



Levantamento e Estudo de Viabilidade da Exploração do Potencial Eólico para Microgeração Distribuída na região de Apucarana

Survey and Feasibility Study on Exploiting Wind Potential for Distributed Microgeneration in the Apucarana Region

Dimitri Jantsch Kist¹, Leonardo Bruno Garcia Campanhol², Vinicius Dário Bacon³

RESUMO

O presente trabalho visa avaliar o potencial eólico para microgeração distribuída na região de Apucarana. A uma altura de 10m, foi levantado o perfil de vento durante 62 dias, para tal foi desenvolvido um anemômetro de copos que captou dados de velocidade e direção do vento. Para armazenamento e visualização dos dados foi utilizada a tecnologia LORA WAN para realizar a comunicação entre anemômetro e servidor, local acessível pela internet, sendo possível visualizar os resultados de medições em tempo real, como o histórico de dados. A análise dos dados é realizada utilizando a distribuição de Weibull que leva à probabilidade de ocorrência de cada velocidade de vento. Com isso, é utilizada a curva de potência de um aerogerador de pequeno porte comercial para calcular o quanto seria gerado em um dado período de tempo, de modo a analisar a viabilidade da aplicação de aerogeradores de pequeno porte para geração distribuída.

PALAVRAS-CHAVE: Anemômetro; Energia sustentável; Eólica; Microgeração Distribuída; Sistemas Embarcados; Viabilidade.

ABSTRACT

This study aims to assess the wind potential for distributed microgeneration in the Apucarana region. At a height of 10 metres, the wind profile was surveyed over 62 days. For this purpose, a cup anemometer was developed to capture wind speed and direction data. To store and visualise the data, LORA WAN technology was used to communicate between the anemometer and the server, which is accessible via the Internet, making it possible to view the results of measurements in real time, as well as the data history. The data is analysed using the Weibull distribution, which gives the probability of each wind speed occurring. With this, the power curve of a commercial small wind turbine is used to calculate how much would be generated in a given period of time, in order to analyse the feasibility of applying small wind turbines for distributed generation.

KEYWORDS: Anemometer; Sustainable energy; Wind; Distributed microgeneration; Embedded systems; Feasibility.

INTRODUÇÃO

Migração para fontes de energia renováveis é indispensável para o desenvolvimento sustentável de uma nação, essa tendência deve crescer cada vez mais, acompanhando os desenvolvimentos tecnológicos da humanidade (Freitas, 2015). A situação da geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis no Brasil é realidade, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2023), o Brasil possui uma matriz elétrica com origem predominantemente renovável (86,1% da oferta interna), com destaque da fonte hídrica (61,9% da oferta interna).

A energia eólica apresenta inúmeros benefícios quando comparada com as outras fontes energéticas, além de ser uma fonte de energia renovável, não emite poluentes para a atmosfera e não produz resíduos no processo de transformação da energia (EIA, 2022).

¹ Voluntário. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: dimitrikist@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 2823527755473103.

² Docente na Coordenação de Engenharia Elétrica -COELT-AP. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: campanhol@utfpr.edu.br. ID Lattes: 8053457373498978.

³ Docente na Coordenação de Engenharia Elétrica -COELT-AP. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: viniciusbacon@utfpr.edu.br. ID Lattes: 0702667817086590.



Em 2022 a energia gerada a partir de fonte eólica de maneira centralizada teve 11,8% de participação na matriz elétrica brasileira, mostrando um crescimento de 1,2% em relação a 2021, (BEN 2023). Isso mostra que a energia advinda dessa fonte é essencial e possui grande potencial de expansão em todo território brasileiro.

A geração de energia eólica distribuída ainda é pouco explorada, mesmo se mostrando cada vez mais favorável, principalmente por apresentar baixo impacto ambiental, aproveitar a estrutura das cidades para gerar energia de forma eficiente, além de possuir um menor custo de expansão (TOLMASQUIM, 2003).

Estudos técnicos e mapas eólicos desenvolvidos pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica, indicam que certas regiões do Brasil possuem grande capacidade de geração de energia elétrica advinda do vento, possuindo comportamentos mais uniformes sem apresentar muitas turbulências e com velocidades que não excedem o limite suportado pelas turbinas. Isto permite que parques eólicos possam ter uma geração consistente e considerável durante todo o ano, no entanto, as nuances de cada região devem ser devidamente analisadas, de modo que se analise a viabilidade e o máximo de aproveitamento da instalação de aerogeradores (SCHULTZ, 2007).

Diante deste contexto, o presente trabalho tem por objetivo investigar o potencial eólico da região de Apucarana, levantando o perfil do vento e estudando a viabilidade da microgeração distribuída se utilizando de uma turbina comercial como base.

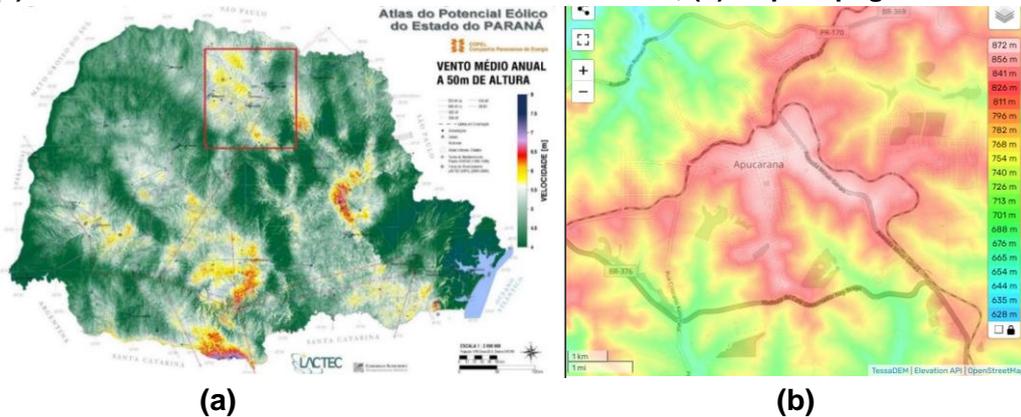
METODOLOGIA

Em 2001 foi criado o Atlas Eólico Brasileiro, estudo que leva em conta aspectos da atmosfera, litosfera e vegetação para levantar o potencial eólico do Brasil. Analisando mais profundamente o Paraná e a região de Apucarana, observa-se na figura 1(a) que essa região está em uma zona de ventos médios de 6m/s a 6,5m/s a uma altura de 50 metros, mostrando um potencial de exploração para aerogeradores de grande porte. Entretanto unidades geradoras capazes de coletar esses ventos necessitam uma distância igual a sua altura livre ao seu entorno e devem ser instalados no terreno com maior altitude. Nesse sentido a zona urbana de Apucarana se localiza no ponto mais alto do relevo da região, conforme observado na figura 1(b). Nesse trabalho, é realizado o estudo e levantamento dos dados de velocidade do vento a 10 metros a fim de se confirmar a viabilidade da geração eólica distribuída a essa altitude e em um ambiente urbano.

Para medir a velocidade e direção do vento utilizam-se anemômetros, dispositivos com diversos tipos e funcionamentos variados. Atualmente o modelo mais acessível é o de copos, o qual possui 3 ou 4 estruturas semelhantes a uma “colher”, fixados em um eixo e posicionados perpendicularmente ao solo, dessa forma coletando dados de velocidade dos ventos horizontais. Para este trabalho, foi projetado, construído e instalado um anemômetro de copos em um dos prédios da UTFPR Apucarana, a fim de se ter o histórico de vento detalhado para a análise de viabilidade.

Como a energia eólica mostra variações estocásticas, ela pode ser expressa por funções de distribuição estatística, entre as técnicas utilizadas, destaca-se a distribuição de Weibull, essa distribuição é importante, especialmente para análise de confiabilidade e manutenção. Tal função com dois parâmetros tem sido amplamente usada em estudos de levantamento de dados referentes à geração eólica, representando a imagem de potencial de energia e viabilidade de instalação de sistemas de turbinas eólicas (SOUZA, A; OLIVEIRA, S. S.; OZOUNUR, D. 2019).

Figura 1 - (a) Velocidade média anual do vento do Paraná a 50m; (b) Mapa topográfico de Apucarana.



Fonte: (SCHULTZ, 2007); <https://pt-br.topographic-map.com>

Para calcular o fator de escala, existem diversos modos, neste trabalho foi utilizado o Método Empírico de Justus (MEJ), por meio da Eq. (1).

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}}\right)^{-1.086} \quad (1)$$

Sendo σ , o desvio padrão, e \bar{v} , a velocidade média do vento em m/s durante o período analisado.

Para calcular o fator de escala, foi utilizado o Método do fator padrão de energia (EPFM), representado na Eq. (2).

$$c = \frac{\bar{v}}{\gamma(1+\frac{1}{k})} \quad (2)$$

sendo γ representado pela Eq. (3),

$$\gamma(z) \approx \left(\frac{z}{e}\right)^z * \sqrt{\frac{2\pi}{z}} * \exp\left(\frac{1}{12z} - \frac{1}{360z^3} + \frac{1}{1265z^5} - \frac{1}{1680z^7} + \frac{1}{1188z^9}\right)$$

Com os fatores conhecidos, encontra-se a função de Weibull pela Equação (4) e a função cumulativa de probabilidade pela Equação (5).

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} * e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (4)$$

$$F(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (5)$$

Para calcular a energia gerada, utiliza-se a Eq. (6), onde “E” é a energia gerada em Wh, “T” o tempo analisado em horas, “F(v)” a função cumulativa de Weibull e “P” a potência da curva de potência do aerogerador.

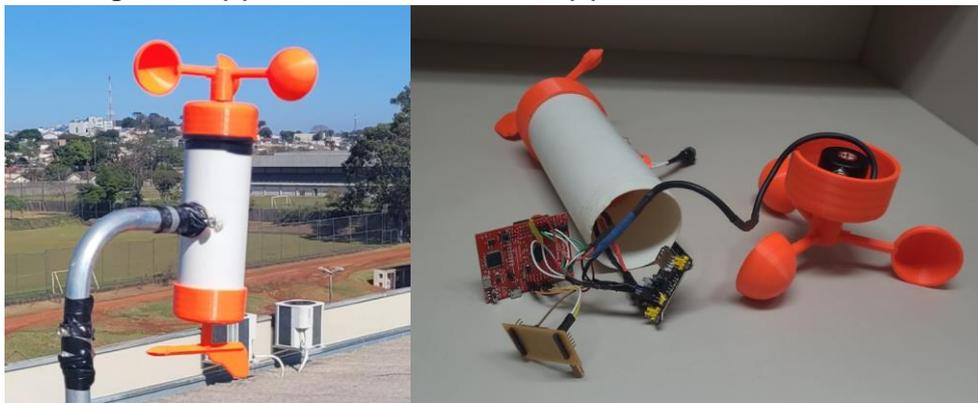
$$E = T \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{[F(v_i) - F(v_{i-1})]}{5} \left(\frac{P_{i-1} + P_i}{2} \right) \right\} \quad (6)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o levantamento dos dados, foi construído um anemômetro do tipo de copos, este protótipo se utilizava de 2 encodes rotativos de 600 pulsos para coletar dados de direção e velocidade do vento. Para tal, um microcontrolador ARM, TM4C123GXL da Texas Instruments foi utilizado, que possui 2 módulos QEI como periféricos, capazes de monitorar os pulsos gerados pelos *encoders* sem esforço de processamento no código principal. Este protótipo também é capaz de se comunicar com um servidor local acessível por LORA WAN, por meio de uma placa comunicadora, a qual é vinculada com o microcontrolador por

UART e comandos AT. O conjunto é alimentado por uma fonte de 12v, que é conectada em um regulador que adequa a tensão de saída para as nominais dos equipamentos. O sistema desenvolvido ainda possuía um conjunto de baterias, para fins de manter a alimentação mesmo em desligamentos repentinos da rede elétrica. Os dados recebidos pelo servidor são postados na plataforma online *ThingsBoard*, a qual permite a visualização web dos dados por meio de gráficos que poderiam ser descarregados utilizando da ferramenta *Swagger.ui*. Os dados são coletados a cada 10 segundos, sendo a cada minuto feita uma média das últimas 6 medições e o envio ao servidor que vincula esse dado à hora e data do recebimento.

Figura 2 – (a) Anemômetro instalado; (b) interior do anemômetro



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria (2023)

O protótipo foi calibrado se utilizando de um anemômetro comercial modelo AR816. Foram feitos 3 ensaios, variando a velocidade de um ventilador e assim encontrando a equação linear entre RPM e velocidade do vento.

Após instalado, foi coletado dados referentes aos meses de julho e agosto, sendo calculadas as médias e desvio padrão dos dados referentes a cada mês, com isso calculados os parâmetros de forma e escala por meio das e Eq. (1) e Eq. (2) dispostos no Quadro 1.

Quadro 1 – Média, Desvio padrão, Fator de forma e escala

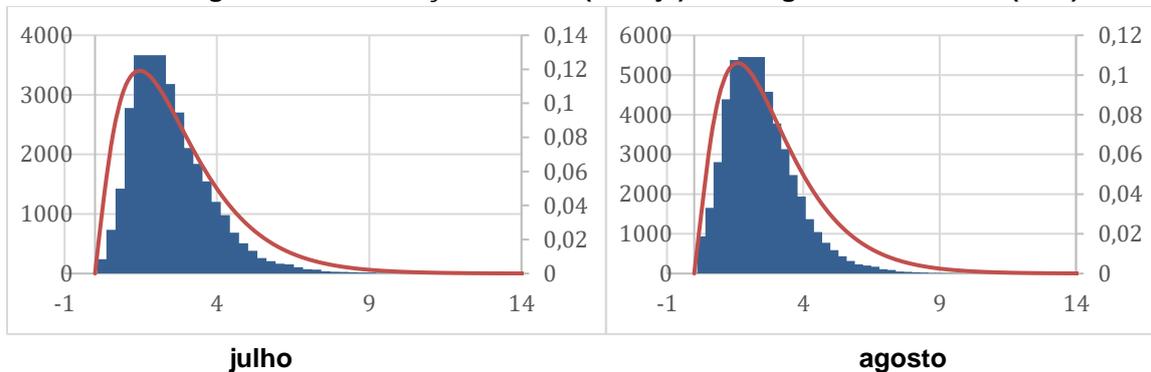
	Média	Desvio Padrão	K	c
Julho	2,38	1,151	2,200	2,687
Agosto	2,46	1,169	2,242	2,777

Fonte: Autoria própria (2023)

Para a análise de viabilidade, foi escolhido o aerogerador de pequeno porte HERA da empresa TESUP, ideal para baixas velocidades e instalação em ambientes urbanos. Após calculados os parâmetros da *Weibull*, foi calculada a potência gerada pelo Quadro 2, se utilizando das Eq. (5) e Eq. (6), sendo a coluna Velocidade a velocidade do vento de 0 a 14,4 discretizada com um passo de 0,2. A coluna Potência, referente a potência gerada referente a velocidade do vento e a curva de potência do aerogerador escolhido e as colunas Probabilidade e Gerado, referentes a probabilidade cumulativa de *Weibull* e a potência gerada para tal velocidade.



Figura 3 – Distribuição Weibull (laranja) e histograma dos dados (azul)



Fonte: autoria própria (2023)

Quadro 2- Cálculos de potência gerada

Velocidade	Potência	JULHO		AGOSTO	
		Probabilidade	Gerado	Probabilidade	Gerado
0	0	0	0	0	0
0,2	0	0,00328169	0	0,0022957	0
0,4	0	0,01498999	0	0,0111926	0
		...			
3,4	58,4	0,8125356	2,235885301	0,781102	2,446230828
3,6	72,6	0,85020678	2,467462476	0,8230333	2,746499448
3,8	86,8	0,88214512	2,545485792	0,8591789	2,880806384
4	101	0,90871237	2,49466385	0,8897292	2,868667635
		...			
13,8	6153	1	2,04936E-12	1	6,8312E-13
14	6153	1	6,8312E-13	1	0
14,2	6153	1	0	1	0
14,4	6153	1	0	1	0

Fonte: Autoria própria (2023)

Após isso foram somados os valores da coluna “Gerado”, e multiplicados por 742, referentes os 31 dias em horas que cada mês possui, com isso, chegou-se no resultado de 30,42 kWh gerados em julho e 35,37 kWh gerados no mês de agosto. Supondo que quando instalados seriam ligados de uma forma que injetariam a potência gerada na rede para acumular créditos de desconto na fatura, ter-se-ia um desconto de R\$ 21,30 em julho e R\$ 24,76 em agosto, considerando um desconto de R\$ 0,336576 no TUSD e 0,365027 no kW por kWh injetados na rede, totalizando um desconto de R\$ 46,06 nesses 2 meses.

Esse resultado é promissor para a região, mostrando que a geração nesses 2 meses traria um desconto considerável na fatura. A fim de se fazer uma análise de *payback*, seriam necessários os dados anuais de vento da região de modo a considerar o comportamento sazonal do vento nas quatro estações, o que é característico de cada região do país.

CONCLUSÃO

Este trabalho analisou o potencial eólico da região de Apucarana, primeiramente localizando um possível foco de geração eólica por meio de mapas e estudos, posteriormente por meio da construção de um anemômetro, capaz de coletar dados minuto



a minuto da velocidade e direção do vento e após essa coleta foi analisado e calculada a potência gerada por um aerogerador comercial.

Conclui-se que não é possível realizar um cálculo de *payback* apenas com dados de 2 meses, por causa da inconsistência de ventos advindos da sazonalidade do clima. Este estudo apresenta a metodologia adequada a ser aplicada para tal cálculo, mas mostra-se necessária à coleta de dados referentes ao período de um ano.

Mesmo sem uma definição sobre o *payback*, os resultados obtidos já mostram que para casos específicos, como sistemas off grid, bem como sistemas complementares a geração fotovoltaica, a geração eólica se mostra relevante, pois produz energia durante todo o dia e tem um equilíbrio com a solar em dias de chuvas, que geralmente aumentam as velocidades médias dos ventos e inibem a geração solar.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador Vinicius, ao meu coorientador Leonardo, ao professor Fernando Barreto por disponibilizar acesso ao servidor Lora Wan referente a um projeto de extensão sob sua coordenação e a UTFPR pela disponibilidade da infraestrutura de laboratórios.

Disponibilidade de código

O código desenvolvido para o projeto está disponibilizado no relatório final.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

SOUZA, A; OLIVEIRA, S. S.; OZOUNUR, D. Análise da estimativa dos parâmetros da distribuição de Weibull para velocidade do vento em Campo Grande-MS. Journal of Environmental Analysis and Progress. Julho de 2019. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/2468/482483064> acesso em 29 de agosto de 2023.

SCHULTZ, Dario Jackson et al. Atlas do Potencial Eólico do Estado do Paraná. 2007.

TOLMASQUIM, M. T. (Organizador). Fontes Renováveis de Energia no Brasil. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2003. 515p.

EIA (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION). Wind Energy and the Environment. Disponível em:

https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=wind_environment Acesso 16 de julho. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2023: Ano base 2022 / Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-681/BEN_Síntese_2023_PT.pdf Acesso em 15 de julho. 2023.

FREITAS, J.C.; SANTOS, J.A.; CÂNDIDO, S.M.; RAMOS, D.P. Energias Renováveis, Clima e Mudanças Climáticas Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, v. 4, n. especial, p. 317-329, 2015.