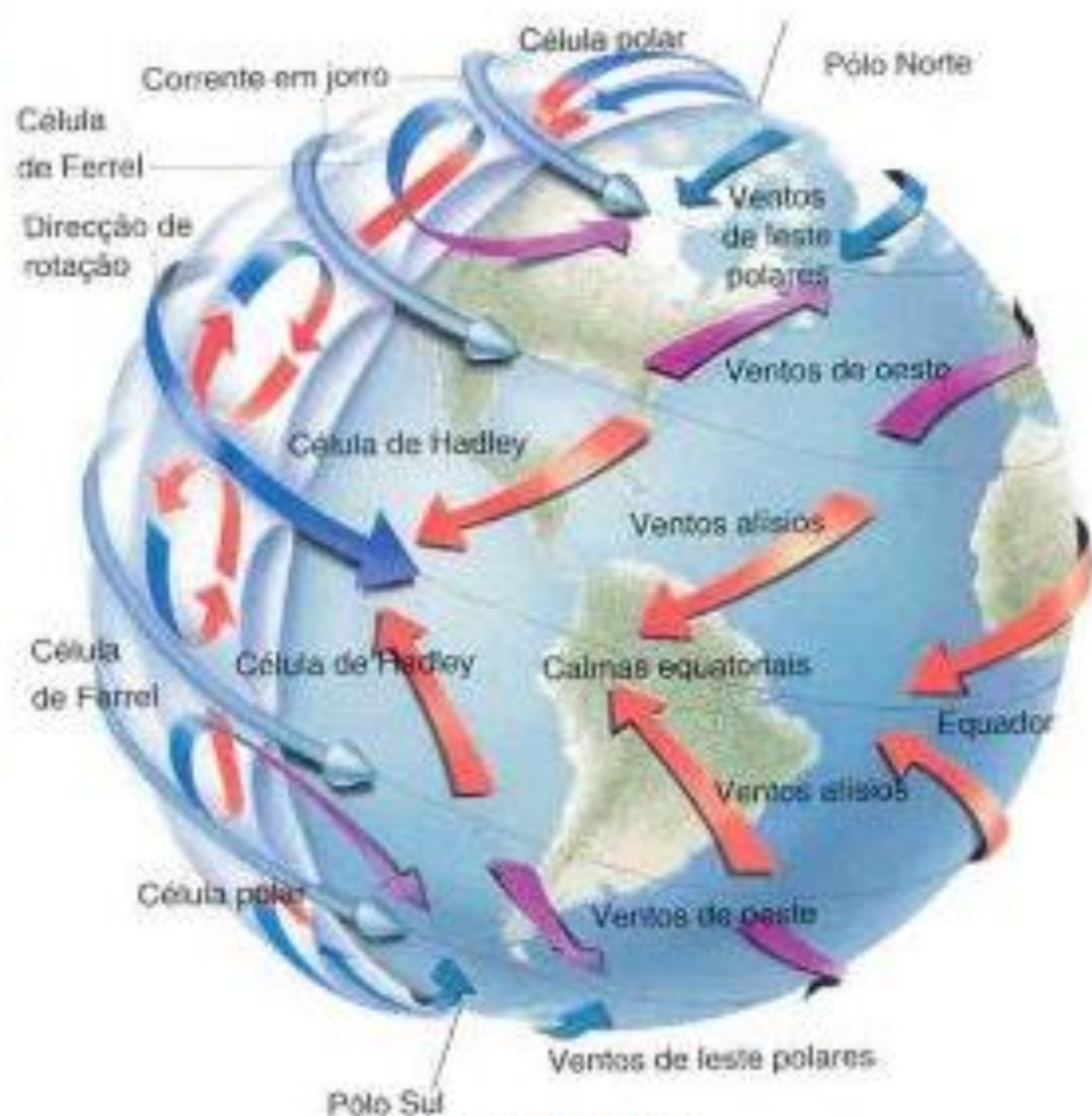


1. O que é a energia eólica?

A energia eólica tem origem na energia solar. É uma forma de energia cinética produzida pelo aquecimento diferenciado das camadas de ar, originando uma variação da massa específica e gradientes de pressão. Além disso, também é influenciada pelo movimento de rotação da Terra sobre o seu eixo e depende significativamente de influências naturais, como: continentalidade, maritimidade, latitude, altitude. As formas de aproveitamento dessa energia estão associadas à conversão da mesma em energia mecânica e elétrica.



Fonte Imagem:

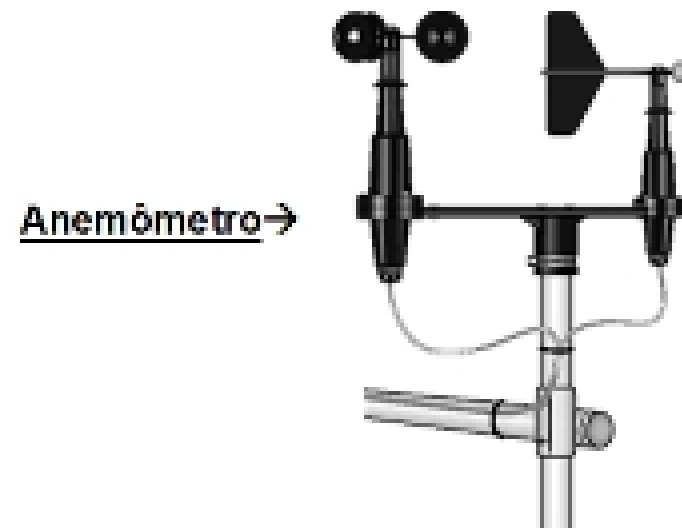
<http://web.rcts.pt/~pr1085/Vento/Vento.htm>

2. Como é medida a energia dos ventos?

A energia eólica é medida utilizando sensores de velocidade e direção do vento. Os dados são armazenados num sistema de aquisição de dados (datalogger). Em geral, a velocidade do vento é medida em m/s (metros/segundo), podendo ainda ser medida em outras unidades, tais como nós e km/h. O principal resultado a ser obtido é a velocidade média do vento, mas é importante conhecer também a velocidade máxima, intensidade de turbulência, além da distribuição estatística das velocidades. Junto com o sensor de velocidade são utilizados os sensores de direção, registrando a predominância dos ventos.



← Datalogger



Anemômetro →

← Sensor de Direção

3. A velocidade do vento no Brasil permite a utilização da energia eólica?

De forma geral, grande parte do litoral brasileiro apresenta velocidades de vento propícias ao aproveitamento de energia eólica em larga escala. O litoral das regiões Nordeste, Sul e o Norte do estado do Rio de Janeiro são considerados os mais apropriados para exploração dessa energia. Entretanto, existem áreas montanhosas no interior do país com um potencial eólico que pode ser bem aproveitado. Já a região Norte é a menos beneficiada em questão de ventos, sendo pouco utilizada para essa exploração. O potencial eólico brasileiro pode ser conhecido em caráter geral através de consultas aos Atlas Eólicos.



Fonte: www.cresesb.cepel.br/faq/faq_eolica.htm

4. A disponibilidade de energia eólica é constante ao longo do ano?

Geralmente não. Na prática, verifica-se que o recurso eólico apresenta variações temporais em várias ordens de grandeza: variações anuais (em função de alterações climáticas), variações sazonais (em função das diferentes estações do ano), variações diárias (causadas pelo micro clima local), variações horárias (brisa terrestre e marítima, por exemplo) e variações de curta duração (rajadas). A variação espacial da energia eólica também é muito grande.

A topografia e a rugosidade do solo também têm grande influência na distribuição de frequência de ocorrência dos ventos e de sua velocidade em um local.



5. Como varia a disponibilidade de energia eólica com a altura em relação à superfície da terra?

A quantidade de energia eólica extraível numa região depende das características de desempenho, altura de operação e espaçamento horizontal dos sistemas de conversão de energia eólica instalados.

Para qualquer fluido em movimento, a velocidade do fluxo aumenta na medida em que este se afasta das superfícies que o delimitam. Portanto, a velocidade do vento aumenta com a altura em relação à superfície da Terra, de forma dependente da rugosidade do terreno. Em terrenos planos (baixa rugosidade) esta variação é muito menos significativa do que em terrenos irregulares (alta rugosidade), sendo as áreas urbanas classificadas nesta segunda categoria. Por isso, as máquinas eólicas são geralmente instaladas em torres elevadas, onde as velocidades são significativamente maiores do que na superfície.



6. Este tipo de tecnologia é nova?

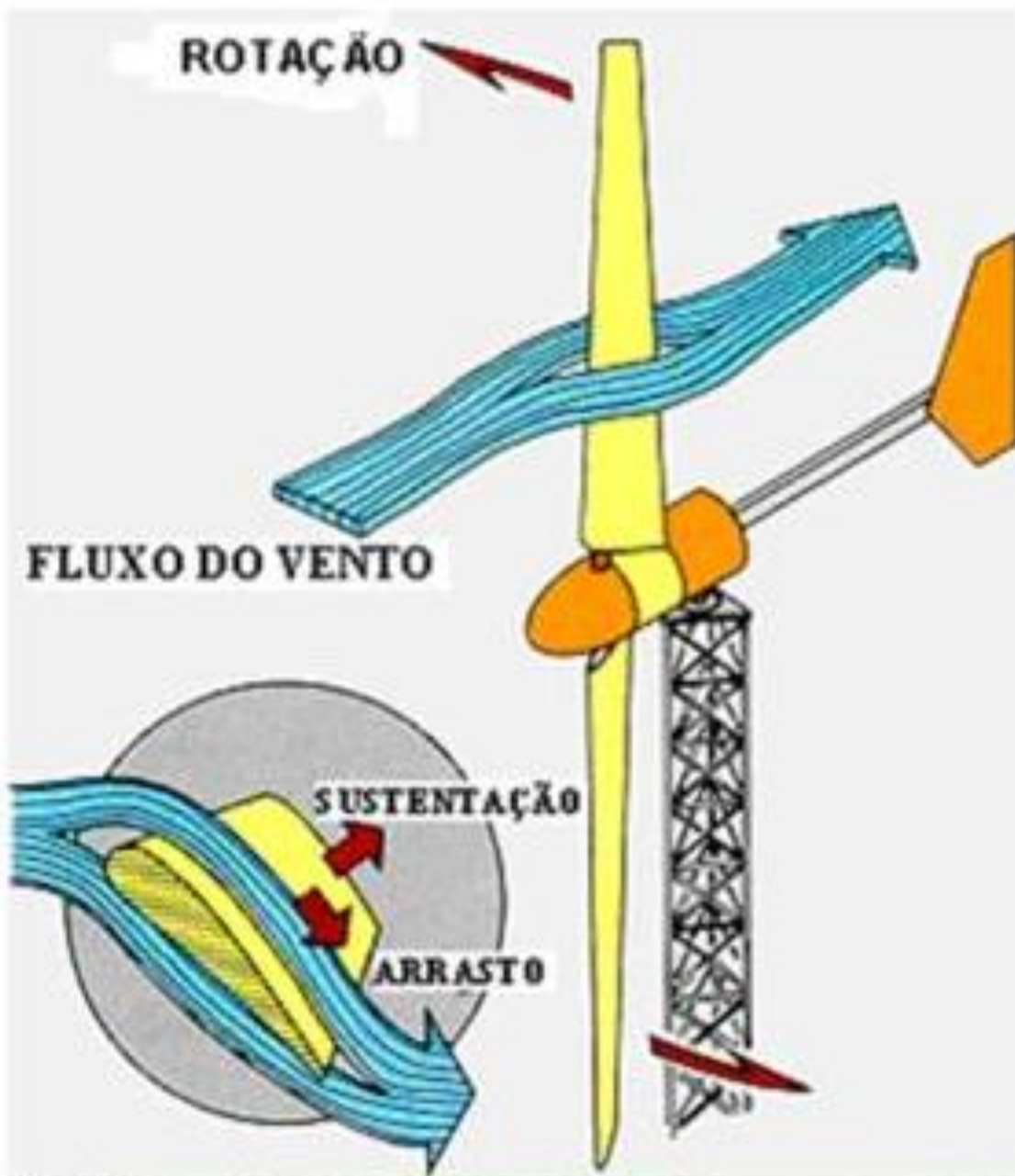
Não. Na verdade, as máquinas movidas pelo vento são utilizadas desde a Idade Antiga, e podem ser consideradas como um dos primeiros avanços tecnológicos da humanidade. O primeiro registro histórico de utilização da força motriz do vento para bombeamento de água e moagem de grãos através de cata-ventos remonta à Pérsia (atual Iraque/Irã), por volta do ano 200 a.C. As máquinas eólicas de pequeno porte para geração de energia elétrica (sistemas isolados) também têm sido usadas há cerca de 20 anos. A primeira máquina eólica de grande porte para geração de energia elétrica remonta à década de 1950.



<http://penacova.blogs.sapo.pt/tag/percursos>

7. Como funciona uma máquina eólica?

O funcionamento de uma turbina eólica envolve vários campos do conhecimento, incluindo meteorologia, aerodinâmica, eletricidade, controle, bem como a engenharia civil, mecânica e estrutural. O princípio de funcionamento baseia-se na conversão da energia cinética, (que é resultante do movimento de rotação causado pela incidência do vento nas pás do rotor da turbina) em energia elétrica. As pás das máquinas modernas são dispositivos aerodinâmicos com perfis especialmente desenvolvidos, equivalentes às asas dos aviões, e que funcionam pelo princípio físico da sustentação.



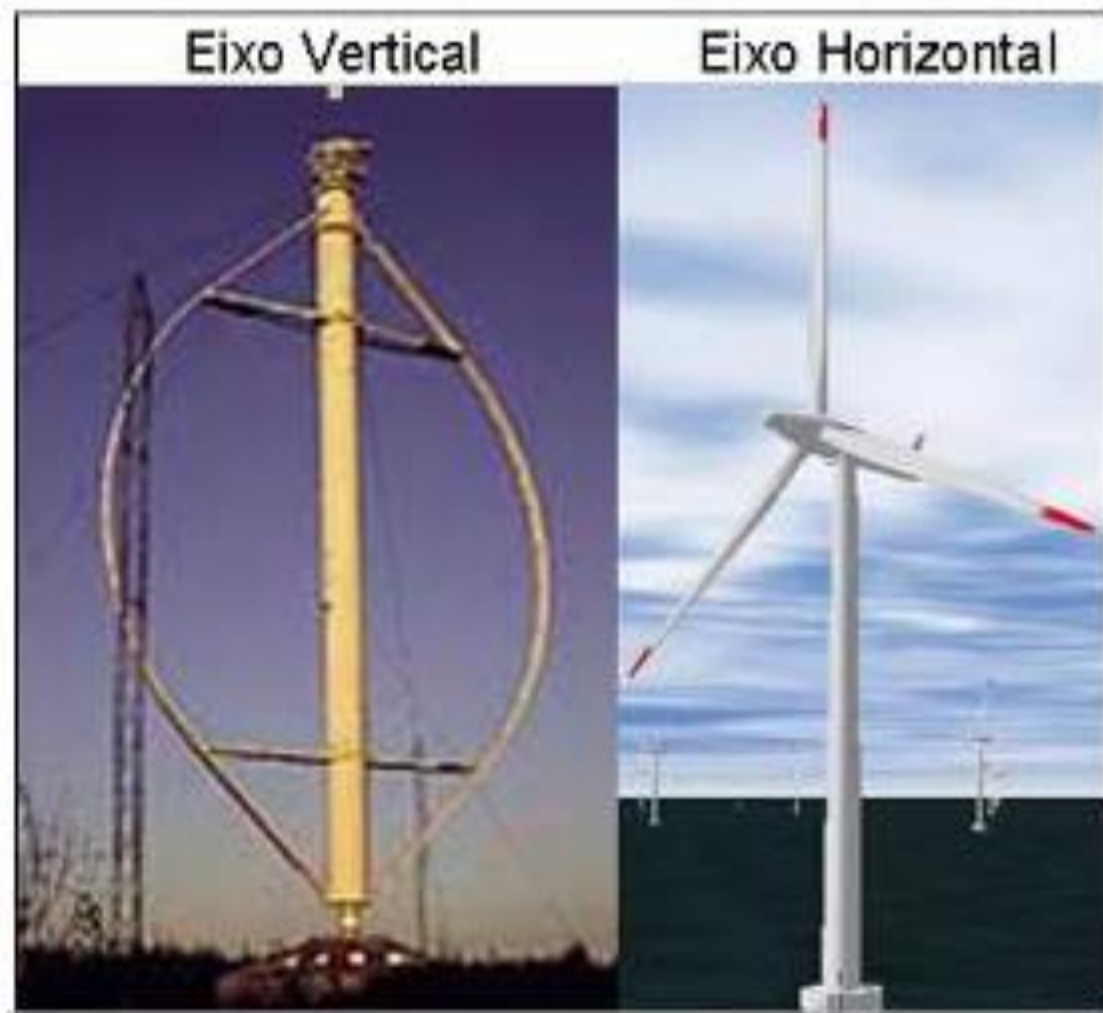
8. Existem muitos tipos de máquinas eólicas?

Existem diversos tipos. Atualmente as máquinas de grande porte disponíveis são em maioria tripás de eixo horizontal. Entretanto, existem máquinas bipás, monopás, quadripás e multipás de eixo horizontal, além das máquinas Darrieus e Savonius de eixo vertical, bem como diversos outros dispositivos. Essas inúmeras variantes são normalmente utilizadas apenas para máquinas de pequeno porte.



9. Qual a diferença de turbinas de eixo horizontal e vertical?

Os rotores de eixo horizontal são mais comuns, e grande parte das experiências internacionais estão voltadas para a sua utilização. São predominantemente movidos por forças de sustentação (atuam perpendicularmente ao escoamento) e devem possuir mecanismos capazes de permitir que o disco varrido pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento. Já as turbinas de eixo vertical captam a energia dos ventos sem precisar alterar a posição do rotor com a mudança na direção dos ventos. Podem ser movidos por forças de sustentação e por forças de arrasto.



Parque eólico

- *Um parque eólico ou usina eólica é um espaço (terrestre ou marítimo), onde estão concentrados vários aerogeradores (a partir de 5) destinados a transformar energia eólica em energia elétrica. Para a construção desses parques é necessário a realização do EIA/RIMA (Estudo e Relatório de Impacto Ambiental) pois a sua má localização pode causar impactos negativos como a morte de aves e a poluição sonora.*



Offshore



- *Parques eólicos situados a certa distância da costa são conhecidos como parques eólicos offshore. O desenvolvimento dos mesmos tem ocorrido nos últimos anos, e as razões são os seguintes:*
- *Não ter limitações em termos de utilização do solo e dos diversos impactos visuais.*
- *Não há problemas com impactos sonoros, devido a distância da costa.*
- *A superfície do mar tem baixa rugosidade.*
- *Devido à menor rugosidade, as turbinas não necessitam de grandes alturas (comparando-as com o solo terrestre).*
- *Globalmente, a turbulência do vento é muito inferior no mar, devido à ausência de barreiras. Assim, as turbinas não sofrem um desgaste exorbitante, tendo um aumento em sua vida útil.*

Problema com offshore

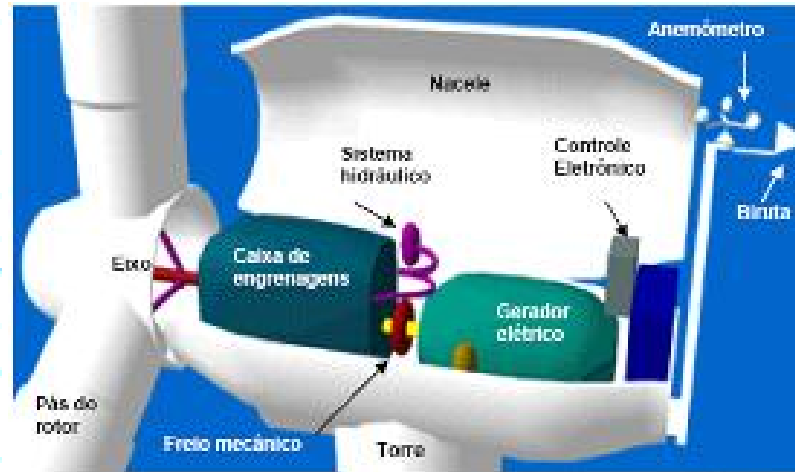
- *O problema principal se coloca à colocação de torres com turbinas eólicas no mar é o da sua estabilidade, resistência às correntes e à erosão.*
- *As gôndolas dos aerogeradores de 2,5 a 5 MW são muito grandes, e por se situarem no mar devem ter isolamentos muito especiais para evitar uma entrada excessiva de salpicos nos geradores ou caixas de velocidades e aparelhagem elétrica. As fundações são mesmo o mais importante, dada a enorme pressão exercida pelos ventos nas grandes pás dos geradores eólicos, a questão, principalmente no pilar, é a relação entre custo, estabilidade e resistência.*

Problema com offshore

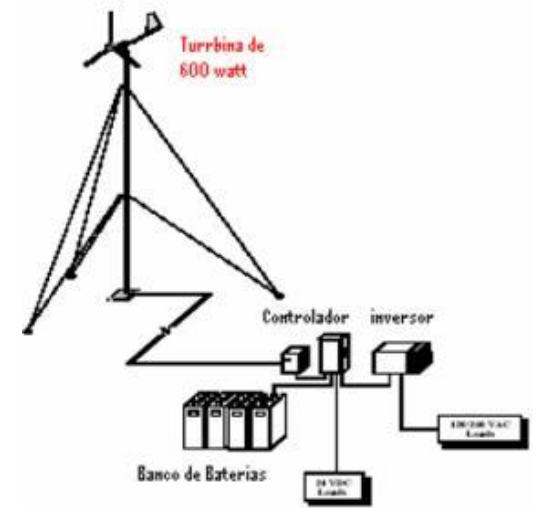
- *Contudo, é evidente que se torna difícil assentar um pilar no fundo rochoso, já que a maior parte dos fundos marítimos é de caráter sedimentar arenosos e as correntes marítimas podem provocar uma ação de desgaste em torno da zona do pilar, principalmente quando se situam num canal de fortes correntes. Para evitar tal problema, pode-se sustentar o pilar com pedras. Contudo, tal procedimento pode acarretar o afundamento do solo marítimo, podendo danificar os cabos condutores da eletricidade à terra firme. Esses parques visam à produção de energia elétrica com uma relação custo/benefício propícia à sua instalação, e para isso o parque não pode se distanciar muito da costa, pois quanto maior for a distância mais caro fica o transporte da eletricidade até à terra.*

A turbina eólica para geração de energia elétrica é composta pelos seguintes subconjuntos:

- **Torre** - é o elemento que sustenta o rotor e a nacelle na altura adequada ao funcionamento da turbina eólica (esse item estrutural de grande porte é de elevada contribuição no custo inicial do sistema).
- **Rotor** - é o componente que efetua a transformação da energia cinética dos ventos em energia mecânica de rotação. No rotor são fixadas as pás da turbina. Todo o conjunto é conectado a um eixo que transmite a rotação das pás para o gerador, muitas vezes, através de uma caixa multiplicadora.
- **Nacelle** - é o compartimento instalado no alto da torre e que abriga todo o mecanismo do gerador, o qual pode incluir: caixa multiplicadora, freios, embreagem, mancais, controle eletrônico, sistema hidráulico.
- **Caixa de multiplicação (transmissão)** - é o mecanismo que transmite a energia mecânica do eixo do rotor ao eixo do gerador.
- **Gerador** - é o componente que tem função de converter a energia mecânica do eixo em energia elétrica.
- **Mecanismos de controle** - as turbinas eólicas são projetadas para fornecerem potência nominal de acordo com a velocidade do vento prevalecente, ou seja, a velocidade média nominal que ocorre com mais frequência durante um determinado período.
- **Anemômetro** - Mede a intensidade e a velocidade dos ventos, normalmente, de 10 em 10 minutos.
- **Pás do rotor** - Captam o vento e convertem sua potência ao centro do rotor.
- **Biruta (sensor de direção)** - São elas que captam a direção do vento, pois ele deve estar perpendicular à torre para se obter um maior rendimento.



Sistema eólico



- **Turbina eólica** – já descrita, a partir da energia cinética dos ventos, funciona como gerador de energia elétrica;
- **Banco de baterias** - composto por uma ou mais baterias, normalmente, baterias Chumbo-ácido 12V seladas; funciona como elemento armazenador de energia elétrica para uso durante os períodos de calmaria, quando não há disponibilidade de vento;
- **Controlador de carga** –dispositivo eletrônico que protege as baterias contra sobrecarga ou descarga excessiva;
- **Inversor** – dispositivo eletrônico que converte a energia elétrica em corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), de forma a permitir a utilização de eletrodomésticos convencionais. Alguns sistemas pequenos não empregam inversores e utilizam cargas (luminárias, TV) alimentadas diretamente por corrente contínua (CC).
- Aqui se considera que a turbina eólica já produz energia em um nível de tensão CC compatível com o do banco de baterias; caso contrário é ainda necessários outros dispositivos para efetuar a conversão.

11. O que são aerogeradores?

Um aerogerador é um dispositivo destinado a converter a energia cinética contida no vento em energia elétrica. A quantidade de energia gerada depende:

- Da Velocidade do vento;*
- Do diâmetro do rotor;*
- Do rendimento de todo o sistema*



Ventos com baixa velocidade não têm energia suficiente para acionar as máquinas eólicas, (que só funcionam a partir de uma determinada velocidade), a qual normalmente varia entre 2,5m/s e 4,0m/s. Com o aumento da velocidade do vento, a potência no eixo da máquina aumenta gradativamente até atingir a potência nominal do aerogerador, a qual varia geralmente entre 9,5m/s e 15,0m/s. Para velocidades superiores à nominal, em muitas máquinas, a potência permanece constante até uma velocidade de corte superior, na qual a turbina deve sair automaticamente de operação para evitar que sofra danos estruturais. É importante saber que a energia disponível varia com o cubo da velocidade do vento, de forma que o dobro de velocidade representa um aumento de oito vezes em energia.

Para estimar com confiabilidade a energia produzida por uma máquina eólica é necessário conhecer, além das características da máquina que será utilizada (curva potência x velocidade do vento), a distribuição estatística da velocidade do vento no local onde ela será instalada. Tais dados de vento, normalmente, só são obtidos por meio de levantamentos específicos do potencial eólico efetuado no próprio local de interesse.

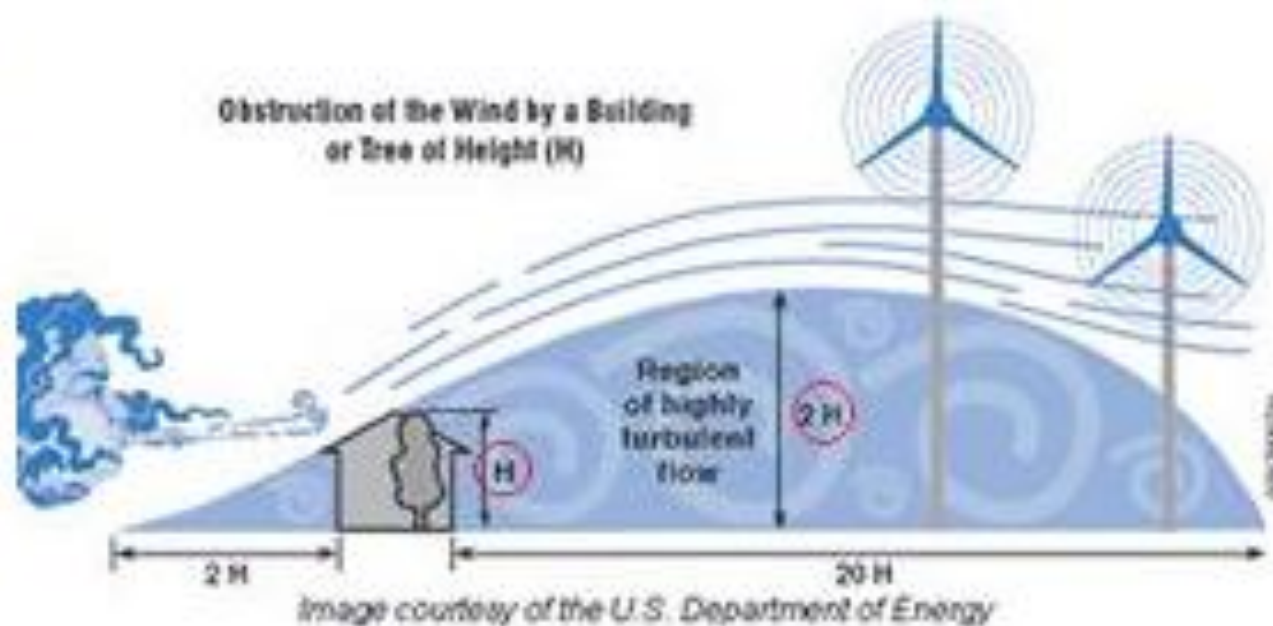
Geralmente para aplicações em larga escala com máquinas de grande porte, se requer uma velocidade média de, no mínimo, 6,5m/s a 7,5. Já para a utilização em sistemas isolados pequenos, incluindo os sistemas mecânicos para bombeamento d'água, assume-se uma média de 3,5m/s a 4,5m/s, sendo o mínimo admissível. Estes valores consideram tanto a viabilidade técnica quanto econômica.

Fabricantes

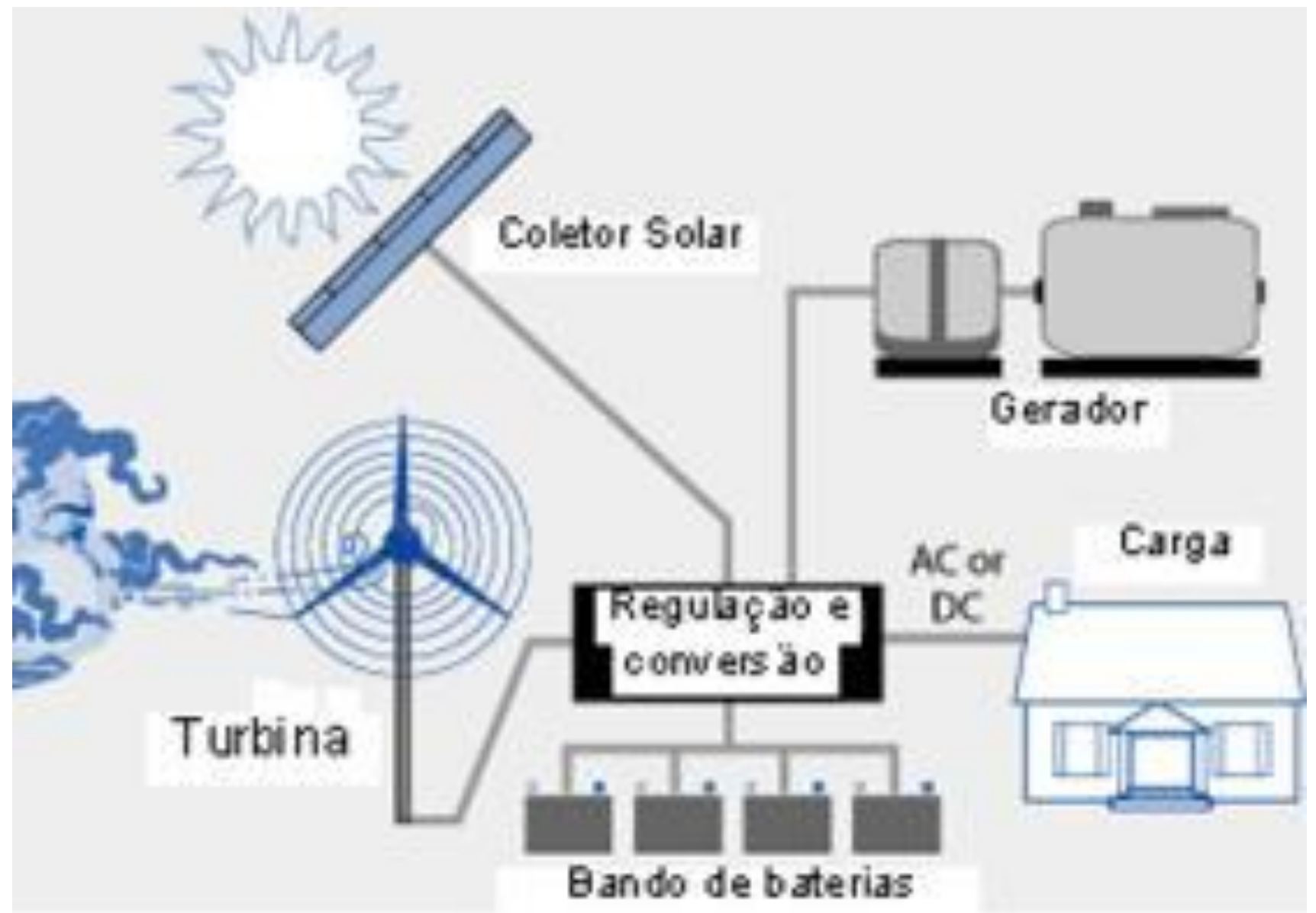
- *Mundialmente existem dezenas de fabricantes de turbinas eólicas. A título de informação podemos citar: Enercon (Alemanha), Neg Micon (Alemanha), Vestas (Dinamarca), Nordex (Alemanha), Jacobs (Alemanha), Bergey Windpower (Estados Unidos), Zond (Estados Unidos), Wobben Windpower (Brasil).*
- *Existe uma subsidiária brasileira da Enercon (empresa alemã) instalada no Estado de São Paulo (Sorocaba). Inicialmente, esta fábrica dedicou-se apenas à produção das pás para aerogeradores de grande porte, visando essencialmente à exportação. Em 2000, foram produzidos os primeiros aerogeradores brasileiros completos, tanto para exportação quanto para atender ao mercado interno. Existe também a Enersud fabricante de turbinas de pequeno porte.*

Instalação em centros urbanos

Geralmente isto não é considerado viável. Conforme já mencionado, as áreas urbanas são locais que apresentam rugosidade bastante elevada (em geral, quanto mais acentuada a rugosidade da superfície da terra, mais o vento será abrandado), de forma que os ventos próximos à superfície são fracos e muito turbulentos.



Aplicações



Fonte: www.seco.cpa.state.tx.us

Classificação das Aplicações

- **Sistemas interligados à rede elétrica** – constituem sistemas de grande porte, interligados à rede de distribuição de duas formas: (diretamente), através de geradores de indução ou síncrono; ou (indiretamente), por meio de inversores acoplados a geradores de corrente contínua. Os sistemas interligados à rede elétrica podem ser dotados de várias dezenas de máquinas eólicas, e injetam toda a energia gerada na rede elétrica convencional, funcionando como uma usina geradora; são também denominadas usinas eólicas;

Classificação das Aplicações

- ***Sistemas isolados ou independentes*** – são sistemas autônomos de pequeno porte, com potência instalada na faixa de até 80 kW, normalmente, destinados à eletrificação rural. Tais sistemas podem destinar-se a alimentar uma residência rural, uma fazenda, uma aldeia ou outro tipo de instalação. Normalmente, utilizam alguma forma de armazenamento, podendo ser baterias para utilização de aparelhos elétricos ou armazenamento de água para posterior utilização;

Classificação das Aplicações

- **Sistemas de apoio (híbridos)** – são aqueles em que uma turbina eólica opera em paralelo com uma fonte de energia firme (na maioria grupo-geradores diesel), tendo como objetivo principal economizar combustível. Também são utilizados em conjunto com módulos fotovoltaicos. Os sistemas híbridos normalmente são empregados em sistemas de pequeno e médio porte destinado a atender um maior número de usuários.

Economicamente viável?

- *totalmente viável nos locais onde os ventos são favoráveis, uma vez que a viabilidade de tais empreendimentos está condicionada à velocidade dos ventos no local. No caso dos sistemas isolados de pequeno porte a viabilidade é obtida naturalmente para velocidades de vento baixas, pois se devem comparar os custos dos sistemas eólicos com os elevados custos de extensão da rede elétrica convencional.*

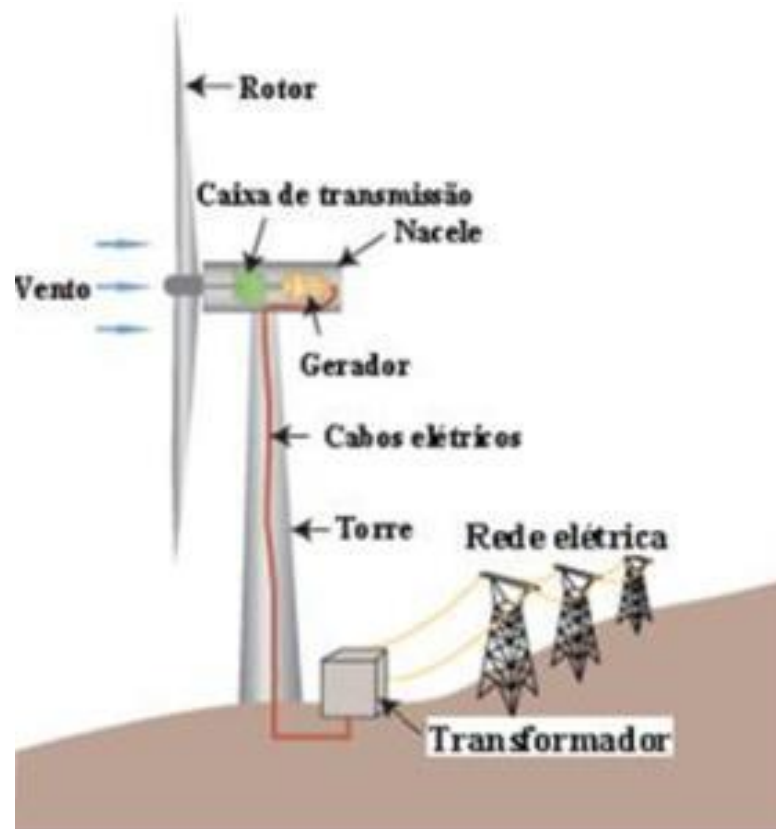
Economicamente viável?

- *No caso dos sistemas interligados à rede elétrica, a viabilidade ainda só é alcançada para velocidades de vento elevadas, pois têm que competir com os custos de energia obtidos com as formas de geração convencional (hidroelétrica e térmica). Nos locais favoráveis, os investimentos em energia eólica são bastante rentáveis e têm sido explorados em todo o mundo pela iniciativa privada. Em alguns países (Dinamarca e Alemanha) a energia eólica já é complementar à geração convencional e tem participação expressiva na matriz energética nacional.*

Conexão a rede local

- *Geralmente a conexão é feita por meio dos seguintes dispositivos:***Conversor** – equipamento eletrônico (composto por retificador, inversor...) que converte a energia gerada pela turbina, em geral AC de tensão e frequência variáveis, para níveis adequados à injeção na rede;
- **Transformador** – equipamento elétrico que aumenta o nível de tensão gerado pelo conversor para a tensão da rede, da ordem de dezenas ou centenas de kV (linha de transmissão).
- *Os sistemas conectados à rede geralmente não são dotados de armazenamento de energia (baterias), de forma que produzem energia somente quando existe disponibilidade de vento.*

Conexão a rede local



FONTE: www.daviddarlin.info

Sistemas eólicos para bombeamento de água

- ***Turbina eólica*** – já descrita, a partir da energia cinética dos ventos, funciona como gerador de energia elétrica;
- ***Controlador de bomba*** – dispositivo eletrônico que condiciona a energia gerada pela turbina de forma a ser utilizada de forma eficiente pelo conjunto motor elétrico/bomba d'água;
- ***Conjunto motor/bomba*** – pode ser de diversos tipos e utilizar motores elétricos CC ou CA (depende do fabricante);
- ***Sistema hidráulico*** – reservatório e registros.
- ***OBS: A descrição acima se refere ao sistema de bombeamento elétrico; os sistemas puramente mecânicos já foram descritos anteriormente.***

Impactos ambientais

- **Uso da terra** – em parques eólicos as turbinas devem estar suficientemente distanciadas entre si para evitar a perturbação causada no escoamento do vento entre uma unidade a outra. Estes espaçamentos devem ser no mínimo de 5 a 10 vezes a altura da torre. Contudo a área do parque pode ser aproveitada para produção agrícola ou atividades de lazer;
- **Ruído** – as turbinas de grande porte geram ruído audível significativo, de forma que existe regulamentação relativa à sua instalação na vizinhança de áreas residenciais. Entretanto, nas turbinas mais modernas o nível de barulho tem sido reduzido. O ruído é proveniente de duas fontes: o próprio fluxo de ar nas pás e os mecanismos (gerador, caixa de redução);

Impactos ambientais

- **Impactos visuais** – as pás das turbinas produzem sombras e/ou reflexos móveis que são indesejáveis nas áreas residenciais; este problema é mais evidente em pontos de latitudes elevadas, onde o sol tem posição mais baixa no céu. Dentre outros parâmetros que se podem relacionar são: o tamanho da turbina, seu design, números de pás, cor e números de turbinas em uma fazenda eólica. As máquinas de grande porte são objetos de muita visibilidade e interferem significativamente nas paisagens naturais; por isso podem existir restrições à sua instalação em algumas áreas (por exemplo, em áreas turísticas ou áreas de grande beleza natural);
- **Aves** – em fazendas eólicas ocorre mortalidade de aves por impacto com as pás das turbinas (acredita-se que os animais não conseguem enxergá-las, quando estão em movimento), por isso não é recomendável a sua instalação em áreas de migração de aves, áreas de reprodução e áreas de proteção ambiental.

Impactos ambientais

- ***Interferência eletromagnética*** – esta acontece quando a turbina eólica é instalada entre os receptores e transmissores de ondas de rádio, televisão e microondas. As pás das turbinas podem refletir parte da radiação eletromagnética em uma direção, tal que a onda refletida interfere no sinal obtido.



Fonte: ambientenaterra.blogs.sapo.pt/data/rss

Durabilidade

- *De uma forma geral, os sistemas eólicos são bastante duráveis e precisam de pouca manutenção. A vida útil das turbinas eólicas é estimada em 15 anos. Os dispositivos eletrônicos (inversor, controlador de carga) têm vida útil superior a 10 anos. No caso de sistemas eólicos isolados com armazenamento de energia em baterias, as baterias são consideradas o ponto crítico do sistema, mas quando este é bem projetado elas têm vida útil de 4 a 5 anos.*

Viabilidade do projeto

- *Para parques eólicos de grande porte (mais de cinco turbinas) o estudo de viabilidade possui as seguintes divisões:*
- ***Investigação local*** – *trata-se de uma visita ao local escolhido com objetivo de determinar as características gerais e específicas do local e da região, identificar os dados essenciais necessários e a disponibilidade dos mesmos e estabelecer com a maior precisão possível a localização mais provável para as turbinas eólicas;*
- ***Avaliação do recurso eólico*** – *consiste na instalação de uma ou mais torres no local. Para coleta e análise dos dados eólicos, recomenda-se no mínimo um ano de medições. O custo de um ano de avaliações do recurso eólico depende da altura da torre, do número e do tipo de instrumentos montados na mesma e se o equipamento é comprado ou alugado;*
- ***Avaliação ambiental*** – *tem como objetivo determinar a existência de impacto ambiental que possa impedir a realização do projeto;*

Viabilidade do projeto

- **Dimensionamento preliminar** – tem como objetivo determinar a capacidade do parque, dimensionamento dos equipamentos e quantidade de material para a construção. Itens necessários para uma posterior estimativa detalhada de custos;
- **Estimativa detalhada de custos** – tem como base o dimensionamento preliminar e outras investigações levadas durante o estudo de viabilidade;
- **Preparação de relatório** – descreve o estudo de viabilidade, descobertas e recomendações;
- **Gestão do projeto** – abrange os custos estimados para a gestão de todas as fases do estudo de viabilidade, incluindo o tempo necessário para consultas aos investidores;
- **Viagem e acomodação** – abrange todos os custos relacionados a viagens necessários para o estudo de viabilidade por parte da equipe responsável;
- **Outros** – custos necessários para complementação do estudo de viabilidade.

Custo de manutenção

- *As turbinas modernas são projetadas para funcionar por 130 mil horas de operação, o que resulta em uma vida útil em torno de vinte anos. As experiências internacionais têm mostrado que o custo de manutenção é geralmente muito baixo para turbinas novas e aumenta um pouco com o tempo de funcionamento das mesmas. Para máquinas novas, estima-se um custo anual entre 1,5 a 2% do investimento, enquanto as turbinas com mais idade apresentam um custo em torno de 3% ao ano do investimento.*