acadêmico e industrial.

Referências

- ALÉ, J.A.V. **Energia eólica. Cap. 4: Recurso Eólico.** Rio Grande do Sul, Brasil: NUTEMA/PUC-RGS, 2001. P. 4.1-4.31
- AMARANTE, O. A. C.; BROWER, M; ZACK, J.; DE SÁ, A. L. **Atlas do potencial eólico brasileiro**, Brasília-DF: MME – Ministério das Minas e Energia / ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras, 2001.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Vários.** Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 20 março 2005.
- BURTON, T.; Jerkins, N.; Sharpe, D.; Bossanyi, E. **Wind energy handbook.** 2nd Ed., West Sussex, Inglaterra: John Wiley & Sons, 2011. 780p.
- CARVALHO, P. **Geração eólica.** Imprensa universitária, 2003. 146p.
- CERESER, M. S.; ALÉ, A. V.; SILVA, N. R. S.; ADEGAS, F. D. Análise do potencial eólico do município de Acengua. **In:** An. RIO 3. World climate & Energy Event. Rio de Janeiro, p. 361-366. 2003.
- COSTA, G. B.; LYRA, R. F. F. Análise dos padrões de vento no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.1, p.31-38. 2012.
- CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Eólica no Brasil.** Disponível em: <www.cresesb.cepel.br>. Acesso em: 24 abril 2005.
- DALLACORT, R.; MOREIRA, P. S. P.; INOUE, M. H.; SILVA, D. J.; CARVALHO, I. F.; SANTOS, C. Wind speed and direction characterization in Tangará da Serra, Mato Grosso state, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.3, p.359-364. 2010.
- FARIAS, J. D. A. Anemograma de superfície do aeroporto de Vilhena-RO. Relatório de dados coletados (INFRAERO), Rondônia (município de Vilhena), Brasil. 2004.
- GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; SERAPHIM, O. J.; CANEPPELE, F. L. Caracterização analítica e geométrica da metodologia geral de determinação de distribuições de Weibull para o regime eólico e suas aplicações. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.56-66, jan/fev 2011.
- GOLVEIA, P. P. S. *Estudo da arquitetura de gerador eólico de 50 kW.* Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Aeronáutica) – Instituto Tecnológico da Aeronáutica: ITA. São José dos Campos-SP, 2004. 58p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 março 2015.

RATTO, G.; NICO, A. Preliminary Wind analysis regarding different speed ranges in the city of La Plata, Argentina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.3, p.281-290, 2012.

SAHIN, B.; BILGILI, M.; AKILLI, H. The wind power potential of the eastern Mediterranean region of Turkey. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v.93, p.171-183. 2005.

SILVA, J. K. A.; *Caracterização dos vento e estimativa do potencial eólico da região de tabuleiros costeiros (Pilar, Alagoas)*. 2007, 79p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2007.

SILVA, R. V.; *Estudo da sensibilidade da estimativa de vento no modelo WAsP® relativa à rugosidade superficial*. 2013, 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2013.