

MICRO AEROGERADOR PARA CARREGAR BATERIAS DE PEQUENOS DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS: DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO

Daniel Augusto Hoppe (UNISC) danielhoppe@unisc.br
Gustavo Luiz Hoppe (UNISC) gutohoppe@gmail.com
André Luiz Emmel Silva (UNISC) andresilva@unisc.br
Leonardo Moraes Aguiar Lima dos Santos (UNISC) leomals@hotmail.com

Resumo: A geração e distribuição de energia elétrica de forma sustentável (mínimos impactos ambientais), a segurança energética (dependência de fontes de energia importadas), as questões econômicas e o atendimento de populações que ainda não tem acesso à eletricidade são problemas recorrentemente estudados e enfrentados por todos os países do mundo. Utilizar a tecnologia de micro geração elétrica pode ser uma solução para a integração e abastecimento de equipamentos eletrônicos em zonas rurais ou para localidades pobres e afastadas dos centros de distribuição. Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver um protótipo de um micro aerogerador, capaz de gerar energia elétrica para carregar baterias de pequenos dispositivos eletrônicos. Fez-se uso de pesquisas teóricas, com a obtenção de dados de forma qualitativa, utilizando técnicas de pesquisa bibliográfica. O protótipo construído se mostrou capaz de gerar a potência necessária para o carregamento de bateria de pequenos equipamentos eletrônicos, porém seu bom funcionamento necessitou altas velocidades de vento.

Palavras-chave: Energia eólica. Micro aerogerador. Turbina eólica. Protótipo.

MICRO WIND TURBINE TO CHARGE BATTERIES OF SMALL ELECTRONIC DEVICES: DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE

Abstract: The generation and distribution of electricity in a sustainable way (minimum environmental impact), energy security (dependence on imported energy sources), economic issues and the care of people who have no access to electricity are problems that are repeatedly been studied and faced by all countries in the world. The use of electrical microgeneration technology can be a solution for the integration and supply of electronic equipment in rural areas or for poor and remote locations. The aim of this paper was to develop a prototype of a micro wind turbine that will generate electricity for charging batteries of small electronic devices. Theoretical studies were done to obtain data in a qualitative way, using techniques of literature search. The built prototype was able to generate the power necessary for charging battery of small electronic devices, but its proper operation required high wind speeds.

Keywords: Wind energy, Micro aerogenerator. Wind turbine. Prototype.

1. INTRODUÇÃO

Um maior desenvolvimento de fontes de energia renováveis e a redução do consumo de combustíveis fósseis são elementos importantes na estratégia para reduzir a mudança climática (BAKKEN et al, 2014). Tem-se tornado constante a procura por fontes de energia alternativa, limpas, sem geração de resíduos e com recursos inesgotáveis como, por exemplo, a energia eólica e a energia solar (PINHELLI et al, 2012). Durante a última década, o número de fontes de energia renováveis aumentou drasticamente e a previsão é de que o crescimento da geração de energia verde continue a aumentar (GELAŽANSKAS et al, 2016). Dentre essas, um interesse crescente está na geração de energia eólica (KALDELLIS e ZAFIRAKIS, 2011; CANNON et al, 2015; FANT, GUNTURU e SCHLOSSER, 2016), considerada uma das fontes de energia mais limpas (YU e LIAO, 2015).

A sustentabilidade no suprimento da energia é um grande desafio que a sociedade vem enfrentando. Aliado a isso, outro desafio de mesma grandeza é o atendimento da população sem acesso a energia elétrica. Uma grande parte da população ainda vive sem acesso a energia elétrica. No mundo essa parcela corresponde a cerca de 2 bilhões de pessoas. No Brasil este número é quase 25 milhões de habitantes, aproximadamente 15% da população e no Rio

Grande do Sul cerca de 120 mil propriedades rurais não tem acesso à rede elétrica (FARRET, 1999; SILVA et al., 2003).

A geração eólica em pequena escala é uma tecnologia menos desenvolvida quando comparada com a eólica de grande potência (INIECO, 2011). Mesmo sendo um tipo recente de geração de energia, Farret (1999) acredita que a utilização de micro central energética pode ser uma alternativa para levar a energia elétrica a locais isolados e que necessitam este tipo de energia. Utilizar a tecnologia de micro geração elétrica pode ser uma solução para a integração e abastecimento de equipamentos eletrônicos em zonas rurais ou para localidades pobres e afastadas dos centros de distribuição. Também será possível abastecer locais onde não houver outra opção e as cargas solicitadas forem pequenas. A utilização desta forma de geração de energia aliada com meios de comunicação pode ser utilizada para melhorar a qualidade de vida de populações isoladas (FARRET, 1999).

Sendo assim, o presente estudo tem por objetivo desenvolver um protótipo de um micro aerogerador, capaz de gerar energia elétrica para carregar baterias de pequenos dispositivos eletrônicos

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Descreva nesta seção os materiais utilizados nos procedimentos experimentais. Detalhe como foram realizados os experimentos. Lembre-se: o trabalho deve estar bem escrito, suficientemente de forma que os experimentos possam ser reproduzidos por outros pesquisadores Vianna (2001) afirma que não existe apenas um tipo de pesquisa, a mesma pode ser classificada levando em consideração diversos fatores. A pesquisa deve ser definida de forma que o trabalho consiga atingir seus resultados com eficácia e qualidade. Dessa forma, a pesquisa classifica-se como aplicada, onde os resultados obtidos são utilizados para a solução de problemas (CERVO, BERVIAN e SILVA, 2007); de natureza qualitativa pois analisou-se cada situação a partir de dados descritivos, juntamente com a busca de relações entre estes dados para a compreensão da realidade estudada (VIANNA, 2001); e explicativa, uma vez que visa identificar os fatores responsáveis para a ocorrência dos fenômenos estudados (VIANNA, 2001).

Assim sendo, foram utilizadas as técnicas de uma pesquisa bibliográfica. Esta procura explicar fenômenos a partir da utilização de referências publicadas, principalmente em artigos, livros, dissertações e teses. Seguindo esses parâmetros de pesquisa, as etapas estabelecidas para alcançar os objetivos foram: (i) Definir variáveis; (ii) Realizar cálculos gerais da turbina; (iii) Realizar cálculos gerais da turbina; (iv) Buscar dados aerodinâmicos de perfil; (v) Realizar cálculos específicos das pás; (vi) Utilizar software Wt_Perf para previsão de desempenho do rotor; (vii) Comparar e definir perfil aerodinâmico; (viii) Desenhar protótipo no software SolidWorks; (ix) Prototipar pás aerodinâmicas em impressora 3D; (x) Definir gerador; (xi) Montar protótipo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Energia eólica

A utilização da energia dos ventos para beneficiar o ser humano não é recente. Especula-se que moinhos de vento vêm sendo utilizados na moagem de grãos e bombeamento de água por pelo menos 3.000 anos. Na navegação, essa energia vem sendo utilizada ainda há mais tempo. Os egípcios, por exemplo, já navegavam com velas desde o ano de 4.500 A.C. (BURTON et al., 2001; TALAYERO e MARTÍNEZ, 2008; FADIGAS, 2011). No entanto, seu

comportamento estocástico torna uma fonte intermitente, sendo difícil de prever sua capacidade de geração (GIRALDO-CHAVARRIAGA et al., 2014).

Para países de grandes dimensões territoriais, tais como Estados Unidos e Rússia, que estavam empenhados em desbravar seus territórios, o uso de aerogeradores foi uma ótima alternativa para a alimentação de construções rurais isoladas. Uma década antes da implantação do programa de eletrificação rural, os Estados Unidos realizaram muitos esforços em projetos com propósitos de levar energia a locais não beneficiados. Um desses projetos foi o aerogerador Jacobs, que possuía três pás de madeira, diâmetro de 4 metros, e potência entre 1,8 e 3 kW. Jacobs foi muito usado entre 1920 e 1960, quando o Ato de Eletrificação Rural Americano conseguiu suprir a área agrícola com energia elétrica de menor custo (FADIGAS, 2011).

O comércio de turbinas eólicas vem se desenvolvendo no mundo inteiro. As turbinas modernas são mais confiáveis, custam menos e produzem menos ruídos. Apesar do nível tecnológico alcançado, as turbinas ainda não atingiram as capacidades máximas estimadas de captação da energia do vento. Salvo as pás de materiais compostos e as turbinas controladas por microprocessadores, os aerogeradores do século XXI não incorporam novidades substanciais, aerodinâmicas ou de projeto, comparando-os com os que eram construídos na década de 1960 (TALAYERO e MARTÍNEZ, 2008; FADIGAS, 2011).

A mini eólica é uma tecnologia menos desenvolvida quando comparada com os avanços tecnológicos em que se encontram as máquinas eólicas de grande porte. Mesmo com a similaridade entre esses tipos de tecnologias cada uma apresenta características próprias e necessitam de tratamento específico, tanto do ponto de vista de regulação, como técnico, econômico ou social (INIECO, 2011). Um mercado com possibilidade de expansão para esta tecnologia está na área urbana. Com a implantação de aerogeradores de pequeno porte é possível aumentar a eficiência energética de uma cidade.

3.2 Transformação de energia eólica em energia elétrica

Para transformar energia eólica em elétrica é preciso utilizar aerogeradores, que são capazes de captar a energia cinética que o vento transporta, transformando-a em elétrica. As máquinas de maior avanço tecnológico apresentam três pás, alongadas, com perfil aerodinâmico e situadas no alto de uma torre, visto que a velocidade do vento aumenta com a altura (MÉNDEZ, 2013). O giro das pás movimenta o gerador, convertendo energia eólica em energia cinética (YU e LIAO, 2015).

A quantidade de energia, mecânica ou elétrica, que um aerogerador pode fornecer depende muito das características do vento no local de instalação. Por esta razão é necessário um estudo técnico detalhado das características do vento em uma localidade específica antes de avançar em um projeto de qualquer magnitude (MÉNDEZ, 2013). As previsões de energia eólica têm as maiores incertezas, principalmente devido à variabilidade temporal e espacial e a previsibilidade do campo de vento (GONZÁLEZ e ZUCKER, 2015).

Um aerogerador obtém sua potência de entrada convertendo a força cinética do vento em torque. A quantidade de energia transferida do vento para o rotor depende da massa específica do ar, da área do rotor (diâmetro das pás) e da velocidade do vento (MÉNDEZ, 2013).

A velocidade do vento é um parâmetro crítico, visto que a potência é diretamente proporcional à velocidade do vento elevada ao cubo. Além disso, a velocidade varia com a altitude sobre o solo, pela fricção causada por montanhas, árvores, edifícios e outros objetos. Pequenas turbinas necessitam de um vento com velocidade aproximada de 3,5 m/s para

começar a gerar energia elétrica. Turbinas grandes necessitam velocidades entre 3 e 6 m/s para iniciar o mesmo processo (MÉNDEZ, 2013). A produção de energia eólica depende completamente da velocidade do vento (AZOFRA et al., 2014) e devido à variabilidade do vento perto da superfície da terra, sua geração é intermitente durante as horas do dia (FANT, GUNTURU e SCHLOSSER, 2016).

3.3 Aeroeradores

Um aerogerador, ou turbina eólica, é um dispositivo capaz de transformar a energia cinética contida no vento de forma eficiente em energia mecânica ou elétrica. As aplicações mais habituais para este tipo de equipamento é o bombeamento de água e a geração de energia elétrica (TALAYERO e MARTÍNEZ, 2008; RUÍZ, 2009).

Os aerogeradores são máquinas que apresentam, em teoria, um funcionamento mecânico e elétrico simples. Quando comparadas máquinas capazes de gerar Megawatts de potência com micro aerogeradores, é perceptível que existem conceitos básicos mecânicos, aerodinâmicos e elétricos que permanecem iguais, sempre respeitando suas complexidades particulares (LÓPEZ, 2008; TALAYERO e MARTÍNEZ, 2008).

Para que uma turbina eólica consiga gerar eletricidade, esta necessita que a energia dos ventos mova suas pás. Através de um sistema mecânico de engrenagens, esta força gira o rotor de um gerador. Utiliza-se normalmente um alternador, que converte a energia mecânica rotacional em energia elétrica (GINER, 2013).

Os principais conjuntos mecânicos que fazem parte de um aerogerador são: pás, rotor, eixo principal, conjunto multiplicador, gerador, sistema de orientação, carcaça e torre (TALAYERO e MARTÍNEZ, 2008). Mesmo apresentando diversas formas e modelos, possuem entre si uma similaridade quanto aos componentes que os constituem. Os blocos principais que apresentam as máquinas de eixo horizontal são: o rotor, a nacelle e a torre. Cada uma destas partes pode incluir um ou mais elementos (TIBOLA, 2009; MÉNDEZ, 2013).

4. DESENVOLVIMENTO

Com base na revisão teórica foi possível realizar a definição do tipo de máquina aerogeradora a ser projetada, sendo esta: de eixo horizontal, com três pás no rotor, com rotor a barlavento, de passo constante e orientação ao vento com auxílio de uma calda.

4.1 Variáveis de projeto

Um dos principais parâmetros de projeto que se buscou foi o diâmetro do rotor do aerogerador. Observou-se que este é dado em função da potência absorvida do vento, massa específica do vento no local de instalação, da velocidade do vento, da soma dos coeficientes de rendimentos mecânicos e aerodinâmicos.

A massa específica do ar utilizada em cálculos foi de $1,225 \text{ Kg/m}^3$, e a velocidade do vento de 8 m/s, ambas consultada no mapa cartográfico do Rio Grande do Sul. O rendimento aerodinâmico (C_p) e o rendimento mecânico (η) adotados foram, respectivamente 0,45 e 0,93. Já a potência nominal foi de 8W. Com esses dados chegou-se a um diâmetro de 0,28m para o rotor do aerogerador.

A relação de ponta de pá (λ), conforme literatura deve ser entre 3 e 8. Este projeto adotou (λ) igual a 3.

Conhecendo o diâmetro e velocidade nominal de incidência do vento, calculou-se a

velocidade de rotação da máquina (n), 1637 rpm, e a velocidade de rotação angular (ω), igual a 171,43 rad/s.

Em seguida, o detalhamento da pá foi realizado. Para realizar o desenho da pá é necessário saber o perfil aerodinâmico, a corda e o ângulo de passo.

4.2 Perfil aerodinâmico a ser utilizado na construção da pá

A escolha de um perfil é um ponto crítico de projeto. Neste projeto foi realizada a escolha através de uma comparação entre dois perfis (NACA 0012 e NACA 4415). Optou-se pela utilização destes dois perfis devido ao fato destes serem os que mais foram mencionados no material bibliográfico pesquisado. Além disso, os perfis têm formas geométricas distintas, sendo o primeiro simétrico em relação ao seu eixo principal e o segundo não ser simétrico. Essa escolha permite a simulação da potência resultante através de cálculos, confrontando a eficiência de dois modelos diferentes. Com os valores conhecidos da corda estimada (L) = 0,0367 m, massa específica do ar (ρ) = 1,225 kg/m³, viscosidade do ar a temperatura de 20 °C (μ) = 1,8x10⁻⁵ kg/m.s, e velocidade nominal (Vn)= 8 m/s, chegou-se ao número de Reynolds (Re) = 19.944, considerado baixo quando comparado com os valores empregados em grandes aerogeradores, que se encontram na faixa de 1x10⁶.

4.3 Buscar dados aerodinâmicos do perfil

Utilizou-se o software gratuito Xfoil para a simulação dos perfis sob a influência de números de Reynolds variados. A Figura 1 apresenta a comparação das formas geométricas dos perfis analisados.

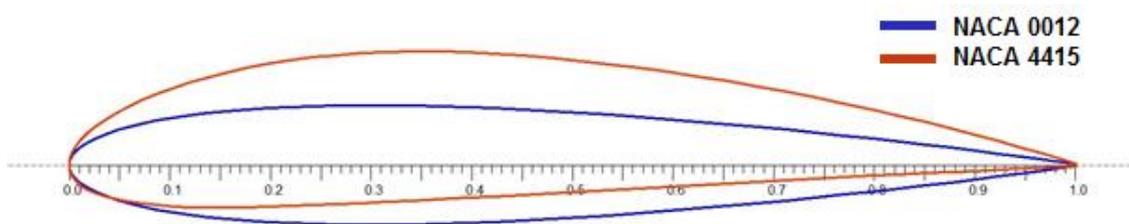


Figura 1 – Geometria dos perfis.

Observa-se nesta figura a simetria apresentada pelo perfil NACA 0012 e uma forma curvada do perfil NACA 4415. Percebeu-se que (utilizando o software) quando o número de Reynolds é baixo, os resultados não se apresentam com curvas previsíveis e constantes, diferente dos apresentados para valores de Reynolds altos. Isso faz com que a confiabilidade dos resultados possa ser comprometida. Com intuito de aumentar a precisão dos cálculos de projeto, realizou-se uma pesquisa dos dados aerodinâmicos.

Dados de perfis aerodinâmicos com Reynolds baixo foram pesquisados em uma base de dados online (Airfoil Investigation Database). Esta base apresenta o comportamento aerodinâmico de perfis sobre a influência de um Reynolds igual a 25.000, 50.000, 75.000 e 100.000. Adotaram-se para os cálculos de projeto os coeficientes de sustentação e arrasto correspondentes ao Reynolds 25.000 (valor mais próximo do calculado - 19.944). A Figura 2 apresenta os mesmos perfis, porém simulados sobre a influência da faixa de Reynolds mais próxima com a calculada, variando de 25.000 à 100.000.

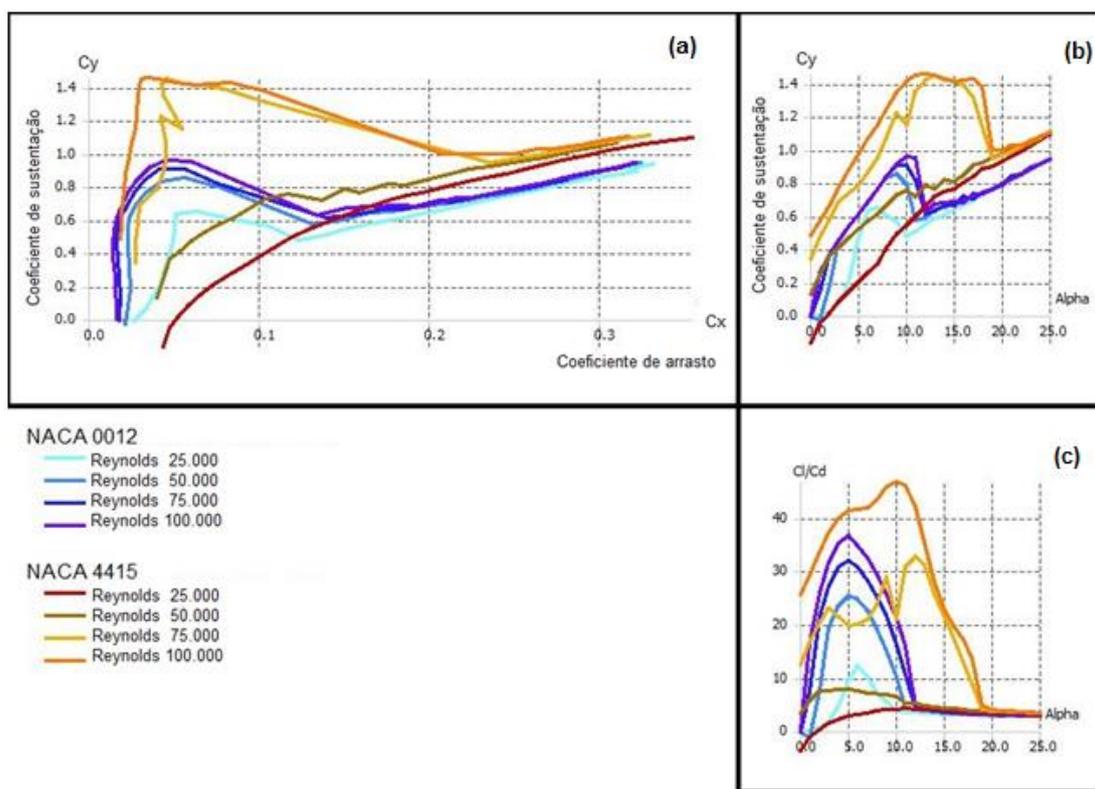


Figura 2 – NACA 0012 e NACA 4415, Re de 25x104 até 1x105.

4.4 Utilizar software WT_Perf para previsão de desempenho do rotor

Após a determinação de todos os elementos necessários para a realização do desenho da pá, utilizou-se o software WT_Perf para realizar uma previsão de desempenho da turbina, fornecendo para variadas velocidades de vento: o torque, a potência, o empuxo e o coeficiente de potência.

Para a utilização do software WT_Perf é necessário expandir os dados aerodinâmicos dos perfis utilizados, apresentados entre -15° até 15° , para uma gama completa de 360° , utilizando uma planilha chamada AirfoilPrep (desenvolvida por NREL).

A Figura 3 apresenta o gráfico relacionando a velocidade do vento com a estimativa de potência gerada por cada um dos rotores calculados, juntamente com os cálculos que desconsideram o perfil utilizado. Os resultados completos obtidos com este software podem ser vistos nos apêndices A e B, com a utilização dos perfis NACA 0012 e NACA 4415, respectivamente.

A estimativa de geração de potência é menor nos dois perfis quando comparados com os cálculos teóricos que não consideram a geometria das pás. Mesmo apresentando uma potência menor que a obtida nos primeiros cálculos de projeto, o perfil escolhido foi o NACA 4415, por apresentar um rendimento melhor que o NACA 0012 em todas as faixas de velocidade de vento.

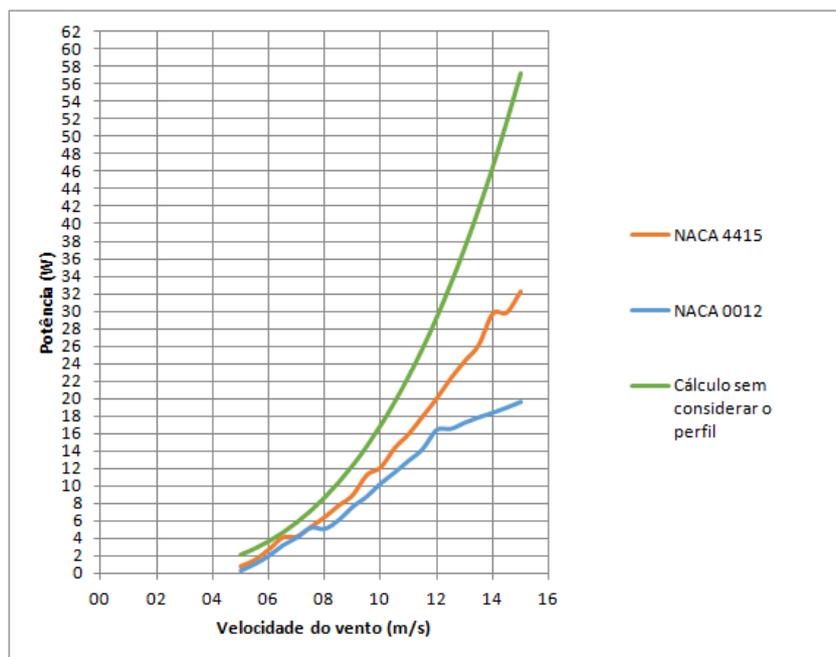


Figura 3 – Comparação de estimativa de potência.

4.5 Desenhar o protótipo com o software SolidWorks

Com o perfil e com os parâmetros de projeto definidos, realizou-se o desenho das pás. Utilizou-se o software SolidWorks para a tarefa, por realizar desenhos em 2D e 3D, além de apresentar possibilidade de exportação da modelagem para a prototipagem rápida (impressão em 3D). A Figura 4 apresenta a vista explodida do protótipo completo.

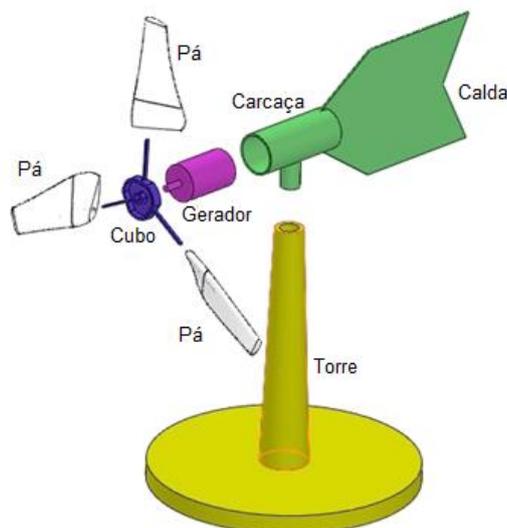


Figura 4 – Vista explodida do protótipo.

4.6 Prototipar pás aerodinâmicas com impressora 3D

As pás foram prototipadas com a impressora 3D Cliever CL-1. Esta impressora utiliza a tecnologia de impressão 3D denominada Fused Filament Fabrication (FFF).

4.7 Escolha do gerador

Um motor de corrente contínua sem escovas (DC brushless) foi utilizado como gerador devido ao fato de um dínamo ou gerador de pequenas dimensões ser de difícil acesso, e não

elevar os custos envolvidos no protótipo. Este tipo de motor apresenta menos perdas e é mais linear comparado a motores de passo ou de corrente alternada.

4.8 Montagem e construção do protótipo

Realizou-se a montagem do rotor utilizando um cubo impresso com o mesmo material das pás (PLA). O cubo apresentava hastes de formato retangular para garantir o ângulo de montagem correto, conforme sugerido por Rozenfeld et al. (2006) com a técnica de design para fabricação e montagem DFMA.

Este primeiro protótipo foi testado com velocidade de vento igual a 5 m/s. Todavia o cubo plástico não resistiu ao primeiro teste, rompendo as hastes que faziam a ligação com as pás. Sendo assim, realizou-se a acoplagem das pás ao motor com a utilização de um cubo de metal e parafusos (Figura 5).



Figura 5 – Pás montadas com cubo de metal.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realizou-se testes de geração de energia com o protótipo. Foi medido a amperagem e voltagem de saída, com velocidades de vento de 5 m/s até 20 m/s. Durante os testes foi percebido uma vibração elevada. A Tabela 1 foi elaborado com valores obtidos em teste prático. Apresentando a tensão e a corrente de saída do protótipo, as respectivas velocidades de vento e a potência calculada.

Tabela 1 – Tabela que mostra os resultados de teste prático.

| Velocidade do vento | Corrente | Tensão | Potência | Velocidade do vento | Corrente | Tensão | Potência |
|---------------------|----------|--------|----------|---------------------|----------|--------|----------|
| m/s | Amperes | Volts | Watts | m/s | Amperes | Volts | Watts |
| 5 | 0,06 | 6 | 0,36 | 13 | 0,55 | 22 | 12,1 |
| 8,5 | 0,2 | 15,5 | 3,1 | 14 | 0,6 | 25,5 | 15,3 |
| 10,2 | 0,3 | 17,5 | 5,25 | 15 | 0,7 | 27 | 18,9 |
| 11,7 | 0,45 | 19 | 8,55 | 17 | 0,8 | 29 | 23,2 |
| 12 | 0,5 | 20 | 10 | 18,5 | 0,9 | 31 | 27,9 |

Comparou-se a curva de potência gerada em teste com a expectativa de geração de potência calculada com o software (Figura 6).

O segundo teste que foi realizado foi o carregamento de bateria de celular. Visto que o protótipo era capaz de gerar tensão e corrente suficiente para o carregamento de um celular. Conectou-se um diodo na saída de um dos terminais do gerador para permitir o fluxo de

energia somente em um sentido (gerador → bateria) e em seguida foi conectado o cabo do carregador de celular. O carregamento não ocorreu quando o dispositivo utilizado para teste foi um smartphone. O mesmo teste foi repetido utilizando um telefone celular e o protótipo foi capaz de carregar sua bateria.

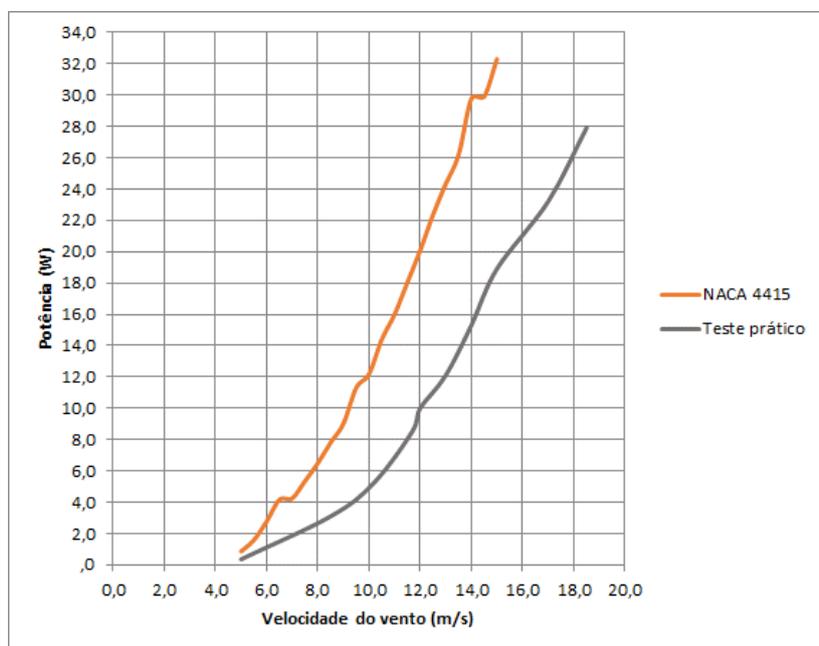


Figura 6 – Comparação de curvas de potência.

Para um terceiro teste foi conectado nas saídas do gerador um conector universal serial (do inglês *Universal Serial Bus*, USB) e nesta porta USB foi conectado uma lanterna LED. O protótipo foi capaz de acender as luzes da lanterna com velocidades de vento a partir de 5 m/s.

O quarto teste realizado foi a ligação de um rádio portátil. O rádio funcionava com quatro pilhas AA. O protótipo foi capaz de alimentar o aparelho de rádio com velocidades de vento a partir de 5 m/s.

6. CONCLUSÃO

A construção de um protótipo da máquina projetada capaz de gerar energia para alimentar pequenos dispositivos elétricos e recarregar bateria de pequenos equipamentos eletrônicos foi concluída com sucesso. Porém ao se comparar os valores obtidos em testes operacionais com valores calculados em software, o mesmo apresentou rendimento abaixo do esperado. Vibrações elevadas durante os testes podem ter sido um dos fatores que influenciaram para isso.

O equipamento projetado se demonstrou capaz de atingir seus objetivos de carregamento de baterias e fornecimento de energia para pequenos dispositivos elétricos. Todavia as faixas de velocidades de vento onde o protótipo se demonstra suficientemente potente são bastante elevadas quando comparadas com as velocidades médias encontradas a 50m do solo no estado do Rio Grande do Sul. O protótipo necessitou altas velocidades de vento para seu funcionamento. Isso faz com que sua aplicação em casos reais seja pouco provável, devido ao fato de funcionar somente em casos específicos.

Para trabalhos futuros ficam as sugestões para comparações da influência de diferentes perfis aerodinâmicos na eficiência de geração de potência, comparações de eficiência entre aerogeradores de passo fixo e passo variável, e desenvolvimento de mini aerogerador com controle do ângulo de pá.

REFERÊNCIAS

- AZOFRA, D.; JIMÉNEZ, E.; MARTÍNEZ, E.; BLANCO, J.; SAENZ-DÍEZ, J. C.** *Wind power merit-order and feed-in-tariffs effect: A variability analysis of the Spanish electricity market. Energy Conversion and Management*, v. 83, p. 19-27, 2014.
- BAKKEN, T. H.; AASE, A. G.; HAGEN, D.; SUNDT, H.; BARTON, D. N.; LUJALA, P.** *Demonstrating a new framework for the comparison of environmental impacts from small- and large-scale hydropower and wind power projects. Journal of Environmental Management*, v. 140, n. 1, p. 93-101, 2014.
- BURTON, T.; JENKINS, N.; SHARPE, D.; BOSSANYI, E.** *Wind energy handbook. Chichester: England, 2001.*
- CANNON, D. J.; BRAYSHAW, D. J.; METHVEN, J.; COKER, P. J.; LENAGHAN, D.** *Using reanalysis data to quantify extreme wind power generation statistics: A 33 year case study in Great Britain. Renewable Energy*, v. 75, p. 767-778, 2015.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R.** *Metodología científica. 6. ed. São Paulo, 2007.*
- FADIGAS, E. A. F. A.** *Energia Eólica, Barueri: Manoele, 2011.*
- FANT, C.; GUNTURU, B.; SCHLOSSER, A.** *Characterizing wind power resource reliability in southern Africa. Applied Energy*, v. 161, p. 565-573, 2016.
- FARRET, F. A.** *Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1999.*
- GELAŽANSKAS, L.; BARANAUSKAS, A.; GAMAGE, K. A. A.; AŽUBALIS, M.** *Hybrid wind power balance control strategy using thermal power, hydro power and flow batteries. International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, v. 74, p. 310-321, 2016.
- GINER, D. T.** *Diseño de um aerogenerador de 1.8 Mw. Proyecto fin de carrera (Ingeniero en Organización Industrial) – Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2013.*
- GIRALDO-CHAVARRIAGA, J. S.; CASTRILLON-LARGO, J. A.; GRANADA-ECHEVERRI, M.** *Stochastic AC Optimal Power Flow Considering the Probabilistic Behavior of the Wind, Loads and Line Parameters. Ingeniería, Investigación y Tecnología*, v. 15, n. 4, p. 529-538, 2014.
- GONZÁLEZ, A. I.; ZUCKER, A.** *Impact of wind power uncertainty forecasting on the market integration of wind energy in Spain. Applied Energy*, v. 159, n. 1, p. 334-349, 2015.
- INIECO.** *Desarrollo de proyectos de instalaciones de energía mini-eólica aislada. Málaga: Editorial Vértice, 2011.*
- KALDELLIS, J. K.; ZAFIRAKIS, D.** *The wind energy (r)evolution: a short review of a long history. Renew Energy*, v. 36, n. 7, p. 1887-1901, 2011.
- LÓPEZ, J. M. E.** *Manual de energía eólica. Madrid: Mundi-Prensa. 2008.*

MÉNDEZ, R. *Análisis de desarrollo de un parque Eólico. Tesis (para obtener el título de ingeniero mecánico electricista) - Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2013.*

PINHELLI, F.; CHITZ NETO, G.; CASARO, M. M.; STEVAN JR, S. L. *Automação de baixo custo para maximização de potência de placa solar para fins residenciais. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 4, n. 2, 2012.*

RUÍZ, J. F. F. *Análisis Simplificado de la respuesta estructural de una pala de aerogenerador. Proyecto fin de carrera (ingeniería industrial y tecnologías energéticas) - Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2009.*

SILVA, E. P.; CAMARGO, J. C.; SORDI, A.; SANTOS, A. M. R. *O Futuro dos Recursos: Recursos energéticos, meio ambiente e desenvolvimento. MultiCiência, 2003.*

TALAYERO, A. P.; MARTÍNEZ, E. T. *Energia Eólica. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008.*

TIBOLA, G. *Sistema eólico de pequeno porte para geração de energia elétrica com rastreamento de máxima potência. Dissertação (programa mestrado em engenharia elétrica) - Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2009.*

VIANNA, I. O. A. *Metodologia do trabalho científico: um enfoque didático da produção científica. São Paulo: EPU, 2001.*

YU, K. N.; LIAO, C. K. *Applying novel fractional order incremental conductance algorithm to design and study the maximum power tracking of small wind power systems. Journal of Applied Research and Technology. v. 10, n. 2, p. 238-244, 2015.*