

# Aerogeradores construídos de materiais recicláveis e de pequeno porte

Ana Carolina Resende Gonçalves\*  
Mariana de Araújo Rocha\*\*  
Yago Ferreira Bellico\*\*\*

## Resumo

A grande preocupação mundial com o desenvolvimento de fontes de energia renováveis tem crescido a cada dia. A preocupação com o meio ambiente e com a reciclagem segue a mesma linha. Em meio a essa nova maneira de se pensar sustentável, realizamos um projeto de pesquisa da energia eólica e criação de um aerogerador de pequeno porte construído a partir de materiais recicláveis. Consiste basicamente de um cata-vento elétrico, que com a energia mecânica proveniente da interação do vento e da hélice do cata-vento, produz a rotação do eixo de um gerador capaz de transformar energia mecânica em energia elétrica.

Palavras-chave: Aerogerador. Energia eólica. Energia elétrica. Materiais recicláveis. Vento.

## Introdução

Os primeiros aerogeradores que surgiram na Pérsia por volta de 200 A.C. (existem relatos de alguns modelos chineses de 2000 A.C.) eram basicamente uns cata-ventos, muito rústicos, e por isso possuíam uma eficiência muito baixa. Com o tempo se tornou mais necessário o uso de aerogeradores (cata-ventos) na agricultura mundial para o bombeamento d'água e moagem de grão, logo o avanço e o aperfeiçoamento dessa técnica foram necessários. Surgiram na Europa por volta da Idade Média os famosos moinhos holandeses, de eixo horizontal, que se disseminaram por toda Europa e posteriormente pelo mundo.

O desenvolvimento da eletricidade no século XX possibilitou a utilização dos aerogeradores na geração de energia elétrica. Na época do surgimento desses "cata-ventos elétricos" havia grandes aerogeradores sendo utilizados na Rússia, enquanto nos E.U.A eram utilizados outros de menor porte nas regiões rurais. Charles F. Brush, em 1888, na cidade de Cleveland, Ohio, fabricou o primeiro cata-vento destinado à geração de energia elétrica - um marco na história dos aerogeradores.

## Energia Eólica

A Energia Eólica, energia que move os aerogeradores, é proveniente do aquecimento da superfície da terra pelo sol. Ocorre devido à irregularidade desse aquecimento. Como a Terra

se move, o ar mais quente que está nos trópicos tende a subir, enquanto ar frio dos polos tende a descer. Isso causa uma movimentação muito grande nas massas de ar do planeta, criando assim os ventos.

Devido aos mecanismos que produzem os ventos (aquecimento no Equador e resfriamento nos polos), existem regiões no planeta onde há sempre ventos, constantes o ano todo. Esses por sua vez são chamados de ventos planetários ou constantes, e podem ser classificados em:

- Alísios, ventos que sopram dos trópicos para o Equador, em baixas altitudes.
- Contra-alísios, ventos que sopram do Equador para os polos, em altas altitudes.
- Ventos do Oeste, ventos que sopram dos trópicos para os polos.
- Polares, ventos frios que sopram dos polos para as zonas temperadas.

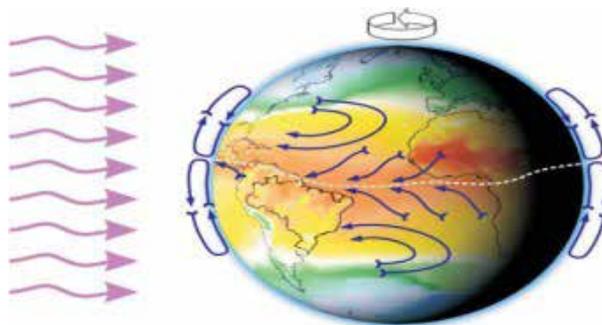


Figura 1 - Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar

O eixo da Terra está inclinado a  $23,5^\circ$ . Devido a essa inclinação, ocorrem variações sazonais ou periódicas na distribuição de radiação recebida na superfície da Terra. Elas resultam em variações sazonais na intensidade e duração dos ventos, em qualquer local da superfície terrestre. Assim surgem os ventos continentais ou periódicos, conhecidos como as monções e as brisas.

Durante o dia, devido à maior capacidade da terra de refletir os raios solares, a temperatura do ar aumenta e como consequência, forma-se uma corrente de ar que sopra do mar para a terra (brisa marítima). Durante a noite, a temperatura da terra cai mais rapidamente do que a temperatura da

\* Técnico em Eletromecânica pelo IF Fluminense, campus Macaé.

\*\* Técnico em Eletromecânica pelo IF Fluminense, campus Macaé.

\*\*\* Técnico em Eletromecânica pelo IF Fluminense, campus Macaé.

água e, assim, ocorre a brisa terrestre que sopra da terra para o mar.

Existem os ventos locais, que são originados por outros mecanismos mais específicos. São ventos que sopram em determinadas regiões e são resultantes das condições locais, como relevo, temperatura, umidade, construções humanas, etc. A variação da velocidade pode ocorrer em vários lugares e períodos de tempos, fazendo os ventos se tornarem mais intensos ou não, sendo influenciados pela altura, rugosidade do terreno (vegetação, utilização da terra e construções), presença de obstáculos nas redondezas, relevo que pode causar efeito de aceleração ou desaceleração no escoamento do ar.

## Aerogeradores

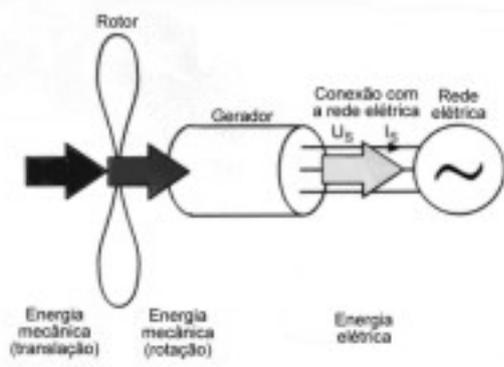


Figura 2 - Transformação de energia

Um aerogerador é um gerador elétrico integrado ao eixo de um cata-vento. Este possibilita a conversão de energia mecânica proveniente dos ventos, denominada energia eólica, em energia elétrica. É um equipamento que tem se popularizado rapidamente por ser uma fonte de energia renovável e não poluente. Os aerogeradores, porém, só devem ser utilizados em regiões de vento constante, permitindo assim que seu uso seja proveitoso para geração de eletricidade.

O princípio de funcionamento de um aerogerador compreende dois processos de conversão. O rotor, que retira energia cinética do vento e a converte em uma forma de energia mecânica, e o gerador que converte o conjugado mecânico em eletricidade e alimenta a rede elétrica.

## Classificações dos aerogeradores

Existem dois tipos básicos de rotores eólicos, os de eixo vertical e os de eixo horizontal. Os rotores diferem em seu custo relativo de produção, eficiência, e na velocidade do vento em que têm sua maior eficiência.



Figura 3 – Aerogerador de eixo vertical tipo Savonius



Figura 4 – Aerogerador de eixo vertical tipo Darrieus

Os rotores de eixo vertical são em geral de custo mais baixo que os de eixo horizontal, porém como o gerador não gira seguindo a direção do vento, apenas o rotor gira enquanto o gerador fica fixo, seu desempenho é inferior, o que pode não gerar custo-benefício desejado.

Os rotores de eixo horizontal, por sua vez, são os mais conhecidos e os mais utilizados pela sua maior eficiência. Essa eficiência mais elevada em relação aos de eixo vertical compensam seu custo mais elevado, o que gera custo-benefício maior a quem o utiliza.

Os rotores tipo múltipás são mais utilizados para bombeamento de água de poços, mas nada impede que sejam utilizados para geração de energia elétrica. Impulsionados tanto por força de arrasto como por força de sustentação, esses rotores possuem maior eficiência em ventos fracos.

Já os rotores tripás são os mais utilizados para geração de energia elétrica em larga escala como fonte de energia renovável e são impulsionados apenas pela força de sustentação.

### **Aplicação em sistemas**

Um sistema eólico pode ser construído em três aplicações distintas. São elas os sistemas isolados, sistemas híbridos e sistemas interligados à rede. Os sistemas obedecem a uma configuração básica, necessitam de uma unidade de controle de potência e, em determinados casos, de uma unidade de armazenamento.

### **Sistemas isolados**

Os sistemas isolados, em geral, utilizam alguma forma de armazenamento de energia. Esses sistemas armazenam a energia do aerogerador em baterias estacionárias, que permitem consumir energia nas temporadas em que não se verifique grande intensidade de vento, evitando que a energia elétrica falhe quando o aerogerador parar.

Os sistemas que armazenam energia em baterias necessitam de um dispositivo para controlar a carga e a descarga da bateria. O controlador de carga é o responsável por efetuar esse controle, e tem como principal objetivo evitar danos à bateria por sobrecarga ou descarga profunda. Para alimentação de equipamentos que operam com corrente alternada (C.A.) é necessária a utilização de um inversor, pois a corrente produzida por este sistema é contínua (C.C), incompatível com a corrente a ser utilizada. Este sistema é usado quando se deseja utilizar eletrodomésticos convencionais, por exemplo.

Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, como no caso dos sistemas

para irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida.

### **Sistema híbrido**

Os sistemas híbridos são aqueles que produzem energia elétrica em simultâneo com outra fonte eletroprodutora. Apresentam várias fontes de geração de energia como, por exemplo, turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos, entre outras. A utilização de várias formas de geração de energia elétrica aumenta a complexidade do sistema.

Nestes sistemas temos o mesmo princípio de funcionamento que o dos sistemas isolados, a única alteração é que o carregamento das baterias estacionárias é feito por mais do que um gerador. Em geral, os sistemas híbridos são empregados em sistemas de médio à grande porte destinado a atender um número maior de usuários.

### **Sistema interligado à rede**

Os sistemas interligados à rede utilizam um grande número de aerogeradores e não necessitam de sistemas de armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente à rede elétrica. Neste caso, a maioria dos aerogeradores são os de alta tensão, só uma minoria da totalidade de aerogeradores instalados para este fim é deste tipo, pois a potência injetada na rede é muito menor que um aerogerador de alta tensão. É este o sistema utilizado nas fazendas eólicas, aquelas para geração de energia de grande porte, para consumo de uma cidade, por exemplo.

### **Projeto Petrobrás: Aerogeradores construídos de materiais recicláveis e de pequeno porte**

Visando utilizar a energia eólica, abundante, inesgotável e limpa, nós como grupo pensamos em desenvolver um modelo simples de aerogerador, de pequeno porte, fácil manutenção, de baixo custo e que poderá ser utilizado em diversas áreas das cidades. Tomando como ponto de partida e de estudo a cidade de Macaé, Rio de Janeiro, pensamos em utilizar vários dos nossos aerogeradores pelo perímetro das praias da cidade, onde poderiam ser utilizadas como fontes de energia para iluminação de algumas escolas de surfe, barracas de vendas, posto de vigilância do corpo de bombeiro, entre outros locais.

Seguindo a linha de pensamento do nosso projeto, os aerogeradores que estiverem anexados

a esses locais poderiam carregar uma bateria e/ou acender algumas lâmpadas durante o dia, onde o vento possui maior intensidade. Durante o período da noite poderia ser utilizada a energia presente nas baterias para a iluminação.

A construção do nosso modelo de aerogerador tem uma ideia bem simples como base, utilizar materiais recicláveis para sua construção, diminuindo seu custo e ajudando na preservação do meio ambiente.

## Modelo

Os aerogeradores são construídos de eixo vertical, que hoje em dia possui uma maior eficiência em ventos não constantes, como é habitual na região. O protótipo terá os seguintes aspectos, será composto de três pás, com formato de calhas, que ficarão defasadas pelo ângulo de  $120^\circ$  uma das outras, sendo estas presas a duas placas de madeira de 11 milímetros de espessura, com 30 cm de diâmetro e um furo central de 3 cm de diâmetro para ser fixo ao eixo vertical ao centro. O eixo vertical, de alumínio, mede 65 cm de altura e diâmetro de 3 cm. Este, por sua vez, está conectado à base do aerogerador por um rolamento de 60 cm de diâmetro externo e 3,2 cm de diâmetro interno que permite o movimento circular do protótipo, o eixo também está conectado a um rolamento com as mesmas características do anterior, porém fixo na viga de sustentação no topo do aerogerador. A viga de sustentação no topo possui 36 cm de comprimento, 22 cm de largura e 18 milímetros de espessura. O apoio da viga de sustentação do topo é feita por duas placas de madeira com 64 cm de comprimento, 22 cm de largura e 18 milímetros. Fixa base se encontrará uma placa redonda com 30 cm de diâmetro com furo ao centro com 6 cm de diâmetro para acoplamento do rolamento da base. A base possui 36 cm de comprimento, 22 cm de largura e 18 milímetros de espessura. A bobina principal responsável pela conversão da energia mecânica em elétrica ficaria fixa nesta mesma placa redonda na base. Acoplado à base das pás ficarão ímãs ou bobinas secundárias (ligadas), para cortar as linhas do campo magnético da bobina principal, convertendo assim a energia mecânica do movimento do vento em energia elétrica.



Figuras 5 e 6 - Ângulos diferentes do aerogerador reciclável construído

Optamos pela utilização de um sistema isolado. Tendo em vista que a ideia inicial do projeto é utilizar a energia eólica na área da praia da cidade para abastecer o consumo de energia em alguns quiosques, escolas de surfe e posto do corpo de bombeiros, acreditamos esta ser a melhor opção. Esse sistema também possibilitaria o armazenamento de energia em uma bateria, assim podendo ser utilizada em dias de pouco vento, não permitindo uma queda de energia indesejável.

## Materiais

Para a construção das pás utilizamos calhas de alumínio, cano através do qual as águas dos telhados escoam e que são utilizadas nas residências. O material foi obtido durante a demolição de uma das partes de uma residência.

Para construção da carcaça do aerogerador e da base das pás, foi utilizada madeira compensada, obtida pelo descarte de um móvel residencial, pois estava danificado.

Para o eixo do aerogerador foi utilizado uma haste de alumínio obtida pelo descarte de uma vara de sustentação de cortinas, pois estava amassada em uma das extremidades.

Para a parte mecânica responsável por proporcionar o movimento circular do aerogerador, foram obtidos os dois rolamento idênticos que eram usados para mover a o braço mecânico de uma retroescavadeira. Essa parte foi descartada, pois o dono desse material não possuía utilidade para os mesmo, uma vez que a retroescavadeira estava com defeito e seria descartada.

Para fixar as partes de madeira do aerogerador foram utilizados parafusos pequenos para fixar as pás, médios para fixar a base à placa redonda de madeira da base e parafusos grandes para fixar as placas retangulares que sustentam todo o aerogerador.

## Métodos

### Concepção do projeto

O primeiro passo foi “concepção do projeto”, após isso ocorreu a escolha do melhor formato para o aerogerador. O escolhido foi o modelo de eixo vertical por causa das suas propriedades já descritas anteriormente e, após essa primeira análise, concluímos que o modelo de eixo vertical Savonius seria a melhor escolha por exigir menor esforço, devido a sua ampla variedade de materiais para a sua construção. Após essa etapa, julgamos que o uso de um modelo de tripás seria mais viável para o nosso projeto. Essa decisão se baseou na falta de material disponível e menor peso do aerogerador. O último passo foi analisar quais materiais estariam disponíveis mais facilmente e em maior quantidade e assim foram feitas as seguintes escolhas para a construção:

Carcaça do aerogerador e Placas de sustentação das pás (Madeira) - Existe em grande abundância, é leve e resistente e não possui muitas etapas para tornar o material descartável adequado para ser reutilizado.

Eixo central (Metal) - Possui resistência mecânica alta e pode suportar uma quantidade considerável de peso. O alumínio foi escolhido, pois é o material

mais leve e resistente que poderíamos encontrar com facilidade.

Fixadores - Foram divididos em parafusos e soldas. Foram utilizados 12 parafusos pequenos, 6 médios e 4 grandes. As soldas foram feitas por um profissional, mas não obtivemos as especificações sobre as mesmas, pois foram feitas de forma rústica pelo soldador.

Rolamento - Foi a única parte do projeto que não conseguimos analisar previamente, pois dependíamos da disponibilidade desse material.

## Coleta de material

Com o primeiro passo, que foi a concepção do modelo do aerogerador, começamos a segunda etapa que descrevemos como “coleta de material”. Essa parte foi delegada ao membro Yago Ferreira Bellico, que recolheu o material nos bairros próximos à sua residência localizada no bairro Virgem Santa, Macaé, Rio de Janeiro. O membro Yago recolheu os materiais com a boa vontade dos moradores desses bairros, pois eles cederam aquilo que seria descartado de forma irregular ao nosso grupo quando tomaram conhecimento do nosso projeto. Foram coletados os seguintes materiais respectivamente:

- Móvel residencial (Cômuda);
- Calhas de Alumínio (Calhas residenciais);
- Cano de Alumínio (Suporte de cortina);
- Rolamentos (Rolamento de retroescavadeiras)
- Parafusos (Parafusos reutilizados da cômuda)

## Análise das Medidas

Nessa etapa foi feita apenas medidas e comparações das medidas do projeto inicial. Mudamos apenas o tamanho do projeto inicial, reduzindo-o devido ao tamanho das pás, pois nós não tínhamos material abundante e assim não possuíamos a quantidade necessária para o tamanho pensado inicialmente.

## Processos de reaproveitamento material

Como os materiais já tinham sido utilizados, eles foram desgastados com o tempo e possuíam várias imperfeições, para poder reutilizar esses materiais foram feitos alguns processos, listados a seguir.

Madeira: cortes para obter os formatos desejados e eliminar as partes defeituosas. Posteriormente a madeira foi lixada para retirar algumas imperfeições e definir melhor as curvas e os furos. Calhas de alumínio: Apenas a limpeza do material. Cano de alumínio: Limpeza e corte da parte defeituosa. Rolamentos: os rolamentos

estavam em bom estado e só possuíam alguns arranhões em seu furo interno, por isso só foi feita uma limpeza e adição de óleo lubrificante para melhorar sua rotação. Parafusos: eles estavam em ótimo estado de conservação, podemos julgar que deveriam ser novos e que tinha sido instalados recentemente na cômoda. Apenas 3 parafusos estavam enferrujados, porém nada que danificasse o material, apenas modificaram sua cor, mesmo assim colocamos óleo lubrificante com propriedades para remover ferrugem.

## Construção

A construção nos demandou um maior tempo em relação às outras etapas. Encontramos muitos empecilhos para a construção, como falta do correto maquinário para fazer os furos nos diâmetros adequados, para furar e cortar o cano de alumínio e soldar as partes metálicas. Durante a construção observamos que no modelo inicial havia um erro, que era o fato de o cano de alumínio não conseguir suportar a força oferecida pelo peso das pás e dos suportes das pás, pois no modelo inicial o cano de alumínio ficaria preso apenas por uma das suas extremidades na base e suas pás ficariam suspensas por 6 hastes de madeira que se prolongariam do eixo central até as pás, por isso as pás ficariam muito afastadas e fariam uma força muito grande sobre o eixo central. Com a mudança do projeto, nós colocamos uma carcaça externa e as pás para o centro do aerogerador, assim conseguimos diminuir a força sobre o eixo e fizemos um suporte superior com rolamento instalado nele para amenizar ainda mais a força sobre o eixo central.

Chegamos então ao formato atual de 3 pás defasadas em 120° instaladas no centro do aerogerador sustentadas por 2 rolamentos presos as extremidades do eixo central, como uma carcaça externa de madeira para sustentar todos os componentes.

## Resultados

O desenvolvimento do projeto nos proporcionou os seguintes resultados sobre o aerogerador construído:

### Velocidade

- Velocidade com vento fraco - quase não houve movimento e o medidor não apresentou leitura.

- Velocidade com o vento moderado - 2,9 km/h a 3,7 km/h
- Velocidade com o vento forte – 7,2 km/h a 13,1 km/h
- Velocidade com o vento forte e constante - 10 km/h a 17 km/h
- \* Utilizando o medidor de velocidade (BUSHNELL VELOCITY SPEED GUN 101911)

## Peso e Resistência

- Peso do aerogerador igual a 6,34 kg
- O projeto possui uma carcaça rígida que facilita o seu descolamento para o local onde se deseja instalado.

A parte elétrica do aerogerador não pode ser de material reciclado, então não conseguimos achar soluções viáveis para substituir. Foram testadas as bobinas e os estatores de ventiladores de teto para tentar substituir as bobinas recicláveis, mas elas não possuem características de reversibilidades magnéticas para serem utilizadas com geradores de eletricidade.

## Conclusão

Dessa forma percebe-se que não é de hoje que se usam aerogeradores. Havendo controvérsias sobre seus primeiros surgimentos, mas nota-se que há relatos de seus modelos rústicos anteriormente a Cristo. Mas só foi usado para fins energéticos no final do século de 1800. A fim de se obter energia eólica proveniente do vento, fonte que move os cata-ventos, como são conhecidos popularmente. O vento necessário provém do aquecimento irregular do sol na Terra, assim formando massas de ar quente e frio, que tendem ir dos trópicos aos polos e dos polos aos trópicos formando os ventos, que podem ser constantes o ano inteiro dependendo do lugar, mas também dependem do relevo, umidade, temperatura, construções dentre outros.

Os aerogeradores são constituídos principalmente de um rotor para retirar energia cinética do vento e converter em energia mecânica para o gerador transformá-la em eletricidade, com isso precisa-se de ventos constante, sendo assim uma fonte de energia, chamada limpa por não poluir. Quando essa energia não é usada diretamente, usam-se baterias para armazenar a energia gerada, mas quando os aerogeradores são ligados diretamente à rede não é necessário armazenamento, pois toda energia gerada é entregue à rede, porém quando os ventos diminuem gerando menos energia, pode haver falha na geração de eletricidade para a rede.

Portanto, nosso projeto foi construir aerogeradores feitos de material reciclável que ajudassem na geração de energia limpa, tendo como base a cidade de Macaé (RJ), em que vivemos, a qual tem condições favoráveis para implementar esse tipo de energia alternativa, mas infelizmente não o faz. A ideia era fazer um aerogerador reciclável diminuindo seu custo e ajudando na preservação do meio ambiente, que poderia alimentar uma lâmpada e/ou armazenar em uma bateria. Sendo eles constituídos de um eixo vertical e três pás, que seria o apropriado para a região onde os ventos não são constantes, além de dois rolamentos presos ao eixo central.

Sendo assim o resultado final foi que não conseguimos viabilizar o funcionamento do aerogerador reciclável devido à falta de recursos viáveis, pois a parte elétrica não pôde ser de material reciclável, como por exemplo os estatores e as bobinas que foram testados de ventiladores de teto, porém não sendo funcional por não terem capacidade de reversibilidades magnéticas.

## Referências

ABBOT, J. H. ; DOENHOFF, V. Theory of Wing Suctions. 2nd. edition. Dover Publications Inc, 1959.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, "Energia Eólica". Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 1. ed. Brasília, 2002.

ALDABÓ, Ricardo. Energia Eólica. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2002.

CARVALHO, P. Geração Eólica. Fortaleza, CE: Imprensa Universitária, 2003. ISBN 85-7485-039-X.

CEPE. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Rio de Janeiro, RJ: Ed. CEPEL, 2001.

CHESF-BRASCEP. Fontes Energéticas Brasileiras, Inventário/Tecnologia. Energia Eólica. V.1 De cata-ventos a aerogeradores: o uso do vento. Rio de Janeiro, 1987.

CONGRESSO DE ENGENHARIA MECÂNICA NORTE-NORDESTE. Belém, PA, Brasil.

EGGLESTON, D. M. ; STODDARD, F. S. Wind Turbine Engineering Design. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1987.

MESQUITA, A. L. A., SILVA, O. F. e QUINTANA, F. L. P. Uma Metodologia para Projeto de Rotores Eólicos de Eixo Horizontal. III Congresso de Engenharia Mecânica Norte-Nordeste, Belém, Pará, Brasil, 1994.