

Jurandir Primo

*Energia Eólica
Sistemas & Aplicação*

*Jurandir Primo
Copyright @ 2019
1ª edição – janeiro de 2020*

Capa: Jurandir Primo – Sorocaba/SP

Primotech - Engineering Manuals

Primo, Jurandir

Energia, Vento, Sistemas Industriais;

*Índice para pesquisas: Energia, Vento, Automação,
Sistemas Industriais.*

ISBN:

Livro no sistema de auto-publicação cuja edição, revisão, diagramação e capa foram selecionadas pelo próprio autor, para diminuir custos e facilitar a todos os interessados em engenharia e tecnologia.

O autor permite que todas as partes do livro possam ser copiadas ou reproduzidas para fundamentos educacionais, instrutivos e treinamento técnico.

Para adquirir esta ou outras publicações do autor, enviar solicitação para:

primotechcourses@hotmail.com

Energia Eólica Sistemas & Aplicação



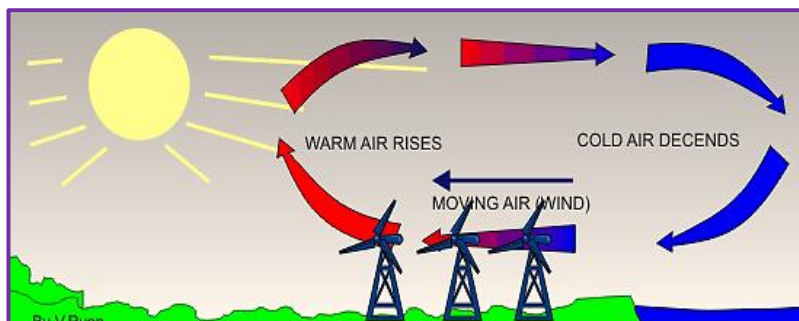
**ENERGIA EÓLICA
SISTEMAS & APLICAÇÃO**

INDICE:

- I. INTRODUÇÃO**
- II. LINHA DO TEMPO DA ENERGIA EÓLICA**
- III. TIPOS DE TURBINAS EÓLICAS**
- IV. PÁS DE TURBINAS EÓLICAS**
- V. GERADORES DE TURBINAS EÓLICAS**
- VI. COMPONENTES DE TURBINAS EÓLICAS**
- VII. PROJETO DE UMA TURBINA EÓLICA**
- VIII. INSTALAÇÕES DE TURBINAS EÓLICAS**
- IX. PARQUES EÓLICOS OFFSHORE**
- X. FUNDAÇÕES DE TURBINAS EÓLICAS**
- XI. TORRES DE TURBINAS EÓLICAS**
- XII. QUESTÕES AMBIENTAIS E SOCIAIS**
- XIII. LINKS AND REFERENCIAS**

I. INTRODUÇÃO:

Normalmente, o vento começa com a radiação solar, que é absorvida de forma diferente na superfície da Terra. A superfície da Terra é aquecida de forma diferente por causa de montanhas, vales, água, vegetação e terras do deserto. Durante o dia, o ar acima da terra aquece mais rapidamente do que o ar sobre a água. O ar quente se expande, sobe e o ar mais pesado e frio toma seu lugar, criando o vento. Sobre o mar o ar aquece mais lentamente, à medida que o calor ensolarado é lentamente resfriado pela água fria, e o ar frio sobre o mar é transformado em uma brisa fresca ou vento. À noite, os ventos são invertidos porque o ar esfria mais rapidamente sobre a terra do que sobre a água.



Ao longo da história, as pessoas têm se aproveitado do poder do vento, usado desde os tempos antigos em moinhos de vento, para bombear água ou moer farinha. Navios a vela têm sido usados para viajar ao longo e através de rios, mares e lagos. Por exemplo, desde os tempos antigos, marinheiros asiáticos e europeus sempre usavam navios ao longo da Ásia e Europa para navegar até a América do Norte, através do uso da energia eólica. É difícil pensar em um tempo em que as pessoas não fizeram grande uso do poder do vento.

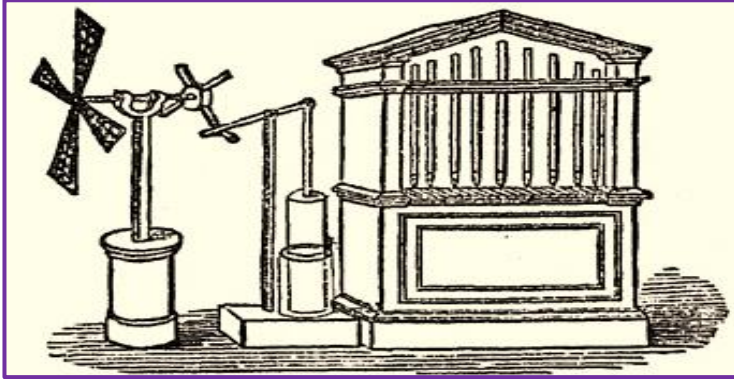
Por mais de dois milênios, máquinas eólicas têm grãos moídos e água bombeada em regiões áridas, como o centro-oeste americano ou o interior australiano, e fornecem recursos técnicos para os motores a vapor. Com o desenvolvimento da energia elétrica, a energia eólica encontrou novas aplicações em energia gerada centralmente. Ao longo do século XX, foram desenvolvidas pequenas usinas eólicas nas fazendas, com geradores conectados a redes elétricas. Hoje, os geradores movidos à energia eólica têm muitas faixas de tamanho, tanto para pequenas usinas para carregamento de baterias em residências isoladas, como para parques eólicos offshore com fornecimento de quase Giga watts que fornecem eletricidade em grandes redes elétricas de muitos países.



II. ENERGIA EÓLICA AO LONGO DO TEMPO:

Antiguidade: Desde tempos antigos desconhecidos, barcos a vela e veleiros têm usado energia eólica. A roda de vento do construtor grego Heron de Alexandria, no século I D.C., é o mais antigo exemplo conhecido de uma roda movida pelo vento para alimentar uma máquina. As lâminas do moinho de vento foram presas a um eixo para conduzir um conjunto de pistões, para cima e para baixo, e fornecer energia a um ór-

ção musical. Outras versões também foram usadas para bombear água para irrigação simples de terras agrícolas e fornecimento de água potável. Dispositivos semelhantes ainda podem ser vistos em Chipre e nas ilhas gregas ainda hoje.



Energia Eólica de Heron de Alexandria

Idade Média: O uso de moinhos de vento tornou-se uso generalizado em todo o Oriente Médio e Ásia Central, e mais tarde se espalhou para a China e Índia. Por volta de 1000 D.C., moinhos de vento eram usados para bombear água do mar para fabricação de sal na China e na Sicília. Moinhos de vento verticais foram mais tarde usados extensivamente no noroeste da Europa para moer farinha, começando na década de 1180. A primeira referência verdadeira data de 1185, em Weedley, Yorkshire. Na Inglaterra medieval, a energia eólica era um recurso importante, pois os moinhos de vento, ao contrário das usinas de água, não eram inoperáveis pelo congelamento da água no inverno. A partir do século XIV, os moinhos de vento holandeses começaram a ser usados para drenar as áreas do delta do rio Reno.

Século XVI: Conforme pesquisadores, o primeiro moinho de vento foi construído em 1582, para a produção de óleos vege-

tais. “*A luta contra moinhos de vento*”. Assim, começa o capítulo VIII de Dom Quixote, o histórico e famoso livro de Miguel de Cervantes (1547 – 1616), que também mostra uma época em que os moinhos de vento logo se tornaram parte da paisagem europeia. A luta “*contra moinhos de vento*” foi uma expressão usada por Miguel de Cervantes e que, ao longo do tempo, acabou se tornando um termo universal, usado até hoje para descrever situações onde se cria uma percepção errada de um adversário ou de um cenário.

Século XIX: Ao longo de 1800, a tecnologia dos moinhos de vento evoluiu lentamente. No final do século XIX, aproximadamente 9000 moinhos de vento existiam em pleno funcionamento na Holanda, cerca de 3.000 na Bélgica, 10.000 na Inglaterra e cerca de 650 na França. As usinas eólicas eram usadas principalmente para moagem de grãos e, ocasionalmente, para bombear e drenar água. Na Espanha, um registro de terras do século XIX, cujo proprietário era o Marquês de la Ensenada, mostra 34 moinhos de vento existentes na época.



Moinhos de vento verticais de Campo de Criptana, Espanha.

Os Países Baixos são bem conhecidos por seus moinhos de vento. Até o ano 1400, as condições de vida na Holanda estavam longe do ideal. O país consistia de pântanos, lagos e ilhas separadas do mar por um cinturão de dunas. Então foram construídas defesas marítimas e barragens para afastar a água do mar da terra seca, e moinhos de vento foram usados para drenar lagos, rios e pântanos. A quantidade de moinhos de vento na Holanda atingiu um pico no século XIX, com cerca de 9.000 moinhos de vento funcionando, realizando todos os tipos de funções industriais.

Nos Estados Unidos, em 1854 em Connecticut, um jovem mecânico chamado Daniel Halladay foi convencido por um vendedor viajante a fazer moinhos de vento para bombear água e outros usos. Mesmo cético, ele continuou com essa ideia, e construiu seu primeiro moinho de vento, feito de "velas" de madeira, que poderia ser transportado em seções e montado no local. Com a aprovação dessa ideia, ele logo se mudou para Illinois para estar perto de um mercado em crescimento. Os moinhos de vento Halladay tornaram-se padrões muito populares, e vendeu milhares de suas construções. Em 1886, Thomas Perry projetou um moinho de vento mais aerodinâmico com lâminas curvas de aço, ainda usado até hoje.

Os primeiros moinhos tinham quatro pás de madeira em forma de remo, com finas ripas pregadas em aros de madeira. A maioria dessas usinas tinha caudas para orientação do vento, mas algumas operavam sem muita tecnologia. O controle de velocidade de alguns modelos foi fornecido com lâminas com dobradiças, de modo que se dobravam para trás como um guarda-chuva em ventos fortes, uma ação que reduziu a área de captura do rotor para reduzir o impulso. O refinamento mais importante dos moinhos de vento americano foi o desenvolvimento de pás de aço mais leves e com aerodinâmicas

mais eficientes, em 1870. Essas pás funcionaram tão bem que a alta velocidade exigiu uma engrenagem de redução (mais lenta) para girar as bombas recíprocas padrão na velocidade necessária.



Entre 1870 e 1950, mais de seis milhões de pequenas usinas eólicas foram instaladas nos EUA. O uso primário foi o bombeamento de água e as principais aplicações foram para fornecer água aos animais e as necessidades de água nas casas das fazendas. Moinhos de vento muito grandes, com rotores de até 18 metros de diâmetro, também foram usados para bombear água para os trens ferroviários a vapor, que forneciam a principal fonte de transporte comercial em áreas onde não havia rios navegáveis.

Bombas eólicas também foram usadas extensivamente no sul da África, Austrália, em fazendas nas planícies centrais e no sudoeste dos Estados Unidos, usados principalmente para fornecer água para uso humano, bem como água potável para grandes estoques de gado e ovelhas. Na África do Sul e na Namíbia milhares de bombas de vento ainda operam até hoje.

Nos Países Baixos, o "tjasker" é um moinho de drenagem, com pás comuns conectadas a um parafuso de Arquimedes, para bombear água em áreas onde apenas um pequeno elevador de rosca é necessário. Para drenar a água, um parafuso de Arquimedes levanta água em um anel coletor, onde é arrastado para uma vala em um nível mais alto.



Um tjasker

Geração de Eletricidade: Conforme pesquisadores, o primeiro moinho de vento usado para a produção de **eletricidade** foi construído na Escócia em 1887 por James Blyth, do Anderson's College, instalado em Marykirk, para a iluminação de sua casa, usando acumuladores de carga desenvolvidos pela empresa francesa Camille Alphonse Faure, tornando-a a primeira casa do mundo a ter sua eletricidade fornecida por energia eólica. Nos EUA, o primeiro grande moinho de vento para **gerar eletricidade** foi um sistema construído em Cleveland, Ohio, em 1888 por Charles F. Brush. A máquina de Brush era um moinho tipo poste com um rotor de várias lâminas de 17 metros de diâmetro, com uma grande cauda articulada para girar o rotor e diminuir a seção devido a força do

vento. Foi o primeiro moinho de vento a incorporar uma caixa de câmbio (com uma proporção de 50:1), a fim de funcionar um gerador de corrente elétrica direta em sua velocidade operacional necessária (~500 RPM).

Em 1890, Poul la Cour, um educador dinamarquês e o Askov Folk High School, se envolveram com novas ideias de **eletrificação**, que por causa da baixa eficiência dos moinhos de vento, tinham tido conclusões negativas, para produzir energia elétrica. Então, La Cour incorporou os princípios de design aerodinâmico (baixa solidez, rotores de quatro lâminas incorporando as formas primitivas do aerofólio) usados nas melhores usinas de vento europeias. Em 1891, ele recebeu apoio financeiro do governo dinamarquês, e o primeiro moinho de vento experimental foi erguido no verão de 1891, com um poder constante de um gerador de eletricidade D.C.

Corrente Elétrica D.C e A.C: Nos Estados Unidos, ainda durante a “luta” entre “*corrente contínua*” (D.C) de Thomas Edison e “*corrente alternada*” de Nikola Tesla (A.C), em 15 de setembro de 1878, um grupo de repórteres de Nova York viajou ao laboratório de Thomas Edison em Menlo Park, Nova Jersey, para ouvir seu anúncio mais surpreendente até o momento. Quando as primeiras luzes elétricas geradas por um sistema de corrente contínua (D.C) lançaram seu brilho dourado sobre o Menlo Park na véspera de Ano Novo, em 1880, uma multidão de 3.000 pessoas se reuniu na avenida para ver a “*luz elétrica e o efeito da eletricidade*”. Edison foi considerado “*divino, porque podia manipular o relâmpago, e desafiar a ordem Divina*”. Em poucos meses, disse Edison, a iluminação por luz de gás seria obsoleta.

Em 4 de setembro de **1882**, Edison começou a **primeira usina de energia elétrica** da América, servindo uma área de 1

milha quadrada que incluía alguns clientes muito ricos e importantes, como, J.P. Morgan, que forneceu capital para o desenvolvimento do "*relâmpago*", da bolsa de valores e dos maiores jornais do país. Nos meses seguintes, Edison e sua equipe enfrentaram o difícil trabalho de projetar e produzir, à mão, os **componentes** necessários para um sistema elétrico viável, que são: tomadas, fusíveis, interruptores, medidores de energia e geradores.

Até **1890**, a corrente direta (D.C) dominava. Naquela época, havia 121 usinas de Thomas Edison espalhadas pelos Estados Unidos entregando eletricidade D.C a seus clientes. Mas a D.C tinha uma grande **limitação**, ou seja, as usinas só podiam enviar eletricidade D.C cerca de **uma milha**, depois daí a eletricidade começava a perder potência. No entanto, naquela época, Edison se envolveu na "*batalha das correntes*". O industrial George Westinghouse e um ex-funcionário de Edison, **Nikola Tesla**, inventaram **motores e geradores de corrente alternada (A.C)** e desenvolveram um sistema de longo alcance de alta tensão em A.C, que ameaçava o domínio de Edison na indústria elétrica.

Em 1893, a empresa de Edson, a **General Electric**, fez uma proposta para eletrificar a Feira Mundial de Chicago com **corrente contínua** (D.C) por US\$ 554.000, mas perdeu para George Westinghouse, que afirmou que poderia alimentar a feira por apenas US\$ 399.000 usando a **corrente alternada** (A.C) de **Tesla**. No mesmo ano, a Niagara Falls Power Company decidiu conceder à Westinghouse, o contrato para gerar energia a partir das Cataratas do Niágara, utilizando a patente do **motor de indução polifase A.C** de Tesla. Em 16 de novembro de **1896**, a cidade de Buffalo, no norte dos Estados Unidos, foi iluminada pela **corrente alternada** gerada pelas Cataratas do Niágara. Mais tarde, vencidos e convencidos, Edison

e a General Electric decidiram também pular no trem da corrente alternada. Este foi o fim da "*batalha das correntes*". A Westinghouse e o A.C de Nikola Tesla AC prevaleceram.

Baterias: São dispositivos que convertem **energia química em energia elétrica**. Cada bateria tem **dois** eletrodos; um ânodo (extremidade positiva) e um cátodo (extremidade negativa). Um circuito elétrico corre entre esses dois eletrodos, passando por um meio químico chamado **eletrólito** (que pode ser líquido ou sólido). Esta unidade composta por dois eletrodos é chamada de **célula** (também chamada de célula voltaica ou pilha). As baterias são usadas para alimentar muitos dispositivos e fazer a faísca que liga um motor a gasolina.

Alessandro Volta (1745 – 1827) foi um físico italiano que **inventou** a primeira bateria química em 1800. Mais tarde, em 1859, o físico francês Gaston Plante (1834-1889) inventou a primeira **bateria de armazenamento**, feita de duas placas de chumbo unidas por um fio e imersa em um eletrólito de ácido sulfúrico. As baterias de armazenamento de chumbo são as baterias usadas em veículos, que podem ser recarregadas.

A **célula** de Leclanché foi desenvolvida em 1866 por Georges Leclanché (1839 – 1882) da França, que continha uma solução condutora (eletrólito) de cloreto de amônio, um cátodo de carbono (terminal positivo) um despolarizador de dióxido de manganês, e um ânodo de zinco (terminal negativo) que fornecia uma tensão de **1,4 volts**. Esta célula obteve muito sucesso em telegrafia, sinalização e campanha elétrica.

A **célula seca** foi desenvolvida em 1886, pelo cientista alemão Carl Gassner (1855 – 1942). É um tipo de célula química-elétrica, comumente usada hoje em dia, para muitos dispositivos domésticos e portáteis, na maioria das vezes na forma de

baterias. A célula seca utiliza uma pasta de eletrólito, com umidade suficiente para permitir que a corrente elétrica flua e, ao contrário da célula molhada, pode operar em qualquer posição sem derramar, pois não contém líquido livre, tornando-o adequado para equipamentos portáteis.

O inventor sueco Waldemar Jungner (1869 – 1924) inventou a **bateria de níquel-cádmio** em 1899, substituindo o ferro pelo cádmio em diferentes proporções. Thomas Edison também inventou as **baterias Ni-Fe** em 1901, e ofereceu-a como fonte de energia para veículos elétricos, para a Detroit Electric e a Baker Electric, quando ele alegou que o design de níquel-ferro era "*muito superior às baterias usando placas de chumbo e ácido*", e desenvolveu várias patentes. As baterias Edison (também chamadas de **baterias alcalinas**) são um tipo melhorado de baterias de armazenamento, com um eletrólito alcalino, não chumbo-ácido.

Geradores: São dispositivos e máquinas que convertem **energia mecânica em energia elétrica**. O princípio operacional dos geradores eletromagnéticos foi descoberto nos anos de 1831-1832 por Michael Faraday, mais tarde chamado de **lei de Faraday**, que significa que quando uma força eletromotiva é gerada em um condutor elétrico, essa força circunda um fluxo magnético variado.

O **dinamo** foi originalmente desenvolvido pelo húngaro Anyos Jedlik (1800 – 1895), que começou em 1827 experimentando dispositivos rotativos eletromagnéticos, que ele chamou de auto-rotadores eletromagnéticos. No entanto, ele não falou sobre sua invenção mais importante, seu protótipo **dinamo**, até 1856; e foi só em 1861 que ele mencionou por escrito em uma lista de inventário da universidade. O dinamo usa indução eletromagnética para converter rotação mecânica em corrente