

TURBINA EÓLICA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO LATAS DE ALUMÍNIO

Giovanni Maria Arrigone - Ph.D., gio_arrigone@hotmail.com

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial e Universidade Federal de Santa Catarina

Cristine do Nascimento Mutti - Ph.D.,ecv1cnm@ecv.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina

Resumo: Energia eólica é uma fonte importante de energia de baixo impacto ambiental e tornou-se ainda mais importante em anos recentes. A quantidade de energia obtida utilizando turbinas eólicas está aumentando a cada ano e muitas nações têm feito planos de grandes investimentos para o futuro neste setor. O potencial brasileiro de geração de energia a partir dos ventos é muito grande. Estudos exploram a viabilidade de geração de energia eólica doméstica, comparando os custos desta geração com o custo de energia da rede pública para o consumidor, com resultados favoráveis. A proposta apresentada neste artigo é a construção de uma turbina com eixo vertical de tipo de Savonius, construída reutilizando latas de bebida de alumínio e operando um alternador de construção caseira para produção de energia elétrica. Testes quantitativos foram conduzidos com um protótipo para determinar a possibilidade de conversão de energia eólica em elétrica e a eficiência desta configuração. A turbina foi testada ao ar livre e dentro de casa. Os resultados confirmam que o protótipo funciona e pode converter energia eólica em energia elétrica.

Palavras-chave: Turbina eólica, energia renovável, reutilização.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Energia eólica

A energia eólica é usada desde a antiguidade para movimentar barcos a vela, moagem de grãos e bombeamento de água. Para a geração de eletricidade, as primeiras tentativas surgiram no final do século XIX, mas somente um século depois, com a crise internacional do petróleo (década de 1970), é que houve interesse e investimentos suficientes para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos em escala comercial. Desde então vem se tornando uma alternativa energética, pois é uma fonte não poluidora e gratuita de energia (BAZZO; FERREIRA, 2008).

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aero-geradores, para a geração de eletricidade, ou cata-ventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água (BAZZO; FERREIRA, 2008).

Energia eólica é uma fonte importante de energia de baixo impacto ecológico e tornou-se mais importante em anos recentes. A quantidade de energia obtida utilizando turbinas eólicas está aumentando a cada ano e muitas nações têm feito planos de grandes investimentos para o futuro neste setor (ERIKSSON; BERNHOFF; LEIJON, 2008) . Os principais dez mercados de energia eólica em termos de MW (106 Watts) instalados e *market share* (fatia de mercado) são mostrados na Tabela 1)

Tabela 1: Energia eólica no mundo. Fonte: Gupta; Biswas; Sharma (2008).

Capacidade total	MW	Market Share
Alemanha	20.622	27,8%
Espanha	11.615	15,6%
Estados Unidos	11.603	15,6%
Índia	6.270	8,4%
Dinamarca	3.136	4,2%
China	2.604	3,5%
Itália	2.123	2,9%
Reino Unido	1.963	2,6%
Portugal	1.716	2,3%
França	1.567	2,1%
Top 10 – Total	63.217	85,2%
Resto do mundo	11.004	14,8%
Total mundial	74.221	

O potencial brasileiro de geração de energia a partir dos ventos é muito grande. Segundo dados do Atlas Eólico Nacional, elaborado pelo governo federal, chega a 143 gigawatts (GW=109 W), considerando-se apenas a instalação em terra. Com turbinas no mar, o potencial é ainda maior. No nordeste do país, o potencial eólico chega a 75 GW, dos quais 25 GW se concentram no Ceará. No entanto, aproveitamos hoje apenas 247 megawatts (MW=106 W) por meio de 16 parques eólicos distribuídos em oito estados brasileiros (GREENPEACE, 2008).

A capacidade instalada no Brasil é de 28.625 kW (kW=103 W) com turbinas eólicas de médio e grande porte conectadas à rede elétrica. Além disso, existem cinco empreendimentos em construção com potência de 208.300 kW (BAZZO; FERREIRA, 2008).

A Tabela 2 mostra exemplos de centrais eólicas em funcionamento.

Tabela 2: Centrais eólicas. Fonte: Bazzo; Ferreira (2008); Jornal Do Comércio (2008).

Central Eólica	Localidade	Potência (kW)
Fernando de Noronha I	Fernando de Noronha - PE	75
Fernando de Noronha II	Fernando de Noronha - PE	225
Morro do Camelinho	Gouveia - MG	1.000
Palmas	Palmas - PR	2.500
Taiba	São Gonçalo do Amarante - CE	5.000
Prainha	Aquiraz - CE	10.000
Osorio	Osório - RS	150.000

1.2 Turbinas domésticas

Por mais de cem anos moinhos mecânicos forneceram eletricidade. Famílias em zonas rurais usavam geradores eólicos de 200-3.000 Watts para acender lâmpadas e operar eletrodomésticos. Ainda hoje sistemas eólicos levam energia a locais remotos, mas também têm sido usados como uma independente, limpa e econômica alternativa aos combustíveis fósseis e nucleares (LEA, 2006).

Para muitos, o termo energia eólica lembra grandes filas de turbinas de tamanho industrial de 750 KW, com rotores de 4.500 centímetros. Mas sistemas de energia eólica também vêm em “pequenos pacotes”. Um típico sistema eólico residencial inclui uma turbina de 10 KW, com rotores com aproximadamente 690 centímetros de diâmetro, montados em uma torre de 2.400 centímetros. Tal sistema é adequado para suprir a demanda de eletricidade de uma casa ou pequeno negócio nos Estados Unidos (AWEA, 2008).

Turbinas eólicas domésticas (*small wind*) são sistemas alimentados pelo vento, dimensionados para casas, fazendas e pequenas empresas. Estas turbinas, as quais são definidas como tendo capacidade de 100 Quilowatts ou menos, tiveram um significativo crescimento em seu mercado, e a indústria estabeleceu ambiciosas metas de crescimento, continuando a 18-20% até 2010. Os Estados Unidos são os maiores produtores mundiais de pequenas turbinas eólicas, sendo a maioria fabricada no país. Estes equipamentos são usados por indivíduos para reduzir suas contas de eletricidade, tornarem-se independentes da rede elétrica, e evitar a volatilidade dos tradicionais preços da energia (AWEA, 2008).

Turbinas de 400 watts com rotores de 46 polegadas (116,84 centímetros) de diâmetro podem ser empregadas para fins específicos, como o bombeamento de água, ou para acender luz e energia para eletrodomésticos em locais distantes (como por exemplo, em veículos recreacionais). A energia eólica pode ser usada sozinha ou para complementar um sistema fotovoltaico. Pode ainda ser interconectada com a rede pública de energia (AWEA, 2008).

Estudos exploram a viabilidade de geração de energia eólica doméstica, comparando os custos desta geração com o custo de energia da rede pública para o consumidor. Os resultados de tal estudo mostraram que a energia eólica tem o mesmo custo de energia da rede, e a primeira ainda apresenta benefícios ambientais (LEA, 2006).

O arquiteto inglês Bill Dunster (DUNSTER, 2006) em seu artigo estimula o

consumidor individual no Reino Unido a aderir à microgeração. Tal autor diz que é tempo de para de culpar terceiros, e tomar atitudes. Ele afirma que “os dias de pagar outras pessoas para que coloquem uma turbina eólica em uma colina acabaram. Mesmo que soluções de energia verde forem implantadas nacionalmente, a energia por fontes renováveis não conseguiria suprir mais de 30% da demanda atual no país”. Ele afirma que uma combinação entre eficiência energética, e micro geração de energia através de fontes renováveis podem atingir 70% de redução de demanda da rede pública de energia, e com isto evitar a necessidade de investimentos e o risco de construção de usinas nucleares, ou ter que importar combustível fóssil.

2. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

A proposta apresentada neste artigo é a construção de uma turbina com eixo vertical de tipo de Savonius, construída reutilizando latas de bebida de alumínio e operando um alternador de construção caseira para produção de energia elétrica. A inovação no desenho da turbina é o acoplamento de duas turbinas de Savonius sobrepostas e também a utilização de folhas de alumínio muito leves e resistentes à corrosão.

A utilização de latas de alumínio descartadas incorpora a leveza e durabilidade do material alumínio com o reaproveitamento do material. Assim, o sistema construído, além de ser uma fonte de energia renovável, contribui para a consciência ecológica de quem o constrói ou utiliza.

Testes quantitativos foram conduzidos com um protótipo para determinar a possibilidade de conversão de energia eólica em elétrica e a eficiência desta configuração.

2.1 Rotor de Savonius

O rotor de Savonius (1931) (Figura 1) é um tipo de turbina a eixo vertical (normalmente indicado como VAWT (*vertical axis wind turbine*) usado para converter energia eólica em outras formas (elétrica, por exemplo) e composto de um eixo C com duas pás (A e B) semicirculares perpendiculares à direção do vento W.

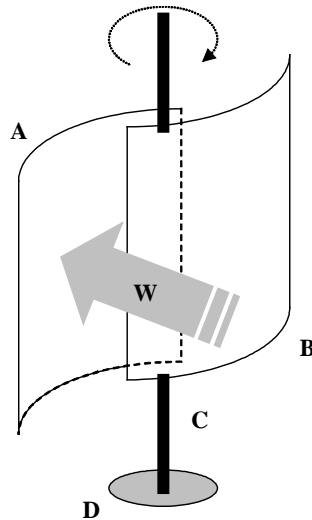


Figura 1: Esquema da turbina de Savonius.

A eficiência do rotor de Savonius é, porém, baixa em comparação com aquela de outros tipos de turbinas, como aquelas com eixo horizontal (tipo moinho a vento). A principal razão para esta baixa eficiência é que durante o movimento da turbina uma das pás se desloca contra o vento, freando a outra que se desloca na direção do vento.

Mesmo assim, esta é uma turbina de desenho muito simples e baixo custo de construção, com possibilidade de ser utilizada em geração de energia em pequena escala (geração caseira).

Outras vantagens deste tipo de turbina são:

- 1) Aceitar o vento de todas as direções, que significa que é omni-direcional. A turbina não precisa de um sistema de orientação (*yaw system*) para direcionar a área útil da turbina na direção mais favorável, como no caso de uma turbina a eixo horizontal. A turbina também não perde potência nos casos de variação de direção do vento e opera também durante brisas de curta duração (ROYNARIN; LEUNG; DATTA, 2002);
- 2) A turbina com eixo vertical tem o eixo diretamente conectado ao gerador. Este procedimento elimina a necessidade de uma caixa de engrenagens de redução (*gearbox*) que poderia complicar o desenho da estrutura e limitar a eficiência da transformação em energia elétrica;
- 3) Uma turbina omni-direcional pode ser utilizada em lugares com ventos turbulentos e onde a direção do vento mude continuamente. Por essa razão as turbinas de eixo vertical são particularmente úteis em áreas de montanha e urbanas (RIEGLER, 2003). Observações mostraram uma vantagem em utilizar este tipo de turbina em tetos (MERTENS, 2003);
- 4) A turbina a eixo vertical é menos barulhenta do que aquela com eixo horizontal e de dimensão menor do que aquela de eixo horizontal, o que ajuda na sua instalação em áreas urbanas, pois pode ser instalada em qualquer lugar que receba vento.

2.2 A turbina proposta

A turbina em questão foi construída utilizando as duas metades de uma lata de bebida. O produto final foi uma turbina formada por duas seções “S” cruzadas (Figura 2).



Figura 2: As duas turbinas de Savonius sobrepostas.

Esta configuração foi adotada para maximizar o desempenho da turbina. Testes de laboratório (SAHA; THOTLA; MAITY, 2008) conduzidos com diferentes configurações e diferentes números de pás sugerem que duas turbinas sobrepostas e cruzadas com duas pás cada uma sejam a configuração mais eficiente para turbinas de eixo vertical.

A turbina utilizada neste trabalho tem uma altura de 19 centímetros e um diâmetro de 10 centímetros e pode rodar ao redor de um eixo vertical de 30 centímetros. Uma estrutura metálica *ad hoc* foi construída para instalar a turbina e os demais componentes pela geração de energia elétrica.

2.3 O gerador de eletricidade

O gerador de eletricidade é parecido com um alternador e baseia o seu funcionamento sobre uma lei fundamental da física, a lei de Faraday (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996).

Pode-se resumir esta lei dizendo que quando uma espira ou uma bobina de material condutor (cobre, por exemplo) de determinada área é imersa em um campo magnético variável, se induz na espira uma tensão alternada que produz uma corrente.

Praticamente o campo magnético variável é produzido por um ímã que pode mudar

de posição no espaço em maneira tal que a intensidade do seu campo magnético (que depende da distância da superfície) em um ponto fixo possa mudar.

O sistema usado para reproduzir este efeito consiste em dois discos um para os ímãs e o outro para as bobinas de fio (Figura 3).

O primeiro disco, o estator, contém quatro bobinas de 20 espiras cada uma de fio de cobre dispostas na mesma geometria dos ímãs e conectadas uma à outra em série, de modo a formar um circuito. Um segundo disco, o rotor, contém 4 ímãs obtidos de um *hard drive* de computador. Cada ímã é posicionado nos vértices de uma cruz. A intensidade do campo magnético produzido por cada ímã foi medida em laboratório resultando em um valor (na superfície do ímã) de 0,1 Tesla. Como comparação podemos observar que um ímã normal de geladeira tem um campo na superfície de aproximadamente 9 mT (=mili Tesla) ou seja 0,009 T.

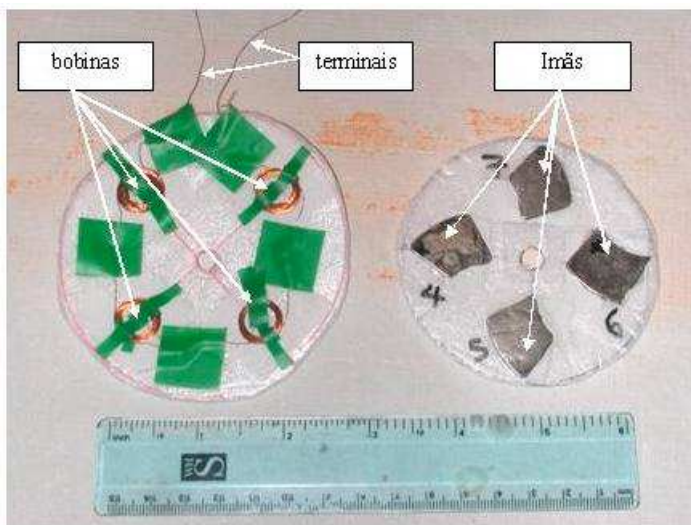


Figura 3: O estator (esquerda) e rotor (direita).

O rotor com os ímãs é conectado diretamente à turbina e pode rodar com ela. O outro disco, o estator, com as bobinas de fio, é fixo e posicionado embaixo do primeiro, em maneira tal que os ímãs do primeiro, rodando, passem, alternadamente, sobre cada bobina (Figura 4).

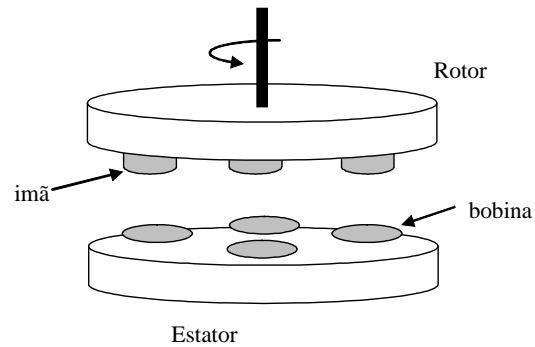


Figura 4: Disposição do rotor e estator.

O valor da tensão alternada produzida nesta maneira depende diretamente da:

- (1). Área da espira A ;
- (2). O número de espiras N ;
- (3). A intensidade B do campo magnético produzido pelo ímã;
- (4). A velocidade angular ω do rotor.

Com os valores numéricos das várias componentes usadas no alternador deste projeto ($A=8 \times 10^{-5} \text{ m}^2$, $B=0,1 \text{ T}$, $N=20$), o valor máximo alcançável, por exemplo, para uma rotação da turbina de 10 revoluções por segundo, foi calculado em 30 mV.

2.4 O Protótipo completo

O protótipo da turbina é mostrado na Figura 5.



Figura 5: O protótipo da turbina eólica.

As dimensões da estrutura completa são 36x23x10 centímetros. O sistema foi testado principalmente para detectar a conversão de energia eólica em energia elétrica através a detecção de uma tensão (alternada). Um multímetro digital foi conectado aos terminais do circuito das quatro bobinas.

A turbina foi testada ao ar livre e dentro de casa. O número de revoluções por segundo foi avaliado amarrando um fio de comprimento conhecido à turbina, e medindo o tempo necessário para amarrá-lo completamente em volta da turbina em rotação.

No caso do ar livre foi escolhido um dia de vento moderado com produção de um número de revoluções máximo da turbina de 10 revoluções por segundo.

Dentro de casa a turbina foi posicionada perto de uma abertura (janela ou porta) desfrutando a corrente de ar produzida na casa abrindo outra janela. Em situação ideal (ótima) de novo, o número máximo de revoluções por segundo foi avaliado em 10.

O valor máximo de tensão alternada medido pelo multímetro digital foi de 20 mV. (0,02 V). Este resultado confirma que o protótipo funciona e pode converter energia eólica em energia elétrica.

A otimização dos elementos do protótipo poderia levar a um melhoramento da eficiência na conversão de energia eólica em elétrica. Entre as várias melhorias que se pode introduzir tem-se:

- (1). Melhor alinhamento dos elementos do alternador e lubrificação das partes rolantes;
- (2). Aumento da magnitude do campo magnético dos ímãs. Neste caso é necessário notar que o peso dos ímãs poderia aumentar consideravelmente, reduzindo a rotação da turbina;
- (3). Mantendo as mesmas áreas das bobinas de fio poderia ser aumentado o número de espiras. Esta possibilidade é viável porque o estator é fixo e o aumento no peso de cada bobina não influiria sobre a rotação da turbina.

Teoricamente, com 200 espiras por cada bobina do alternador, por exemplo, poderia ser alcançada uma tensão de até 4 volts.

3. APLICAÇÃO DO SISTEMA

È interessante notar que muitos dos testes de desempenho do protótipo foram executados em casa utilizando a convecção natural de ar através a abertura de uma janela e de uma porta da casa, utilizando a corrente de ar formada para impulsionar a turbina. A possibilidade de utilizar este tipo de corrente de ar para a geração de energia torna-se muito interessante pelos os seguintes motivos:

1. O fluxo de ar (dependendo também da diferença de temperatura entre o interior e o exterior do ambiente) é muito alto e produz uma corrente de ar muito forte;
2. O fluxo de ar é aproximadamente constante e pode ser regulado em intensidade. Nos testes, por exemplo, a porta foi aberta mais ou menos regulando a intensidade da corrente de ar que aciona a turbina.

No caso da turbina vertical proposta neste projeto, várias soluções são disponíveis

para a colocação de mais de uma turbina em lugares como sacadas de apartamentos e varandas em casas (Figura 6).

Uma sugestão para a aplicação prática do protótipo é apresentada na Figura 6.

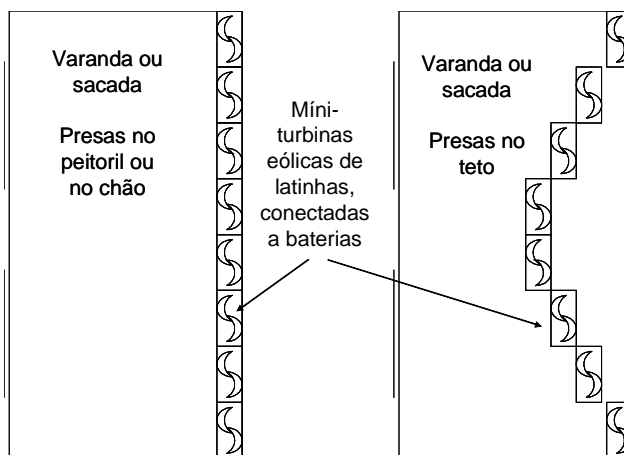


Figura 6: Configuração para colocação de mini-turbinas eólicas de latinhas em varandas e sacadas cobertas.

Além disto, várias turbinas poderiam ser instaladas uma sobre a outra, e em todos os casos conectadas a baterias, gerando energia para acender lâmpadas e operar pequenos eletrodomésticos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi apresentada uma idéia de utilização de latas de alumínio para a construção de uma turbina eólica caseira para a produção de corrente elétrica.

O protótipo do sistema completo, formado por duas turbinas de Savonius sobrepostas e alternador, foi testado produzindo uma tensão de 20 mV, como foi previsto a partir da teoria.

Tensões mais altas podem ser alcançadas melhorando a eficiência da turbina e do alternador do protótipo atingindo um teto teórico de pelo menos 2 volts.

Várias turbinas poderiam ser conectadas em série e alimentar uma bateria para armazenar energia elétrica, disponibilizando energia elétrica de conversão eólica doméstica.

A utilização de latas de alumínio descartadas para a construção de sistemas do tipo é uma opção viável, pois o material é adequado pelas suas propriedades, além do fato de se poder reutilizar um material nobre com pouca transformação.

Notou-se que com a formação, nos últimos anos, de uma mentalidade de desenvolvimento sustentável a energia eólica virou um dos pontos centrais dos esforços pela produção de energia limpa e de baixo impacto ambiental. Junto com esta idéia, foi possível concluir que a proposta formulada neste trabalho agrega a possibilidade da reciclagem/reutilização de um material muito importante como o alumínio, reduzindo o desperdício e permitindo a construção de um sistema eólico a baixo custo, tornando-a acessível para todos.

REFERÊNCIAS

- ABAL. Disponível em: <http://www.abal.org.br/reciclagem/introducao.asp> em 03/09/08
- AWEA. American Wind Energy Association. Small Wind Factsheets. Disponível em: http://www.awea.org/smallwind/toolbox2/INSTALL/factsheet_sw.pdf. Acesso em 10 de setembro de 2008.
- BAZZO, W.A.; FERREIRA, R.T.S. Energia eólica – Desempenho de Rotores de Eixo Vertical Tipo Savonius. Engenharia Mecânica, UFSC – Florianópolis. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/eolica.php>. Acesso em 10 de setembro de 2008.
- DUNSTER, B. “Time to take personal action”. Press release. Zed Factory. Dezembro 2006.
- ERIKSSON, S.; BERNHOFF, H.; LEIJON, M., “Evaluation of different turbine concepts for wind power”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008) 1419–1434.
- GUPTA, R., BISWAS, A., SHARMA, K.K., “Comparative study of a three-bucket Savonius rotor with a combined three-bucket Savonius–three-bladed Darrieus rotor”, Renewable Energy 33 (2008) 1974–1981.
- GREENPEACE a. Antes tarde do que nunca: leilão de energia eólica à vista! 16 de Junho de 2008. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/brasil/energia/noticias/governo-enfim-sinaliza-que-bra>. Acesso em 10 de setembro de 2008.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J., “Fundamentos de Física Vol. 3”, 4ª edição, LTC Ed., 1996.
- JORNAL DO COMÉRCIO. Porto Alegre. Disponível em: http://jcrs.uol.com.br/Comercial/cadernos/dest2005_ventos.pdf. Acesso em 22 de Setembro de 2008.
- LEA, J. The Economic Case for Domestic Wind Turbines, First Update. 28 Abril 2006. Disponível em: <http://www.greenliving.co.uk/Articles/theeconomiccasef.html>.
- MERTENS, S., “The energy yield of roof mounted wind turbines”, Wind Eng 2003;27(6):507–18.
- SAHA, U.K.; THOTLA, S., MAITY, D., “Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2008,
- SAVONIUS, S.J. “The S-rotor and its application”, Mechanical Engineering, 53 (1931) 333–338.