



UTILIZAÇÃO DE GERADORES EÓLICOS EM ESTRADAS

Arielly Árian Pimenta Diniz^{*1}, Gabriel Henrique Fonseca², Renan Souza Moura³, Alexandro Augusto de Oliveira⁴, Danielle Cristina Teles Ferreira⁵

^{1,2,3}IFMG, Campus Formiga – Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Formiga

^{4,5}IFMG, Campus Ouro Preto – Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Ouro Preto

Resumo – Este artigo demonstra a utilização de um gerador eólico de baixo custo em estradas. De forma mais específica, após a aquisição deste equipamento e observar que não foi possível gerar eletricidade com a movimentação de ventos oriunda da passagem de veículos, um melhoramento foi implementado ao se criar novas hélices utilizando uma impressora 3D. Como resultados, gráficos de potência instantânea em função do tempo são apresentados e as suas correspondentes energias geradas.

Palavras-Chave – Energias renováveis; Geração eólica; Estradas; Potencial de geração.

THE USE OF WIND GENERATORS ON ROADS

Abstract - This article demonstrates the use of a low-cost wind generator on roads. More specifically, after acquiring this equipment and observing that it was not possible to generate electricity with the movement of winds from the passage of vehicles, an improvement was implemented by creating new propellers using a 3D printer. As a result, graphs of instantaneous power as a function of time are presented and the corresponding energy generated.

Keywords – Renewable Energies; Wind power generation; Roads; Generation potential.

I. INTRODUÇÃO

De acordo com estudos que versam sobre a energia verde, o vento pode ser uma fonte de energia renovável natural quando há mudanças nas condições do clima atmosférico. Destaca-se aqui os períodos de grande mobilidade de massas de ar. Além do mais, a energia eólica pode ser gerada pela passagem de veículos que cruzam estradas ou rodovias. Logo, se o fluxo de ar induzido for aproveitado para geração de energia elétrica, ele pode ser usado para a iluminação de rodovias e outras tarefas. [1]

Ao longo dos anos, na literatura, alguns trabalhos têm utilizado uma metodologia a partir de simulações do tipo *Computational Fluid Dynamics* (CFD) que converte equações

governantes em equações algébricas, além de ser capaz de oferecer boa aproximação de campos de fluxo realistas e padrões de turbulência [2, 3]. Dentre eles, há estudos conduzidos através de análises qualitativas-quantitativas, adotando-se as equações diferenciais de *Reynolds Averaged Navier-Stokes* (RANS) que descrevem o escoamento de fluidos. [1-2, 4]

Para que fosse obtida energia eólica através do deslocamento de massas de ar provocados pelo tráfego dos veículos, alguns autores trabalharam com geradores cuja montagem de turbinas eólicas era de eixo horizontal (HAWT). Em 2011, Menaka & Rao [5] utilizaram turbinas do tipo HAWT em veículos que trafegavam por ferrovias e perceberam que, com o deslocamento das massas de ar e, conseqüentemente, com a rotação das turbinas, haveria produção de eletricidade. Além do mais, em 2012, Musa et al. [1] consideraram as turbinas HAWT, o efeito do espaçamento e das diferenças de velocidades dos veículos, assim como a energia cinética associada à turbulência gerada por eles. Em 2016, Hegde et al. [6] também optaram pelo uso das HAWT para gerar energia eólica induzida pelo movimento de carros e ônibus em rodovias, com modelo de turbulência que levava em conta fluxos subsônicos e turbulências não muito altas.

Além disso, por outro lado, outros autores trabalharam com geradores cuja montagem de turbinas eólicas era de eixo vertical (VAWT). Em 2017, Tian et al. [4] realizaram simulações computacionais tridimensionais de dinâmica dos fluidos, para avaliar o desempenho das VAWT, além de considerar o caso de veículos trafegando em direções opostas; e analisar os coeficientes de arraste, levante e torque. Em 2018, Bavchakar et al. [7] desenvolveram um estudo em relação ao uso de um modelo híbrido, dado pela integração das VAWT e painéis solares fotovoltaicos (PV), para a geração de energia em rodoviárias e aplicações domésticas. Em 2018, Nurmanova et al. [8] propuseram um sistema de colheita de energia eólica, instalado no telhado de trens em movimento, para obtenção de energia eólica. Os desafios mecânicos causados pela instalação das VAWT no topo do trem foram analisados matematicamente e por meio do MATLAB Simulink. Também em 2018, Bani-Hani et al. [9] desenvolveram um estudo experimental em relação ao uso das VAWT colocadas nas laterais de rodovias, em várias alturas, para a obtenção de energia elétrica.

*ariellydiniz1608@gmail.com

Motivado pelos trabalhos citados nos parágrafos anteriores, este artigo demonstra a utilização real de um gerador eólico de baixo custo em estradas na cidade de Formiga, Minas Gerais. Todos os testes foram acompanhados de medições coletadas por meio de uma plataforma de prototipagem eletrônica Arduino.

Este artigo é dividido da seguinte forma. Após uma introdução do tema, a Seção 2 é responsável por apresentar os conceitos básicos para um melhor entendimento da metodologia indicada na Seção 3. Resultados dos testes práticos estão organizados em subseções na Seção 4. Por fim, tem-se as considerações finais na Seção 5 e as referências bibliográficas utilizadas.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Geração de energia elétrica eólica

A geração de energia elétrica eólica é obtida quando a energia cinética dos ventos, que é dada em função do deslocamento das massas de ar atmosférico com a radiação solar, é utilizada como fonte primária para gerar eletricidade.

É possível calcular a energia cinética eólica e a potência eólica por meio das equações 1 e 2, respectivamente [10].

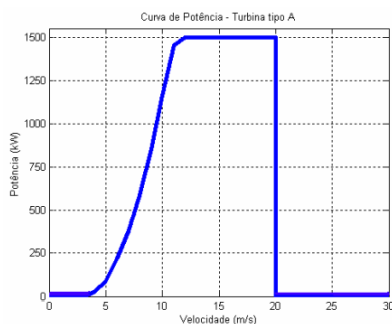
$$Ec = \frac{1}{2}mV^2 \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{2}\rho AV^3 \quad (2)$$

Em que ρ é a massa específica, A é a área das pás da turbina e V a velocidade do vento.

Todo gerador eólico tem uma curva com os valores mínimos e máximos de velocidades do vento úteis de geração, conforme ilustrado pela Figura 1 [11].

Figura 1: Curva de Geração. Fonte: [11]



B. Utilização de Arduino para medir os valores gerados

Para obter uma maior precisão nas medidas, o Arduino Uno foi utilizado para a leitura de tensão e cálculo de potência. A Figura 2 ilustra o circuito utilizado para realizar as medições.

O código responsável pelo funcionamento do circuito se baseia em leituras periódicas dos valores analógicos na porta "A0". Tais valores são convertidos para unidades digitais o que permite, com o valor de resistência selecionado no

potenciômetro, calcular valores de potências instantâneas e plotar os dados através do Monitor Serial.

A Figura 3 indica o código utilizado durante as medições com o Arduino.

Figura 2: Diagrama do Circuito Medidor.

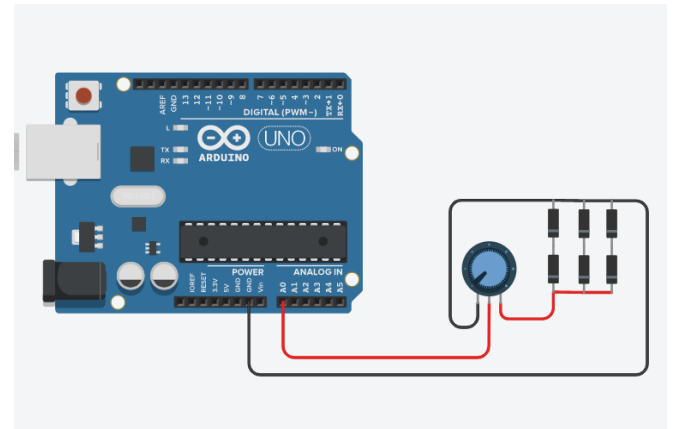


Figura 3: Código para Medição com Arduino.

```
float leitura;
float tensao;
float potencia;
float resistencia;
float conversao=1023.00;
float tmax=5.00;
void setup() {
    pinMode(A0, INPUT); //colocar a porta A0 como entrada
    Serial.begin(9600); //inicia o serial
}
void loop() {
    leitura=analogRead(A0); //lê a entrada A0
    tensao=(tmax/conversao)*leitura; //Calcula a tensão
    potencia=(tensao)*(tensao)/resistencia; //Calcula a potência
    Serial.println(potencia); //Informa potência no monitor serial
    delay(200); //Espera 200 millisegundos (intervalo entre as medições)
}
```

III. METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi baseada nos seguintes passos:

1. Estudo teórico do tema.
2. Aquisição e montagem do gerador eólico.
3. Melhoramento do gerador eólico.
4. Testes práticos do gerador eólico.
5. Obtenção de curvas de potência instantânea em função do tempo e as correspondentes energias geradas.

Em relação aos testes práticos, foram utilizadas duas versões do mesmo gerador, sendo uma delas com alterações realizadas a fim de aumentar a sua sensibilidade com relação à sua movimentação.

A. Gerador eólico vertical original

A versão original do gerador, Figura 4, possui as seguintes especificações:

- Altura total: 420 mm.
- Comprimento da lâmina: 250 mm.
- Diâmetro da base: 90 mm.
- Diâmetro de rotação: 220 mm.
- Potência nominal: 20 W.
- Tensão: 1-20 V.
- Peso do produto: cerca de 690 g.
- Retificador de onda completa com diodos
- Carga resistiva de aproximadamente 304.7Ω
- Sistema de medição de potência com Arduino.

É importante ressaltar que é um gerador de baixo custo, importado da China.

Figura 4: Gerador Original.



B. Gerador eólico vertical modificado

A modificação feita consiste basicamente em instalar peças de acrílico com intuito de aumentar o diâmetro de rotação em 10 cm. As peças pretas de acrílico que foram instaladas estão visíveis na figura 5.

Figura 5: Gerador Modificado.



C. Realização dos testes com a instalação dos geradores em vias públicas

Os testes foram conduzidos em três etapas. Na primeira etapa o gerador original foi instalado em um canteiro central, que divide duas vias de mão única cujo sentido de uma é oposto a outra, onde a velocidade máxima permitida nesta via é de 40 km/h. Na segunda etapa, o gerador modificado foi colocado novamente na mesma via. Na terceira etapa o gerador modificado foi colocado em outra via cuja velocidade dos carros é consideravelmente maior, podendo ultrapassar 80 km/h.

Durante os testes, o principal objetivo era observar o movimento do gerador livre, ou seja, com ausência de carga em seus terminais de saída. Sendo assim, apenas o sistema de medição com Arduino é conectado para medir as potências geradas.

IV. RESULTADOS

A. Testes com o gerador eólico instalado em vias públicas

1) Resultados da primeira etapa de testes

Nesta etapa, o gerador apresentou instabilidade e dificuldade para iniciar a rotação, pois existiram ventos em várias direções simultaneamente. O gerador não girou, apenas tremeu.

Este teste foi importante para ressaltar a necessidade de aprimorar o gerador, pois o mesmo não possuía a mínima capacidade de gerar tensão.

2) Resultados da segunda etapa de testes

Nesta etapa, foi utilizado o gerador modificado. O aumento da distância entre as hélices e o eixo central diminuiu a inércia para iniciar a rotação em testes controlados executados dentro do laboratório. Infelizmente, quando o equipamento foi instalado na mesma via pública do primeiro teste, o gerador não apresentou trepidação e iniciava-se a sua rotação bem lentamente ao ponto de não gerar tensão.

A equipe percebeu que deve existir uma velocidade mínima do vento para iniciar a geração de energia. Tal fato incentivou a realização do terceiro teste, descrito a seguir.

3) Resultados da terceira etapa de testes

Na terceira etapa os resultados foram mais satisfatórios. O gerador modificado, instalado agora em uma via de maior velocidade, conseguiu sair do repouso e gerar tensões elétricas após as passagens de veículos maiores (caminhão ou ônibus). A figura 6 ilustra o momento de registro de uma geração obtida neste terceiro teste.

Foram realizadas três medições, cujos os gráficos de potência instantânea em função do tempo obtidas pelo gerador eólico são apresentados nas Figuras 7, 8 e 9. Os valores das energias para cada medição estão indicados na Tabela 1.

Figura 6: Registro de tensão gerada durante o terceiro teste em vias públicas.



Figura 7: Tensão instantânea em função do tempo obtida pelo gerador eólico-medição 1.

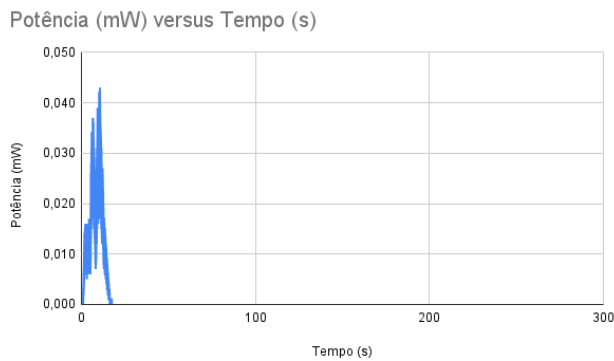


Figura 8: Potência instantânea em função do tempo obtida pelo gerador eólico-medição 2.

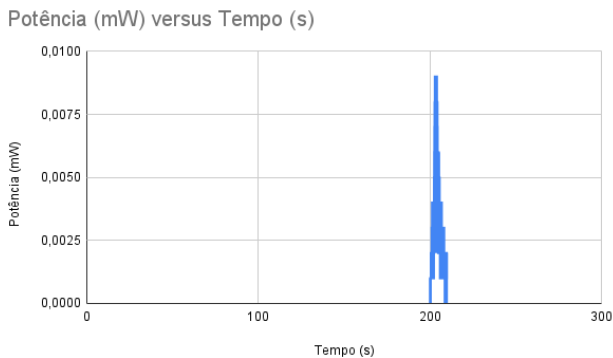


Figura 9: Potência instantânea em função do tempo obtida pelo gerador eólico-medição 3.

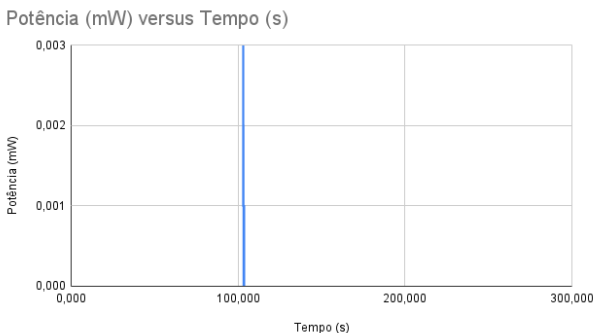


Tabela 1-Energias obtidas nos testes com o gerador eólico

Teste	Energia [mJ]
Número 1	0,25
Número 2	0,029
Número 3	0,0006

Observando os valores muito pequenos de energia obtidos na Tabela 1, é possível concluir que é praticamente impossível utilizar um gerador eólico de baixo custo em estradas para suprir menores demandas energéticas como, por exemplo, iluminação noturna.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora os testes não tenham sido satisfatórios, pois as energias obtidas foram irrisórias, os autores deste artigo pretendem continuar os estudos sobre a possibilidade de gerar eletricidade através da movimentação de veículos em estradas.

As falhas, descritas no primeiro e segundo teste, serviram para que aprimoramentos fossem realizados de forma a se obter algum valor energético no terceiro teste. Os pequenos valores de energia indicados na Tabela 1 motivaram a compra de um novo gerador eólico, de mais potência e precisão, e um anemômetro a serem testados no ano de 2023.

É uma pesquisa em fase inicial que ainda pretende avaliar se existe alguma viabilidade prática do uso deste tipo de tecnologia em estradas com muita movimentação de veículos. Talvez a energia eólica possa ser um complemento a energia fotovoltaica com a utilização dos inversores híbridos.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M.N. Musa, K. Osman, A.M.A Hamat et al, "Renewable Energy from Induced Airflow Generated by Cruising Ground Vehicles in Tandem using RANS", *Energy Procedia*, pp. 1877-1882, 2012.
- [2] E. Solazzo, X. Cai, S. Vardoulakis, "Modelling Wind Flow and Vehicle-induced Turbulence in Urban Streets", *Atmospheric Environment*, vol. 42, pp. 4918-4931, 2008.
- [3] A. Vdovin, S. Sebben, T. Walker, and L. Lofdahl, "Investigation of vehicle ride height and wheel position influence on the aerodynamic forces of ground vehicles", *International Conference Vehicle Aerodynamics Conference*, 2014.
- [4] W. Tian, Z. Mao, X. An et al, "Numerical Study of Energy Recovery from the Wakes of Moving Vehicles on Highways by Using a Vertical Axis Wind Turbine", *Energy*, vol. 141, pp. 715-728, 2017.
- [5] S. Menaka, A.A. Rao, "Production of electricity using the wind turbine mounted on a moving vehicle", *Annual IEEE India Conference*, pp. 1-3, 2011.
- [6] S.S. Hegde et al, "Highway Mounted Horizontal Axial Flow Turbines For Wind Energy Harvesting From Cruising Vehicles", *ASME2016 International*

Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE2016. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, 2016.

- [7] A. Bavchakar, P.K.N Chougale, S.S. Belanekar et al, “A Hybrid Model of Vertical Axis Wind Turbine-Solar Power Generation for Highway and Domestic Application”, *International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, pp. 135-139, 2018.
- [8] V. Nurmanova, M. Bagheri, T. Phung et al, “Feasibility study on wind energy harvesting system implementation in moving trains”, *Electr Eng 100*, pp. 1837-1845, 2018.
- [9] E.H. Bani-Hani, A. Sedaghat, M. AL-Shemmary, A.A. Hussain, A. Alshaieb, and H. Kakoli, “Feasibility of Highway Energy Harvesting Using a Vertical Axis Wind Turbine”, *Energy Engineering*, vol. 115, pp. 61-74, 2018.
- [10] Ferreira, D. C. T.; Moura, R. S.; Vilano, M. A. C.; Lima, V. P. D., “Proposta pedagógica para ensinar o tema geração de energia eólica utilizando a movimentação de veículos em estradas”, *A Física na Escola*, v. 20, n. 1, 2022.
- [11] Leite, A. P. A.; Borges, C. L. T.; Falcão, D. M., “Modelagem de Usinas Eólicas para Estudo de Confiabilidade”, *Revista Controle & Automação*, vol. 17, no.2. Abril, Maio e Junho 2006.