

Um panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica

Rafael Alves da Costa, Bruna Pretti Casotti, Rodrigo Luiz Sias de Azevedo

<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>

UM PANORAMA DA INDÚSTRIA DE BENS DE CAPITAL RELACIONADOS À ENERGIA EÓLICA

Rafael Alves da Costa
Bruna Pretti Casotti
Rodrigo Luiz Sias de Azevedo*

** Respectivamente, coordenador de serviços e economistas do
Departamento de Indústria Pesada da Área Industrial do BNDES.*

BENS DE CAPITAL

Resumo

Nos últimos anos, as preocupações acerca do aquecimento global deixaram a esfera puramente científica para ganhar forte engajamento popular e político. Essa pressão de caráter socioambiental, somada à alta volatilidade do preço do barril de petróleo, tem gerado uma demanda crescente pelo desenvolvimento de energias limpas e renováveis. Entre elas, merece destaque a energia eólica, a qual, apesar de ainda inexpressiva na matriz energética global, vem experimentando acelerado crescimento. Apenas no período de 2000 a 2007, a capacidade eólica instalada no mundo aumentou 600%.

Entretanto, o custo de geração de energia eólica ainda é alto se comparado a outras fontes, mesmo as renováveis. O baixo patamar atual do preço do petróleo contribui para aumentar essa discrepância, mas não deverá condenar o setor eólico no longo prazo, uma vez que a geração deste tipo de energia é estratégica para muitos países e, portanto, deverá ser mantida nos principais programas energéticos governamentais.

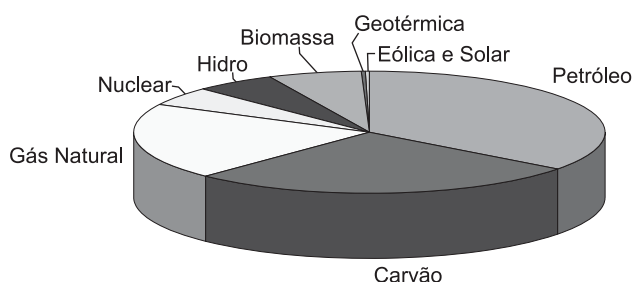
Com isso, mais fabricantes de aerogeradores e componentes ingressam nessa recente indústria que apresenta caráter oligopolista, dadas as necessidades de escala e tecnologia. No Brasil, mais empresas demonstram interesse pelo setor, e um comprometimento do governo de longo prazo com o desenvolvimento dessa energia renovável é fundamental para garantir a formação no país de uma cadeia de equipamentos eólicos.

A Energia Eólica

Formados pela associação da radiação solar e da rotação planetária, os ventos são uma fonte inesgotável de energia e, portanto, uma opção energética sustentável no longo prazo. Em uma sociedade na qual 61% da oferta de energia primária é advinda do carvão e do petróleo e na qual 47% da eletricidade é gerada por meio do consumo destes dois combustíveis não renováveis, é importante que as autoridades tenham desde já um plano de substituição gradual da matriz global para garantir energia às gerações futuras.

Gráfico 1

Fontes de Energia Globais em 2006



Fonte: IEA, 2008.

Além de a energia eólica ser renovável, há outros pontos que merecem destaque no seu processo de geração, como o baixo impacto ambiental, uma vez que não é utilizada água nem são emitidos gases geradores do efeito estufa durante toda a fase de operação dos aerogeradores. Diferentemente de uma usina hidrelétrica ou nuclear, a usina eólica não apresenta perigo de vazamento de combustível.¹ Há ainda a possibilidade de ocupação do solo, por lavoura ou pastagem, no perímetro da usina eólica.² A base do equipamento ocupa uma área relativamente pequena, e as suas hélices ficam muitos metros acima do solo, não representando risco aos animais passantes.

Além do aproveitamento dos ventos do continente, a tecnologia do setor permite a instalação de aerogeradores em alto-mar. Essa pode ser uma solução para os centros urbanos com alta den-

¹ Em uma usina hidrelétrica, há o risco de desabamento da represa e, nesse caso, a área vizinha à usina pode ficar submersa. Durante a construção da usina hidrelétrica de Três Gargantas, na China, a margem da represa desabou em 91 pontos e uma área equivalente a 36 quilômetros foi submersa, segundo informações do site da BBC-Brasil em 26.9.2007. Ainda segundo o site, quando a terra cede em um lado da costa, levanta ondas de quase 50 metros que se propagam até a margem oposta e causam desgaste do solo, resultando em novos desabamentos e risco à população que vive próxima à usina.

² Isso é verdade para os modelos de aerogeradores com eixo horizontal, utilizados nos parques eólicos mais modernos.

cidade populacional que não podem instalar turbinas eólicas entre prédios, mas que possuam bom potencial eólico marítimo.

A possibilidade de as turbinas eólicas serem utilizadas tanto em conexão com redes elétricas como em lugares onde a rede não está disponível permite que regiões isoladas geograficamente que apresentam boa classe de ventos³ gerem sua própria energia sem incorrer em custos altos com redes de transmissão. Porém, por causa da sazonalidade dos ventos, não se pode descartar a necessidade de complementação com outras fontes de energia.

A relativa rapidez com que as turbinas podem ser instaladas também é um ponto atrativo. O North Hoyle, primeiro parque eólico *offshore* da Inglaterra, foi construído em apenas oito meses e tem capacidade instalada de 60 MW. A menor complexidade envolvendo infraestrutura e o baixo impacto ambiental permitem a rápida emissão de licenças desse tipo, que são, muitas vezes, a razão do atraso da instalação de projetos energéticos, como os de usinas hidrelétricas.

Embora não seja nulo, é baixo o risco de desencadeamento de conflitos geopolíticos apresentado pela energia eólica, uma vez que não há reserva de combustível em disputa e os problemas de exploração de recursos na fronteira são minimizáveis.

Como pontos negativos, estão a inconstância e a imprevisibilidade do fluxo dos ventos – combustível básico dessa usina. Mesmo nas localidades em que os ventos apresentam fluxo contínuo, existem alternâncias sazonais e diárias na sua intensidade, podendo impactar as tensões da rede elétrica local.

Em princípio, alternâncias sazonais constituem uma dificuldade comum a outras fontes de energia renovável, como a hidrelétrica, que sofre com as cheias e vazantes dos rios. A diferença é que a usina eólica não tem como armazenar o combustível nos períodos em que ele é abundante. Isso torna necessária a manutenção de uma capacidade de produção excedente de outros tipos energia para os momentos de “escassez”⁴ ou “excesso”⁵ de ventos.

Alternativas criativas têm sido aplicadas para contornar dificuldades como essas. À noite, quando o consumo de eletricidade

³ Os ventos são ordenados em classes (0, 1, 2, 3...) de acordo com a velocidade, a turbulência e a regularidade que apresentam. Quanto maiores a regularidade e a velocidade média, mais baixa é a classe de ventos.

⁴ “Escassez de ventos” ocorre quando a velocidade dos ventos fica abaixo da velocidade mínima para o aerogerador entrar em funcionamento.

⁵ “Excesso de ventos” ocorre quando as rajadas de ventos são tão fortes que obrigam os aerogeradores a parar de operar temporariamente a fim de evitar danos à rede e ao equipamento.

é menor, parte da energia eólica produzida é perdida nos lugares em que os aerogeradores não estão conectados à rede. Para reduzir essa perda, algumas localidades vêm direcionando a energia gerada durante a madrugada para aquecimento de água, sistema de calefação de residências e carregamento de baterias. Hipoteticamente, seria possível usá-la para promover a eletrólise da água e assim produzir hidrogênio, para ser estocado e utilizado na alimentação de turbinas a gás em usinas de apoio.

A imprevisibilidade dos ventos não pode ser levantada como argumento inviabilizador da expansão da capacidade eólica no mundo; afinal, essa fonte não deve ser usada como exclusiva na matriz de uma região. O correto é compreender a energia eólica como uma fonte coexistente e complementar às demais disponíveis.

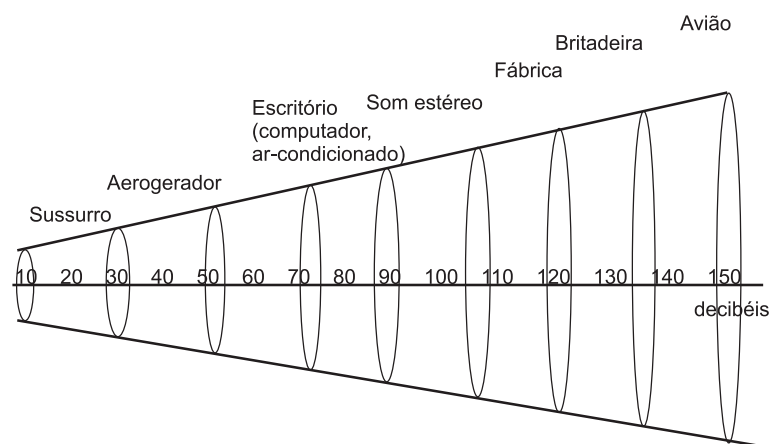
O ruído é apontado como um resíduo indesejável da operação das usinas eólicas. A intensidade do ruído depende muito do modelo dos equipamentos e da localização do parque. Muitos fabricantes alegam que parte do ruído que se ouve nesse tipo de usina é causada pelo próprio zumbido dos ventos e não pelos aerogeradores. Os equipamentos modernos apresentam motor mais silencioso e pás com aerodinâmica especialmente projetada para reduzir o som gerado pelo “corte” do vento pela pá em seu movimento de rotação. Estudo realizado pela American Wind Energy Association (AWEA) e publicado no *Global Wind Energy Outlook 2008* revela que, a uma distância de 350 metros da turbina, o ruído é de aproximadamente 35 a 45 decibéis, isto é, mais baixo que aquele presente em um ambiente de escritório.⁶

Outro impacto negativo das centrais eólicas é a possibilidade de interferências eletromagnéticas, que podem causar perturbações nos sistemas de comunicação e transmissão de dados (rádio, televisão etc.). Essas interferências variam tanto com as especificidades geográficas do local em que a usina está instalada quanto com o material utilizado no aerogerador. Antes da instalação do parque dinamarquês *offshore* Tuno Knob, essa problemática foi levantada, principalmente em razão das possíveis consequências nos sistemas de navegação e comunicação locais. No entanto, durante os 18 meses de operação do parque, nenhum efeito adverso foi sentido sobre esses sistemas.

⁶ Em um moderno parque eólico espanhol produtor de 5.270 MWh ao ano, estimou-se a geração de ruído pelas turbinas em cerca de 105 decibéis, isto é, 25 pontos acima do que é considerado limite de conforto humano. No entanto, a distância do parque à zona residencial eliminou qualquer problema dessa ordem aos moradores. Em outro parque na Inglaterra, a operação de mais de 100 turbinas apenas causou acréscimo de 2 decibéis nos níveis de ruído originais para distâncias acima de 1,5 quilômetro do aerogerador. A aldeia mais próxima sentiu incremento de apenas 0,05 decibéis.

Figura 1

Nível de Ruído de Diversas Atividades



Fonte: Elaborada com base em GWEC (2008).

Alguns ambientalistas contestam a classificação da energia eólica como de baixo impacto ambiental, pois a) dependendo da sua posição, o aerogerador pode afetar a rota migratória de aves e causar acidentes; b) aerogeradores *offshore* podem afetar o equilíbrio do ecossistema marítimo; e c) a manufatura das turbinas eólicas gera emissões de gás carbônico.

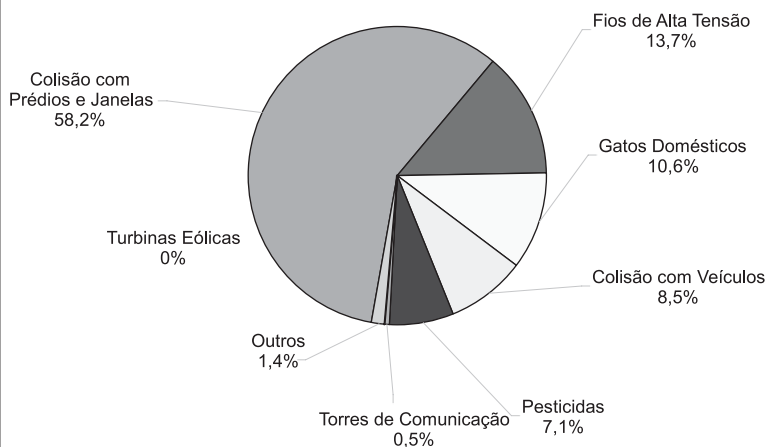
Quanto ao item “a”, os fabricantes de equipamentos argumentam que isto poderia ser verdade em relação aos primeiros parques eólicos, para os quais não se exigia um estudo de rotas migratórias antes da sua instalação. Para eles, está havendo um alarde exagerado sobre esse tema que não condiz com as estatísticas reais. Estima-se que nos EUA o número de aves mortas por MW instalado de capacidade eólica varie de um a seis por ano, o que é considerado insignificante. Trata-se de 0,1% das mortes não-naturais de aves no país. Para reduzir ainda mais esta taxa, alguns parques vêm instalando estímulos visuais e auditivos nas torres eólicas, evitando a colisão de aves [Rey e Oliveira (2005)].

Na Espanha, estatísticas levantadas com o universo de mil turbinas mostraram que a taxa de mortalidade de aves está entre 0,1 e 0,6 por turbina ao ano. Finalmente, estudos realizados na Alemanha, Dinamarca e Holanda, em parques que operam há muito anos, não registraram mudança importante no número de aves e espécies desde a instalação dos aerogeradores.

Quanto ao item “b”, um estudo constatou que o ruído e as demais externalidades do parque dinamarquês *offshore* de Vindeby não geraram efeitos negativos para a fauna marítima local.⁷

Gráfico 2

Causas de Morte de Aves Relativas às Atividades Humanas nos EUA



Fonte: AWEA.

Quanto ao item “c”, estima-se que um período de seis meses de operação da turbina é suficiente para virtualmente compensar todo o CO₂ emitido durante a sua construção [GWEC (2008)], enfraquecendo, portanto, o argumento inicial, uma vez que cada turbina se manterá em operação por décadas.

O modelo dos aerogeradores, sua disposição no espaço, bem como a própria paisagem natural do lugar, têm forte influência sobre a avaliação visual de um parque eólico. Enquanto alguns parques causam incômodo visual à vizinhança, outros são usados como cartões-postais. Esse impacto na paisagem, gerado pelos imensos aerogeradores, não pode ser ignorado, mas trata-se de um tema muito subjetivo para ser abordado no presente estudo.

A proximidade de aerogeradores também pode desencadear ataques epiléticos em pessoas suscetíveis. Esse efeito pode ser evitado desde que as lâminas operem abaixo de 50 rpm e, por essa razão, a velocidade de rotação limite para esses equipamentos é de 45 rpm [Abreu (2006)].

⁷ Curiosamente, foram registrados efeitos positivos. A população de bacalhau aumentou desde a implantação dos aerogeradores, em razão do surgimento de recifes em torno das bases das torres das turbinas.

Finalmente, um fator a ser considerado é o destino dos aerogeradores ao fim de sua vida útil. Com durabilidade média de vinte anos, esses equipamentos ainda não tiveram tempo de se tornar centro de uma polêmica mundial. No entanto, por serem produzidos com fibra de vidro – material não-biodegradável – e resina epóxi⁸ – material de difícil reciclagem –, torna-se necessário apontar desde já o destino para esses produtos após a sua inutilização.

Os Aerogeradores

O aerogerador (ou turbina eólica) é um dispositivo que tem como função converter em energia elétrica a energia cinética presente no movimento das massas de ar. Esses equipamentos são apresentados nos mais variados modelos, podendo ter eixo vertical ou horizontal.

O eixo vertical é montado perpendicularmente ao solo. A principal vantagem dessas turbinas é não necessitar de um mecanismo que ajuste a direção do seu eixo quando a direção do vento muda. A desvantagem é o fato de suas pás terem os ângulos constantemente alterados, o que limita o seu rendimento e causa vibrações acentuadas em toda a sua estrutura. Por último, esse modelo fica suspenso por cabos de amarração a poucos metros do solo, o que inutiliza uma parte maior da região em que é implantado. Como pouca altura implica baixa velocidade do vento, a potência máxima extraída por área varrida pelas pás é baixa se comparada à dos aerogeradores com eixo horizontal, tornando o primeiro tipo pouco adequado para geração de energia elétrica e mais indicado para bombeamento de água.

Figura 2

Aerogerador com Eixo Vertical



Aerogerador com Eixo Horizontal



Fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (Cresesb).

⁸ Mais precisamente, as hélices do aerogerador são compostas desse material. A torre pode ser construída com cimento e/ou aço.

Já os modelos de eixo horizontal são montados paralelamente ao solo. Turbinas deste tipo necessitam de mecanismos que permitam o constante reposicionamento do eixo do rotor em relação à direção do vento, para um melhor aproveitamento energético. Como vantagem, suas hélices ficam suspensas a muitos metros do solo por uma torre, o que permite que o equipamento, além de ocupar pouco espaço no solo, esteja posicionado em uma altura em que a velocidade dos ventos é maior.

O modelo horizontal pode ter uma ou múltiplas pás. Os modelos mais populares são aqueles de três pás, por apresentarem maior eficiência energética em razão da melhor distribuição das tensões diante das mudanças de direção do vento.

Esses modelos são basicamente compostos de três partes: a torre, as pás e a nacela – onde fica o coração do equipamento, o gerador.

- **Torre**

As torres são, em geral, de concreto ou aço e recebem tratamento especial anticorrosivo quando são do tipo *offshore*. Suas dimensões dependem muito da capacidade instalada da turbina em questão. É comum ver modernos aerogeradores de 3 MW de potência com torres de quase 100 metros de altura. Alguns modelos têm elevadores internos, que facilitam o acesso até o gerador, em caso de manutenção.⁹ Outros utilizam apenas as escadas para a realização desse trajeto.

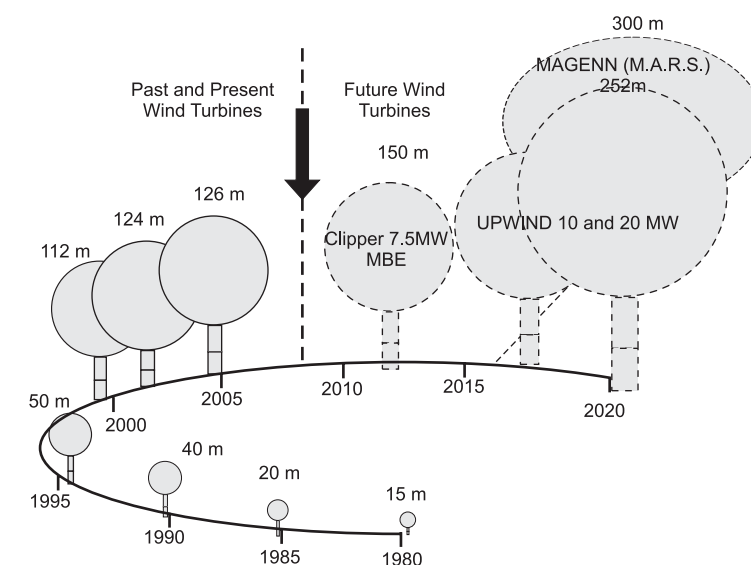
Dependendo da sua altura, a torre é transportada e instalada em “módulos”. Torres de 50 metros podem pesar 60 toneladas, dependendo do material utilizado.

Na maioria das vezes, o fabricante do aerogerador é o responsável pela instalação da torre nas dependências do cliente e esse componente pode representar mais de 20% do custo total do equipamento.

⁹ A necessidade de manutenção de um gerador é de aproximadamente cinco dias por ano.

Figura 3

Evolução da Altura da Torre nos Últimos Anos



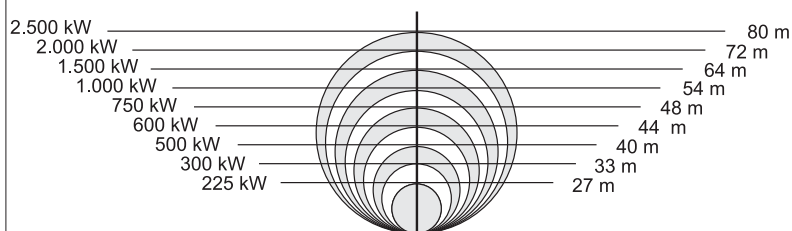
Fonte: Garrad Hassan (figura extraída da apresentação da Proventos no Congresso Wind Forum Brazil 2009).

• Pás

Da mesma forma que na torre, as dimensões das pás dependem da capacidade da turbina e, ao longo do tempo, observou-se uma tendência em direção à instalação de turbinas mais potentes. Equipamentos com capacidade de 1,5 MW podem apresentar hélices que pesam 9 toneladas cada. Dessa forma, a logística associada à venda desse componente é complexa e custosa.

Figura 4

Potência Gerada de Acordo com o Diâmetro do Rotor do Aerogerador¹⁰



Fonte: BNDES e www.windpower.org.br.

¹⁰ Esta relação é apenas uma aproximação feita em 1998, obtida no site <http://ajlreis.awardspace.com/eolica/Como%20funciona%20um%20aerogerador.pdf> e realizada com base em informações de www.windpower.org.br. É possível que esteja defasada, levando-se em conta as tecnologias mais modernas.

Existem, basicamente, três tipos de fabricantes nesse mercado. Um deles é especializado na produção de pás com dimensões padronizadas (“de prateleira”), como é o caso da dinamarquesa LM. O outro é especializado na fabricação de pás sob encomenda, como é o caso da brasileira Tecsis. Finalmente, existem empresas que não fabricam apenas pás, mas todos os componentes do aerogerador – caso da Wobben (subsidiária brasileira da alemã Enercon).¹¹

As pás são, em geral, fabricadas com fibra de vidro e resina epóxi¹² e podem significar mais de 20% do custo total do equipamento.

- **Nacele**

A nacele é a caixa que guarda vários sistemas de controle, além do gerador.

As turbinas podem ter dois tipos de geradores. Um deles depende da existência de uma caixa multiplicadora que o conecta ao eixo e tem como função aumentar a velocidade de rotação que chega até o gerador. Estima-se que 80% das máquinas produzidas, até 2007, usassem esse tipo de tecnologia, que é menos silenciosa, dado seu custo de aquisição inferior. No entanto, seu custo de manutenção é mais elevado, pois a caixa multiplicadora necessita, em média, de três substituições ao longo da vida útil do aerogerador. Já no segundo tipo de turbina, o gerador vem diretamente acoplado ao eixo, não necessitando de uma caixa intermediária. Empresas como a Vensys e a Enercon dominam essa tecnologia, que é tida como mais sofisticada e cara, embora apresente menor custo de manutenção.

Recentemente, alguns fabricantes investiram na produção de aerogeradores com multiplicadores do tipo planetário em vez de multiplicadores paralelos (convencionais) e alegam serem mais silenciosos e eficientes.

Os sistemas de controle, gerador e demais sistemas que equipam a nacele chegam a representar 60% do custo do aerogerador.

Considerando todo o parque eólico, é possível que o custo com os aerogeradores represente 80% do custo final do projeto,

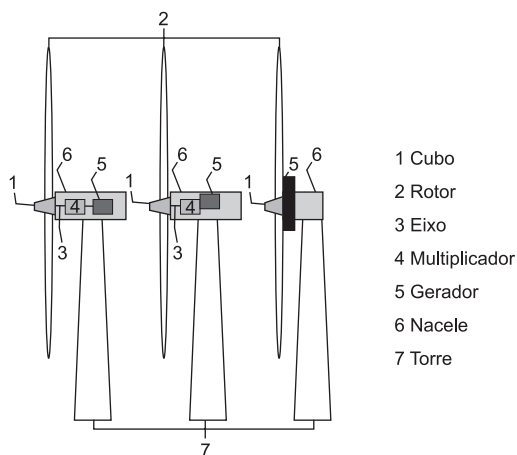
¹¹ A Wobben também exporta as pás dos aerogeradores isoladamente.

¹² O uso da fibra de carbono na fabricação das hélices reduziria sensivelmente o peso desse componente e vem sendo combinada à fibra de vidro por alguns fabricantes. Mas o alto custo do material o torna pouco utilizado e, às vezes, proibitivo.

sendo os 20% restantes referentes a obras de infraestrutura, construção de subestações, cabos e linhas.

Figura 5

Componentes do Aerogerador



Fonte: Cresesb.

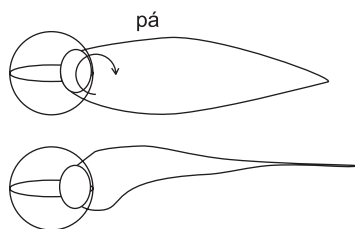
O funcionamento é, basicamente, o mesmo para todos os modelos de aerogeradores horizontais citados. O movimento das hélices é transmitido ao eixo e, em seguida, ao gerador, que realiza a conversão eletromecânica, produzindo energia elétrica.

Os equipamentos requerem uma velocidade mínima de vento para que entrem em funcionamento, que em geral situa-se em torno de 3,5 m/s. Entretanto, ventos muito fortes não são adequados, pois danificam o equipamento e geram excessiva variação na tensão da rede elétrica à qual o equipamento está conectado. Aerogeradores com potência de 1,5 MW funcionam a velocidade máxima de 25 m/s.

Dessa forma, os aerogeradores apresentam sistemas de controle que ajustam e limitam a potência máxima gerada em caso de ventos muito fortes, evitando que as hélices girem aceleradamente durante vendavais. Os sistemas mais conhecidos são *pitch* e *stall*. O primeiro faz a “regulação de potência por ângulo de passo”, isto é, controla a inclinação das pás. Um dispositivo compara várias vezes por segundo a velocidade do vento e, quando esta ultrapassa a potência nominal do gerador, é enviado um sinal ao mecanismo que altera o alinhamento das pás, que “giram” em torno de seu eixo de forma a reduzir o ângulo de ataque do vento, permitindo que apenas a potência nominal seja extraída.

Figura 6

Pitch: Controle de Regulação por Ângulo de Passo



Fonte: BNDES.

O controle *stall* é “um sistema passivo que reage à velocidade do vento. As pás são fixas em seu ângulo de passo e não podem ser giradas em torno de seu eixo. O seu ângulo (...) é escolhido de tal maneira que, para velocidades de ventos maiores que a nominal, o fluxo em torno do perfil do rotor descola da superfície da pá. Isso reduz as forças atuantes de sustentação e aumentam a de arrasto. Menores sustentações e maiores arrastos rotacionais atuam contra um aumento da potência do rotor” [*Energia eólica – princípios e tecnologias*, Cresesb (2008)]. A aerodinâmica das pás é projetada para que, no momento em que a velocidade do vento supere o limite de segurança, haja turbulência e, então, entre em operação um sistema de travagem do rotor. Os aerogeradores mais antigos contavam apenas com o controle *stall*, mas atualmente é possível ver equipamentos com os dois controles.

Há, ainda, um sistema de freio para a paralisação total do equipamento no intuito de permitir os serviços de manutenção e outro sistema de proteção contra sobrevelocidade, que desconecta o gerador da rede.

Por último, existe o controle *yaw*, que tem como função otimizar o aproveitamento da turbina. Esse controle gira o rotor de forma que as hélices fiquem sempre de frente para o vento, permitindo o rendimento máximo do equipamento.

Os aerogeradores podem ser divididos em três categorias de potência: pequeno, médio e grande portes. Os de pequeno porte têm capacidade de gerar até 10 kW e são ideais para abastecer residências e fazendas em localidades remotas, onde o custo de uma rede de transmissão é demasiadamente alto. Os equipamentos de médio porte têm capacidade entre 10 kW e 250 kW e são usados tanto por residências quanto por usinas eólicas mais antigas. A evolução da dimensão e capacidade destes equipamentos nas duas últimas décadas é notável. Há 25 anos, os rotores tinham áreas menores que reduziam o aproveitamento do equipamento e

a capacidade média dos aerogeradores variava entre 50 e 100 kW. Em 2007, a média de potência dos aerogeradores instalados foi de 1.492 kW. A título de curiosidade, a maior turbina do mundo em operação foi produzida pela alemã Enercon e possui potência de 6.000 kW e diâmetro de 126 metros.¹³

Por conta da variabilidade e, em alguns casos, imprevisibilidade do fluxo dos ventos, o total de capacidade instalada em um parque eólico pode ficar bem distante do total de energia de fato produzida por ele. Não é raro ter um fator de capacidade – medida do total de energia produzida como percentual do total da capacidade instalada – abaixo dos 30%. Na Alemanha, o fator de capacidade médio está estimado entre 20% e 30%; na Argentina, entre 40% e 50%; e, no Brasil, entre 30% e 40%, sendo o litoral nordestino uma área privilegiada, onde este fator pode chegar a 60%.

O custo dos equipamentos e dos projetos eólicos, um dos principais entraves ao aproveitamento comercial da energia eólica, reduziu-se significativamente nos últimos anos e vem contribuindo para o aumento da instalação de capacidade eólica no mundo. Um número maior de fabricantes de aerogeradores vem aumentando a concorrência do setor, e o uso de tecnologias mais modernas permite melhor aproveitamento do equipamento. Há cinco anos, as turbinas ficavam mais de 15% do tempo paradas, enquanto atualmente este percentual não passa de 3%. As torres eram instaladas a alturas de 30 metros, quando hoje chegam a 100 metros, aproveitando-se de ventos mais fortes e frequentes. Uma única turbina moderna produz cerca de 180 vezes mais eletricidade que um equipamento de vinte anos atrás. O custo de geração de energia eólica, que chegava a US\$ 0,38 por kWh na década de 1980, caiu para US\$ 0,04 em alguns parques construídos em 2001, segundo Portella (2007). É verdade, no entanto, que, mesmo com um maior número de fabricantes no mercado, desde 2003 o preço dos aerogeradores (US\$/MW) subiu ligeiramente, consequência do excesso de demanda sentido no período. Esse movimento de preços não deve se perpetuar no longo prazo.

Vale dizer que os aerogeradores para bases *offshore* são mais caros que os de mesma potência instalados em terra, por causa dos custos com sustentação das turbinas e da infraestrutura elétrica mais complexa requerida para levar a energia gerada até a subestação. Os custos de operação e manutenção são também mais elevados. O kWh gerado no mar tinha custo equivalente ao dobro do custo em terra. Em reportagem de 2.3.2009 publicada pela revista *Época*, apontou-se que o custo oceânico é atualmente 40% maior.

¹³ Entretanto, em 24.9.2008, a CNN reportou em seu site uma encomenda, feita pelo governo inglês à fabricante Clipper, de um modelo de aerogerador com capacidade de 10 MW.

Outra diferença entre os aerogeradores *onshore* e *offshore* é a potência. Os recentes aerogeradores instalados em alto-mar têm capacidade para gerar no mínimo 3 MW. Quanto mais afastado da costa, mais lisa é a superfície dos oceanos e essa baixa rugosidade resulta em maior velocidade dos ventos. Mas velocidade não é o único fator que torna possível a instalação de aerogeradores em uma região; a estabilidade dos ventos é muito importante. Neste caso, vale ressaltar que a turbulência nos oceanos é baixa em razão da pequena variação de temperatura em sua vasta área e da quase inexistência de obstáculos. Isto cria condições ideais para a instalação de usinas eólicas *offshore*.

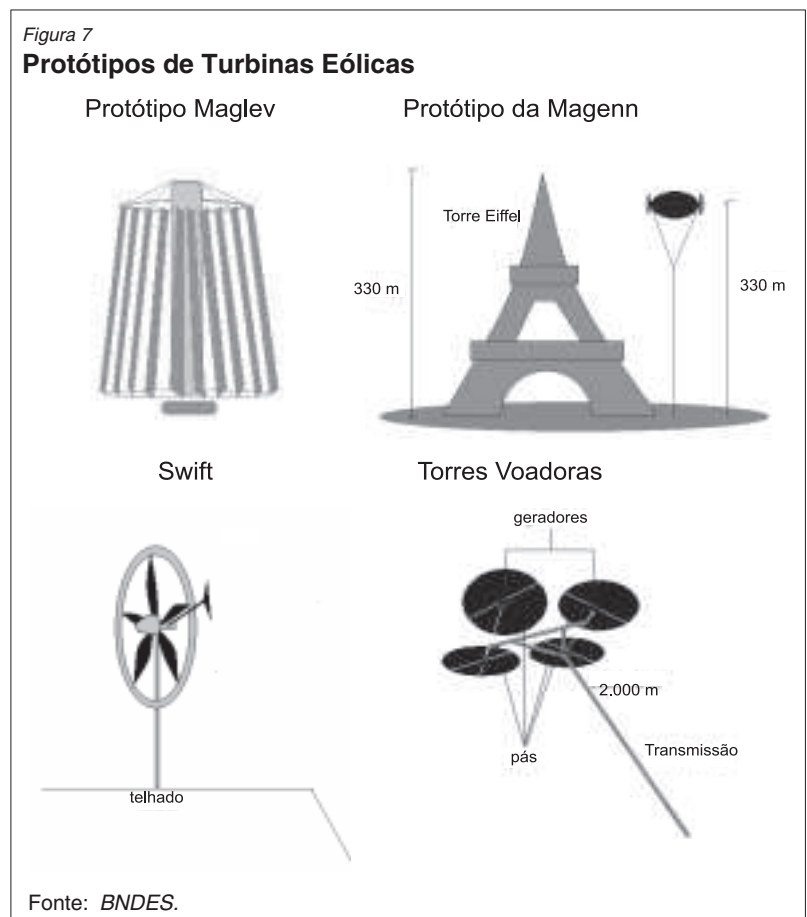
Apesar da popularidade dos modelos de três pás, o setor vem inovando tanto em *design* quanto em tecnologia, na busca de equipamentos mais potentes. Recentemente, a Maglev, empresa que desenvolve pesquisas e produtos na área de magnetismo, apresentou um protótipo cujo objetivo é produzir 1.000 MW e entrar em operação mesmo com ventos de baixíssima velocidade (1,5 m/s). Com um *design* diferente dos tradicionais aerogeradores de três hélices, a nova turbina tem inúmeras pás verticais, que lhe dão o aspecto de um megaedifício. Utilizando levitação magnética, as pás ficam acima da base do equipamento e giram sem atrito, ocupando uma área de até 100 acres. A turbina teria o custo de manutenção 50% inferior ao dos aerogeradores convencionais e durabilidade 25 vezes maior. Estuda-se, no momento, a viabilidade comercial deste projeto.

A empresa canadense Magenn também apresentou um revolucionário projeto, já em fase de testes. Balões de hélio infláveis, a 300 metros da superfície, dotados de um sistema que os faz girar ao longo de seu eixo horizontal, captariam ventos mais fortes e estáveis. O equipamento ficaria suspenso por cabos de aço e operaria com ventos de 1 m/s a 28 m/s de velocidade. Com isso, a capacidade média de conversão dos ventos em eletricidade seria de 50%, quase o dobro dos convencionais aerogeradores de três pás. O produto, denominado sugestivamente de MARS (Magenn Air Rotor System), poderá custar cerca de € 8 mil e os primeiros modelos terão capacidade de apenas 10 kW a 25 kW, sendo usados para fins domésticos.

Outro conceito de aerogerador para uso doméstico, desenvolvido pela empresa Renewable Devices, em parceria com a Cascade Engineering, chama-se Swift Wind Energy. Com rotor de diâmetro de 7 metros, o equipamento foi projetado para ser instalado no telhado das residências. O modelo pode custar entre US\$ 10 mil e US\$ 12 mil e opera à velocidade mínima de ventos de 3,6 m/s, gerando ruído de até 35 decibéis, o que é silencioso para o padrão doméstico. O fabricante garante que o equipamento é capaz de gerar 2.000 KWh anualmente.

Ambicioso é o projeto de construção de “torres voadoras” [WWF (2008)], que teriam pás reguláveis suspensas a 2 mil metros do solo para captar ventos ainda mais fortes e constantes.

Para os modelos *offshore*, a empresa escocesa Grean Ocean Energy vem desenvolvendo um mecanismo de aproveitamento da energia cinética vinda das ondas, que seria acoplado à torre do aerogerador e poderia aumentar em até 50% o rendimento do equipamento.



Panorama Mundial

Estima-se que o potencial eólico bruto mundial permita gerar cerca de 278 mil TWh de eletricidade anualmente, mas, em razão de restrições técnicas e socioambientais,¹⁴ apenas 39 mil TWh¹⁵ seriam de fato aproveitáveis. Isso representa mais que

¹⁴ Isso inclui a dificuldade de extrair a energia em terras densamente povoadas ou em regiões de acesso difícil.

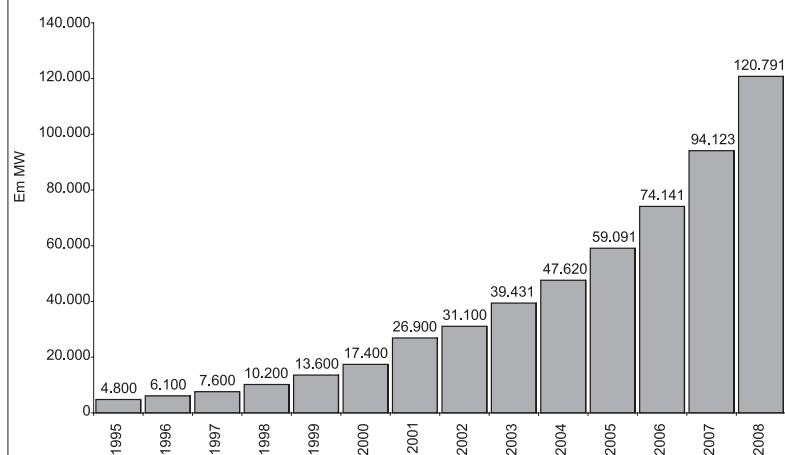
¹⁵ Estimativa do German Advisory Council on Global Change (2003).

o dobro do consumo mundial de eletricidade. No entanto, a atual capacidade eólica instalada está muito aquém desse valor, sendo capaz de gerar apenas 200 TWh anuais de energia elétrica, o que representa 1,3% do total da eletricidade consumida globalmente.

A capacidade eólica mundial atingiu 121 GW em 2008, superando a estimativa de 115 GW realizada pelo GWEC em 2007. Com essa nova capacidade, o planeta evita, anualmente, a emissão de cerca de 158 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera.

Gráfico 3

Evolução da Capacidade Mundial Instalada



Fonte: GWEC (2007).

Segundo estimativa da World Wind Energy Association (WWEA), a capacidade eólica mundial instalada chegará a 170 GW em 2010 e 240 GW em 2012, o que corresponderia a 3% da produção total de eletricidade.

A Europa concentra mais da metade da capacidade eólica instalada mundialmente, seguida da América do Norte e da Ásia. As demais regiões têm participação reduzida, respondendo conjuntamente por menos de 2,5% da capacidade eólica global.

Programas energéticos na América do Norte e na Ásia vêm incentivando a instalação de imensos parques eólicos anualmente, de forma que a Europa, pela primeira vez em 2008, deixou de ser a região líder em incremento de capacidade.

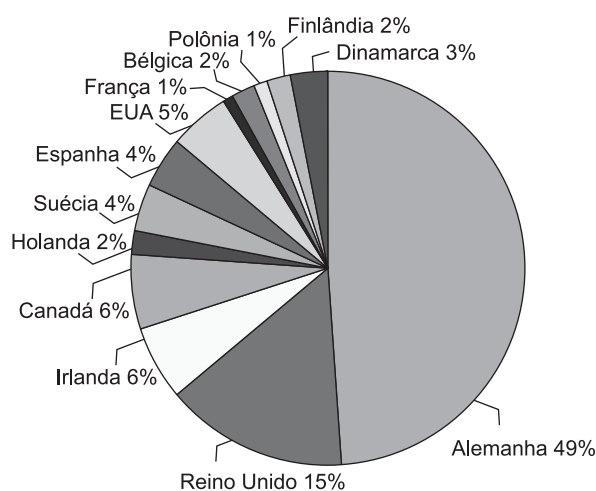
Há uma aposta grande no aumento da capacidade eólica *offshore*, que ainda é tímida, totalizando apenas 1 GW no mundo. A previsão para 2010 é que este valor seja 11 vezes maior e, segundo Portella (2007), 49% dessa capacidade estará concentrada na Alemanha.

Tabela 1

Capacidade Eólica Instalada e Incremento Registrados em 2008 por Região

REGIÃO	INCREMENTO EM 2008 (Em MW)	PARTICIPAÇÃO (Em %)	TOTAL INSTALADO (Em MW)	PARTICIPAÇÃO (Em %)
Europa	8.877	32,8	65.946	54,6
América do Norte	8.881	32,8	27.539	22,8
Ásia	8.589	31,7	24.368	20,2
Região do Pacífico	486	1,8	1.644	1,4
África e Oriente Médio	130	0,5	669	0,6
América Latina e Caribe	94	0,3	625	0,5
Total	27.057	100,0	120.791	100,0

Gráfico 4

Previsão para a Capacidade Instalada Offshore em 2010

Fonte: Portella (2007) e U.S. Energy Department (2006).

Este crescimento esperado em capacidade eólica mundial tem estimulado a entrada de mais empresas na cadeia de aerogeradores, que ainda possui uma estrutura oligopolista, com quatro empresas dominando mais de 70% do mercado mundial. O oligopólio advém de barreiras à entrada representadas pela necessidade de domínio de tecnologia de ponta e escala para produzir os aerogeradores.

Um movimento observado nos últimos anos tem sido o da fusão e aquisição de empresas de aerogeradores, principalmente por fabricantes sem tradição no mercado. Muitas empresas, quando perceberam a rentabilidade que poderiam extrair desse setor, optaram por comprar outros fabricantes com experiência no ramo para ter rápido acesso a essa tecnologia. Este foi o caso da GE, que adquiriu os negócios da Enron Wind, com plantas na Alemanha e nos EUA, da indiana Suzlon, que adquiriu a belga Hansen

Transmission, a unidade de pesquisa e desenvolvimento da alemã Südwind e, recentemente, 30% da gigante alemã Repower. A alemã Siemens também adquiriu a dinamarquesa Bonus Energy antes de ingressar no mercado de aerogeradores, enquanto as francesas Areva e Alstom adquiriram, respectivamente, a alemã Multibrid e a espanhola Ecotecnica, iniciando suas atividades no setor.

Tabela 2

**Os Dez Maiores Fabricantes de Aerogeradores do Mundo
– Market Share**

(Em %)

RANKING 2007	FABRICANTE	PAÍS DE ORIGEM	2005	2006	2007
1	Vestas	Dinamarca	27,6	28,2	22,8
2	GE Wind	EUA	17,5	15,5	16,6
3	Gamesa	Espanha	12,6	15,6	15,4
4	Enercon	Alemanha	14,2	15,4	14
5	Suzlon	Índia	6,1	7,7	10,5
6	Siemens	Dinamarca	5,4	7,3	7,1
7	Acciona	Espanha	1,9	2,8	4,4
8	Goldwind	China	1,1	2,9	4,2
9	Nordex	Alemanha	2,6	3,4	3,4
10	Sinovel	China	0	0,5	10,5

Fonte: *BTM World Consult.*

O intenso incremento de capacidade nos últimos anos provocou excesso de demanda no mercado de turbinas para a geração de energia eólica em 2007. O setor, que movimentou US\$ 37 bilhões em novos equipamentos¹⁶ e empregou 350 mil pessoas,¹⁷ sofreu com a falta do produto e filas para entrega naquele ano. Em 2008, o mercado de aerogeradores se manteve aquecido, movimentando US\$ 47,5 bilhões e empregando 400 mil pessoas, embora o último trimestre tenha apresentado um arrefecimento da demanda, efeito da crise financeira mundial.

¹⁶ *Dados de 2007.*

¹⁷ *Inclui empregos diretos e indiretos na manufatura de aerogeradores, cadeia de suprimentos e instalação.*

Tabela 3

Ranking dos Países com Maiores Capacidades Eólicas (2008)

CATEGORIA 1: CAPACIDADE EÓLICA INSTALADA (2008)			CATEGORIA 2: CAPACIDADE EÓLICA INCREMENTAL (2008)		
Ranking	País	MW	Ranking	País	MW
1	EUA	25.170	1	EUA	8.358
2	Alemanha	23.903	2	China	6.300
3	Espanha	16.754	3	Índia	1.800
4	China	12.210	4	Alemanha	1.665
5	Índia	9.645	5	Espanha	1.609
6	Itália	3.736	6	Itália	1.010
7	França	3.404	7	França	950
8	Reino Unido	3.241	8	Reino Unido	836
9	Dinamarca	3.180	9	Portugal	712
10	Portugal	2.862	10	Canadá	523
	Resto do Mundo	16.686		Resto do Mundo	3.293
Total		129.791	Total		27.056

Fonte: GWEC.

Os Principais Mercados• **Europa**

Em 2007, a energia eólica representou 40% de todo o incremento de capacidade de geração de energia na Europa. O mercado europeu é regulado por uma instrução da Comunidade Econômica Europeia, que determina metas para assegurar o mínimo de 12% de participação de fontes renováveis em 2010.¹⁸

Os estados membros devem aprovar e publicar de cinco em cinco anos um relatório com as metas nacionais relativas à porcentagem do consumo de eletricidade produzida com base em fontes renováveis sobre o consumo total de eletricidade do país.

A implementação dessas metas tem assegurado forte demanda por aerogeradores e estimulado mais empresas a entrar no setor. Das dez maiores empresas atuantes no ramo mundial, seis são europeias.

¹⁸ Atualmente, a Comunidade Econômica Europeia debate a possibilidade de este percentual passar para 20% em 2020.

Dinamarca, Espanha, Portugal e Alemanha são os países que merecem maior destaque na busca pelo aumento da participação da fonte eólica em suas matrizes energéticas, como pode ser visto na Tabela 4. Itália, França e Inglaterra, embora com participações menores, estão bem posicionadas em comparação com o resto do mundo.

Tabela 4

Participação da Fonte Eólica na Matriz Elétrica dos Países

(Em %)

PAÍSES COM MAIORES TAXAS DE PARTICIPAÇÃO EÓLICA SOBRE CONSUMO DE ELETRICIDADE — 2007

Dinamarca	21,40
Espanha	8,80
Portugal	7,00
Alemanha	7,00
Índia	1,70
Inglaterra	1,50
Itália	1,30
Estados Unidos	0,80
França	0,70

Fonte: *Revista Veja*, número 2.080, 1.10.2008.

Além da presença de metas, a construção de um marco regulatório energético transparente para os investidores no longo prazo, bem como a presença de uma rede de incentivos, é o que permite à Europa ter a maior capacidade de geração de energia eólica do mundo.

Na Alemanha, por exemplo, a criação de um sistema de tarifa fixa pelo governo, que define o preço do kWh a ser pago nos próximos vinte anos pela empresa de distribuição aos produtores de energia renovável, reduziu significativamente o risco dos empreendimentos eólicos, atraindo mais investidores [Ackermann e Söder (2002)]. Em outros países, como Suécia e Itália, o incentivo do governo à fonte eólica é dado pelo sistema de cotas para energia renovável, no qual o governo decide a quantidade de energia renovável a ser comprada, ficando a cargo do mercado definir o preço. Além disso, os governos podem criar incentivos tributários, como é o caso da Holanda e de alguns estados da Índia.

A Dinamarca foi um dos primeiros países a investir pesadamente na geração de eletricidade a partir dos ventos, mas é a Alemanha a líder europeia em capacidade eólica.

Tabela 5

Capacidade Eólica Instalada na Europa por País

PAÍSES	2007	2008
Alemanha	22.247	23.903
Espanha	15.145	16.754
Itália	2.726	3.736
França	2.454	3.404
Reino Unido	2.406	3.241
Dinamarca	3.125	3.180
Portugal	2.150	2.862
Países Baixos	1.747	2.225
Suécia	788	1.021
Irlanda	795	1.002
Áustria	982	995
Grécia	871	985
Polónia	276	472
Noruega	326	428
Turquia	147	433
Outros*	955	1.305
Total	57.140	65.946

Fonte: GWEC.

* Bélgica, Bulgária, Croácia, República Tcheca, Estônia, Finlândia, Hungria, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Romênia, Rússia, Eslováquia, Suíça e Ucrânia.

a) O Pioneirismo Dinamarquês

A Dinamarca consta como pioneira no desenvolvimento de parques eólicos. Desde 1890, o país já utilizava aerogeradores com a finalidade de geração de energia elétrica. Mas foi após o primeiro “Choque do Petróleo” em 1973 que o governo dinamarquês lançou um programa energético que visava ao estímulo de fontes alternativas e renováveis. Foi neste contexto que, em 1976, a primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada no mundo.

Os primeiros planos dinamarqueses com metas de energia foram criados em 1981, propondo que, em 2000, 10% do consumo de eletricidade fosse proveniente de fonte eólica. Esse objetivo foi alcançado em 1997.

No início da década de 1990, a Dinamarca foi também pioneira na construção de usinas eólicas em alto-mar, aproveitando a enorme potência de seus ventos marítimos. Hoje, as turbinas *offshore* ilustram inúmeros cartões-postais do país.

Algumas das maiores empresas dinamarquesas de energia eólica, apesar de terem nascido com uma vocação diferente, mudaram de ramo de negócios motivadas pelos incentivos do governo. A Vestas produzia máquinas agrícolas e, hoje, é a maior fabricante mundial de turbinas eólicas, com presença em sessenta países e participação de 23% no mercado global. A LM, grande empresa fabricante de pás, originalmente atuava como fabricante de móveis.

No total, o país conta com 180 empresas no ramo, empregando mais de 20 mil pessoas internamente e movimentando US\$ 4,4 bilhões anuais.

A capacidade eólica instalada no país é, atualmente, de 3.000 MW, cerca de metade do que vão produzir as usinas hidrelétricas previstas para o rio Madeira no Brasil. Não é a maior capacidade do mundo em termos absolutos, mas o é em termos relativos, pois representa cerca de 20% da eletricidade utilizada no país.

b) O Fim da Liderança Alemã

Com mais de 22 GW instalados, a Alemanha possuía, até 2007, a maior base mundial instalada de aerogeradores. São mais de 19 mil turbinas eólicas em operação, permitindo a produção de 7% do total da energia utilizada no país. Para 2030, a meta é que esse percentual chegue a 30%.

A aprovação da lei de 1991 – que garante aos produtores alemães de eletricidade com base em energias renováveis até 90% do preço de venda do kWh – foi, sem dúvida, fundamental para incentivar o crescimento da participação das fontes renováveis na matriz energética do país. No entanto, por não levar em conta o custo das externalidades ambientais, a energia eólica era ainda mais cara que outras energias. Quando, em 2000, foi aprovada a lei criando diferentes tarifas para diferentes fontes de energia por um determinado número de anos, a energia eólica tornou-se atraente.

A indústria eólica alemã faturou, em 2007, cerca de € 6,5 bilhões e quase 70% deste valor foi obtido via exportação de equipamentos. As três principais fabricantes germânicas – Enercon, Siemens e Repower – dominam aproximadamente 20% do mercado mundial de aerogeradores. A indústria eólica alemã já consome mais aço e emprega mais pessoas que a sua tradicional indústria automobilística.

A Siemens é a sexta maior empresa de aerogeradores, mas é líder no ramo de turbinas eólicas do tipo *offshore*.

A liderança alemã em capacidade instalada foi extinta em 2008, com a ascensão dos Estados Unidos. Mas, mesmo na Europa, os alemães têm um concorrente à altura, que vem adicionando anualmente mais capacidade que muitos países do continente: a Espanha.

c) A Ascensão Espanhola

A ascensão da Espanha entre os maiores fabricantes de energia eólica foi possível graças aos incentivos governamentais às fontes renováveis e à fabricação local de equipamentos.

Até 2007, o produtor de energia podia escolher entre um sistema de tarifa fixa ou uma tarifa de mercado. A escolha era refeita ao fim do período de um ano, o que dava ao produtor a opção de mudar o sistema de tarifa. Em 2007, o marco regulatório espanhol sofreu algumas mudanças que, embora tenham desagradado a uma parte dos investidores do setor eólico, não alteraram significativamente o sistema anterior.

A legislação atual atrela os investimentos em energia eólica à instalação da fábrica de componentes e equipamento em solo espanhol. Eles só concedem licenças de instalação de parques eólicos se os equipamentos forem adquiridos de fornecedores locais.

A Espanha tem inúmeras pequenas empresas montadoras de aerogeradores e conta com duas das dez maiores fabricantes do mundo: Gamesa e Acciona.

Para 2008, é esperado que a geração de energia eólica no país fique à frente da geração nuclear e térmica a carvão. Até 2010, o governo espanhol espera que 30% da energia primária seja proveniente de fontes alternativas.

d) Outros Países da União Europeia

Uma “segunda onda” de países, marcada especialmente por Portugal, França e Itália, apareceram recentemente no mercado, viabilizando projetos em volume sem precedentes. Mas suas capacidades ainda são pequenas, representando no máximo 15% da capacidade instalada de energia eólica da Alemanha.

Desde 2007, o maior parque eólico da Europa está localizado no norte de Portugal. O parque do Alto Minho I possui 120 aerogeradores com potência total de 240 MW. A construção da usina, iniciada em janeiro de 2007, envolveu um investimento de € 360 milhões.

- **Ásia**

China e Índia figuram como os principais mercados asiáticos de energia eólica, embora Japão e Coreia do Sul tenham realizado investimentos recentes no setor. Segundo estimativas publicadas no relatório anual da GWEC, a Ásia em 2012 tomará o posto da Europa de maior mercado consumidor de energia eólica, em grande parte, em razão da pujança da demanda chinesa por eletricidade.

Tabela 6

Capacidade Eólica Instalada na Ásia por País

PAÍSES	2007	2008
China	5.910	12.210
Índia	7.845	9.645
Japão	1.528	1.880
Taiwan	281	358
Coreia do Sul	193	236
Filipinas	25	33
Outros*	5	6
Total	15.787	24.368

Fonte: GWEC.

* Tailândia, Bangladesh, Indonésia e Sri Lanka.

a) China

A China encerrou 2008 com 12,2 GW de capacidade eólica instalada, apresentando expansão superior a 100%, comparada ao ano anterior. Esta é uma resposta à grande pressão ambiental exercida pelos principais órgãos de proteção de meio ambiente do planeta. A matriz energética chinesa ainda depende largamente do carvão,¹⁹ o que contribui para tornar o país o maior emissor de gás carbônico do mundo.²⁰

Nos últimos anos, a China investiu fortemente em energias renováveis, principalmente de fonte hidráulica, tornando-se o maior produtor de energia renovável do mundo, terceiro maior produtor de bioetanol e maior fabricante e maior mercado de coletores solares do planeta. Isto se faz necessário numa economia que veio crescendo acima de 10% anualmente na última década e que demanda cada vez mais energia elétrica para manter seu crescimento.

¹⁹ O carvão supre 70% das necessidades energéticas da China.

²⁰ No entanto, as emissões per capita americanas continuam quatro vezes maiores do que as chinesas.

Até 2010, a produção de energia eólica chinesa deve chegar a 20 GW, segundo estimativas do Instituto de Pesquisas em Energia na China (ERI). A princípio, esta era uma meta para 2020, mas foi revista por ordens da Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma, corpo superior de planejamento industrial da China. Para 2020, a meta para este tipo de energia é de 30 GW.²¹ Em 2005, as energias renováveis representavam apenas 7,5% da energia consumida no país. A meta para 2010 é que esse percentual suba para 10% e, em 2020, para 15%.

Na China, a geração eólica tem sido estimulada por incentivos governamentais de todas as ordens. Uma reforma no sistema de subsídio para incentivar projetos eólicos deve ocorrer em breve. Apesar do aumento do preço do carvão nos últimos anos, o custo da energia eólica por kWh é ainda o dobro do custo das centrais de carvão. A China tem mais de cem usinas eólicas em operação e, segundo artigo publicado pela embaixada da China no Brasil, a maioria vem apresentando prejuízo. O preço da energia eólica flutuou entre 0,38 e 0,58 iuanes por kWh, e os projetos supunham um preço de 0,6 iuanes para que não houvesse perdas.

Como forma de incentivar a indústria de equipamentos locais, o governo cancelou sua política de isenção de tarifas de importação de aerogeradores com capacidade menor que 2,5 MW e impôs aos investidores dos projetos eólicos um índice de nacionalização dos equipamentos de 70%. Com isso, em 2007 cerca de 56% das unidades de geração de energia eólica instaladas no país foram fornecidas por fabricantes chineses. No entanto, parte dos componentes de alta tecnologia (como o gerador) continua sendo importada.

Existem mais de 40 empresas locais envolvidas na fabricação de aerogeradores na China, porém, segundo dados de 2007 da GWEC, as duas maiores fabricantes chinesas – Goldwind e Sinoel – responderam pelo fornecimento de 42% do incremento da capacidade instalada doméstica naquele ano.

A Goldwind é a maior fabricante chinesa e produz cerca de 500 aerogeradores por ano, sendo 80 com tecnologia da alemã Vensys.²² Outras grandes fabricantes chinesas são Sinoel, Windey e Dongfeng Electrical.

²¹ Mas, segundo relatório da GWEC, um envolvimento ainda maior do governo chinês poderia elevar essa capacidade para mais de 100 GW, isto é, mais do que a capacidade eólica instalada atualmente em todo o planeta.

²² Fundada em 1990, a Vensys é uma empresa especializada em engenharia e design de turbinas para aerogeradores. A empresa desenvolve produtos e vende as licenças de uso da tecnologia para os fabricantes de aerogeradores. Além da Goldwind, a Vensys licenciou outras empresas no mundo para fabricar aerogeradores com a sua tecnologia. Entre elas estão a indiana Regen Powertech e a argentina IMPSA, cujo projeto de instalação de uma fábrica de aerogeradores em Pernambuco – a WPE – é financiado pelo BNDES.

b) Índia

Segundo avaliação do governo, a Índia apresenta um potencial eólico de geração de energia elétrica de aproximadamente 45 GW. A meta do governo é obter uma capacidade de produção de energia eólica adicional de 10 GW até 2012.

Na Índia, as grandes hidrelétricas respondem por 25% da matriz elétrica, as demais energias renováveis (incluindo a eólica), por 8%, e as térmicas, por 64%.

O mercado indiano tem seu crescimento sustentado por incentivos governamentais abrangentes, tanto para a implantação de fábricas como para a geração. No início da década de 1980, o governo lançou um programa de produção de energia eólica, mas a expansão do setor só começou recentemente. De acordo com a *Gazeta Mercantil*, edição de 28.1.2008:

O governo adotou uma política fiscal favorável, que previa uma depreciação acelerada de 80% para projetos eólicos no primeiro ano de instalação, uma isenção do imposto de renda por dez anos, além de outras isenções de impostos alfandegários, de consumo e do imposto sobre as vendas. A Agência para o Desenvolvimento da Energia Renovável da Índia, patrocinada pelo governo, oferece também empréstimos a condições suaves para este tipo de projetos. A Lei sobre Eletricidade de 2003 imprimiu um novo ímpeto, obrigando os estados a fixar uma porcentagem mínima de energia renovável que as empresas de serviços públicos devem comprar e a estabelecer tarifas preferenciais para a compra. Estes fatores em seu conjunto tornaram a Índia o quarto maior mercado de energia eólica do mundo, e sua capacidade de geração subiu de apenas 41 megawatts, em 1992, para 7.660 MW em setembro de 2007 – a maior parte dos quais vem de projetos privados do setor industrial.

A Suzlon é a maior empresa indiana no mercado e é a quinta maior do mundo. Criada em 1995, com apenas vinte pessoas, a empresa entrou quase que acidentalmente no ramo de aerogeradores. O fundador da empresa, Tulsi Tanti, até então administrava a fábrica de tecidos da família e tinha problemas constantes com interrupções no fornecimento de energia, por causa das más condições da rede de distribuição local. Para contornar este problema, em 1994 o empresário encomendou duas turbinas eólicas da marca dinamarquesa Vestas. Observando que, além de ser um sucesso, a ideia já estava sendo copiada por outros empresários, Tulsi resolveu, junto com seus três irmãos, fundar a Suzlon Energy, fabricante de aerogeradores. No início, o grande diferencial da empresa era a oferta de um pacote completo, isto é, o produto, a instalação e a manutenção. Outra grande ideia era dar a opção ao comprador de não instalar a turbina no seu próprio terreno, mas num parque eólico e tornar-se proprietário de uma cota da energia produzida

por aquele parque, proporcional à capacidade de geração da sua turbina.

A Suzlon, nesta época, não possuía tecnologia própria. Os irmãos Tanti demonstraram interesse em comprá-la no exterior, mas não houve empresa interessada em vendê-la. Dessa forma, a Suzlon firmou acordo de *joint venture* com a alemã Súdwind – criada por alunos da Universidade Técnica de Berlim – e passou a ser distribuidora de turbinas desta marca. Quando a Súdwind faliu, na década de 1990, a Suzlon adquiriu a divisão de pesquisa e desenvolvimento da parceira e montou seu centro de pesquisa na Alemanha. A empresa ainda adquiriu a belga Hansen Transmission – segunda maior fabricante de caixas de engrenagens eólicas do mundo e uma grande fábrica holandesa de pás. Em 1999, o governo do estado sede da Suzlon aprovou uma lei permitindo a dedução do imposto de renda dos custos de instalação de turbinas eólicas.

A empresa voltou às manchetes em maio de 2007, quando pagou € 450 milhões pela aquisição de 33,6% da gigante alemã Repower.²³ Isto faz parte da estratégia da empresa de aumentar sua inserção no mercado europeu. Atualmente, os EUA são o maior mercado da Suzlon.

Além da Suzlon, há no mercado outra grande empresa indiana, a Reliance Power, controlada pelo grupo Anil Ambani, que concluiu a maior oferta pública inicial da Índia. Neste país, a concorrência tem se acirrado desde a chegada das fábricas das maiores empresas de turbinas eólicas do mundo, como a Enercon da Alemanha, a Vestas da Dinamarca e a GE Wind Energy, dos Estados Unidos. As empresas locais também fizeram alianças com algumas estrangeiras, como é o caso da Vestas, RRB India, Elecon Engineering e Sterling Infotech Group.

Desta forma, desde 2005 mais de 80% dos componentes das turbinas instaladas na Índia são nacionais.

• Américas

a) O Novo Líder Mundial em Duas Categorias

Em 2007, os EUA foram os líderes mundiais em adição de capacidade eólica. Foram mais de 5,2 GW, que movimentaram investimentos de US\$ 9 bilhões, e estimavam-se para 2008 outros 5 GW instalados, elevando a atual capacidade para 21,8 GW, o que representaria mais de 1% do fornecimento de eletricidade do país.

²³ A Suzlon comprou participações com direito a voto da Repower, mas isto não concede à empresa acesso aos projetos da Repower, pois, segundo uma lei alemã, a empresa indiana precisaria fazer uma oferta de compra das ações dos minoritários.

A realidade superou as expectativas. Dados recentes apontam que o país mais uma vez foi líder em adição de capacidade eólica (8,3 GW), atingindo em 2008 capacidade instalada de 25 GW, contra 23 GW na Alemanha, o que torna os EUA o novo líder mundial também na categoria “capacidade eólica total instalada”. Com isso, a indústria eólica norte-americana já emprega cerca de 85 mil pessoas. Os equipamentos apresentaram capacidade média de 1,67 MW e o fator de capacidade dos projetos em operação no país supera 30%.

Em 2007, a energia eólica representou 30% de todo o incremento de capacidade de geração elétrica no país. Os acréscimos foram feitos em bases *onshore*, embora os EUA contem com uma incrível disponibilidade eólica *offshore*. Segundo o Departamento de Energia Norte-Americano, esta disponibilidade seria capaz de suprir toda a demanda de eletricidade do país.

Desde 1930, os Estados Unidos fabricam aerogeradores, que, com dimensões reduzidas, eram usados para carregar baterias em zonas rurais não servidas pela rede elétrica. Até 1960, dezenas de milhares de aerogeradores foram vendidos, mas a chegada das redes de eletrificação às zonas rurais causou a desativação gradual dessas máquinas.

As preocupações com a segurança energética, a pressão ambiental, a volatilidade de preço dos combustíveis e a redução do custo de novas tecnologias eólicas permitiram a revitalização do setor eólico nos EUA. Uma política agressiva de incentivos governamentais merece especial mérito nessa conquista. Para cumprir a meta de prover 20% da demanda elétrica até 2030 com energia provinda dos ventos, o governo vem concedendo créditos tributários para estimular a abertura de novas fábricas de aerogeradores e componentes para parques eólicos.²⁴

A GE Wind, divisão da General Electric, é a maior empresa americana no setor. Diferentemente de empresas como a Wobben, a GE Wind não fabrica todos os componentes das turbinas eólicas que levam a sua marca. Sua estratégia é focar na fabricação dos geradores e importar as pás e os componentes de fabricantes especializados.

Segundo o Earth Policy Institute (EPI), apenas os estados de Kansas, Texas e Dakota do Norte possuem potencial eólico suficiente para atender toda a demanda de eletricidade dos EUA. Até 2007, Califórnia e Texas responderam conjuntamente por 22% de

²⁴ Somente no ano de 2006, quatro fábricas de diversos fabricantes mundiais foram abertas em três estados norte-americanos.

toda a energia eólica produzida no país, contando com forte atuação dos seus respectivos governos estaduais. A Califórnia foi o primeiro estado do país a criar legislação específica para promoção do uso de fontes renováveis. Em 1999, o governo texano seguiu o exemplo e fixou uma meta de geração 2.880 MW em energias renováveis até 2009, que já foi alcançada; trabalha-se, portanto, com uma nova meta de 5.880 MW até 2015.

Tabela 7

Estados com as Maiores Capacidades Eólicas Instaladas nos EUA

ESTADO	CAPACIDADE INSTALADA EM 2007 (MW)	CAPACIDADE INSTALADA EM 2008 (MW)
Texas	5.605	7.116
Iowa	1.375	2.790
Califórnia	2.483	2.517
Minnesota	1.366	1.752
Washington	1.289	1.375
Total	8.092	15.550

Fonte: GWEC.

Colorado e Oregon, bem como todos os estados listados na Tabela 7, integram o grupo “over 1 club”, dos estados com capacidade eólica instalada superior a 1 GW.

Embora cada vez mais estados invistam na geração eólica, a previsão é que o Texas²⁵ continue como líder em capacidade instalada. Com investimentos de US\$ 11 bilhões, um ex-magnata do ramo do petróleo resolveu montar uma fazenda eólica com capacidade de geração de 4 GW. A encomenda do primeiro lote de 500 turbinas já foi feita, mas o projeto deve ficar pronto somente em 2011 e ocupará uma área de 800 quilômetros quadrados.

O governo texano anunciou a intenção de investir ainda US\$ 4,9 bilhões na expansão das linhas de transmissão, com o intuito de incentivar e captar a produção de energia eólica nas áreas rurais e distribuí-la nos grandes centros urbanos.

b) América Latina

A América Latina possui um enorme potencial eólico não explorado. A GWEC estima um acréscimo de 2.700 MW de capacidade até 2010 na região. Vale dizer que apenas a execução integral do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

²⁵ Neste estado, está localizado o maior parque eólico do planeta, capaz de produzir 735,5 MW, graças à instalação de 421 turbinas.

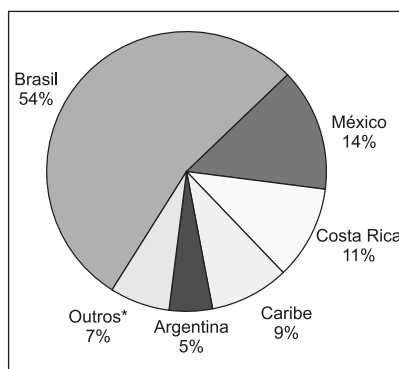
(Proinfa) no Brasil asseguraria mais de 50% desta meta. Para 2012, estima-se que o continente conte com 4,5 GW de capacidade eólica instalada, sendo Brasil e México os principais países colaboradores para o atendimento de tal patamar.

Tabela 8

Capacidade Eólica Instalada na América Latina por País

(Em MW)

AMÉRICA LATINA E CARIBE		
Países	2007	2008
Brasil	247	341
México	85	85
Costa Rica	70	70
Caribe	55	55
Argentina	29	29
Outros*	45	45
Total	531	625



Fonte: GWEC.

* Colômbia, Chile e Cuba.

A Argentina também merece destaque graças ao seu potencial. O país possui um dos maiores e melhores potenciais eólicos do mundo, estimado em 300.000 MW, dos quais apenas 29 MW encontram-se efetivamente instalados. De forma geral, as usinas eólicas argentinas são do tipo *onshore* e estão concentradas na província de Chubut, desenvolvidas para autoconsumo de cooperativas locais.

A Patagônia possui excelente potencial eólico, mas há elevados custos de transmissão associados à instalação de parques nesta região, pois o centro consumidor está muito distante dali. Além disso, os ventos da região são considerados instáveis, o que requer maior tecnologia do equipamento para enfrentar tal intempérie climática.

A falta de financiamentos de longo prazo na Argentina é um empecilho ao aumento de capacidade eólica no país. Essa escassez de recursos foi uma das razões que levaram o grupo argentino IMPSA a construir uma fábrica de aerogeradores no Brasil, contando com linhas de financiamento de longo prazo oferecidas pelo BNDES. A Caixa Econômica Federal, o Banco do Nordeste (BNB), o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), bem como o BNDES, oferecem ainda linhas de financiamento para apoio aos parques eólicos.

Outros países do continente também têm intenção de aumentar sua capacidade eólica. O Equador inaugurou em 2008 seu primeiro parque eólico em San Cristóbal, na ilha de Galápagos. O Chile aprovou a Lei de Incentivos Fiscais para o Fomento das Energias Renováveis. O governo mexicano também vem atuando ativamente para aumentar a participação da fonte eólica na matriz elétrica do país, que contribui com apenas 1% da eletricidade gerada atualmente. No México, o petróleo é o combustível com o qual o país produz eletricidade e sua produção vem caindo em razão do desgaste da gigante jazida Cantarell. Alguns projetos eólicos em andamento já preveem o atendimento de estabelecimentos privados. Este é o caso de projetos dirigidos pela empresa Vientos del Istmo, que fornecerá energia por fonte eólica às lojas da varejista Soriana, e da empresa francesa Energies Nouvelles, que abastecerá a cadeia Wal-Mart do México.

O Brasil e o Panorama Mundial

O país possui um potencial eólico comercial (*onshore*) estimado em 143.000 MW [Cresesb e Cepel (2001)], dos quais 402,78 MW [Aneel (2009)], isto é, apenas 0,3%, estão efetivamente instalados. Para efeito de comparação, todo o parque gerador brasileiro tem capacidade de 102.964 MW [Aneel (2009)].

Os dados para elaboração do potencial eólico brasileiro foram coletados em 2001 e devem sofrer uma revisão em breve. As medidas foram feitas com ventos a 50 metros. Atualmente, as torres podem ser instaladas a alturas muito superiores. Medições preliminares apontam que, a 100 metros, o potencial brasileiro superaria 220 GW.

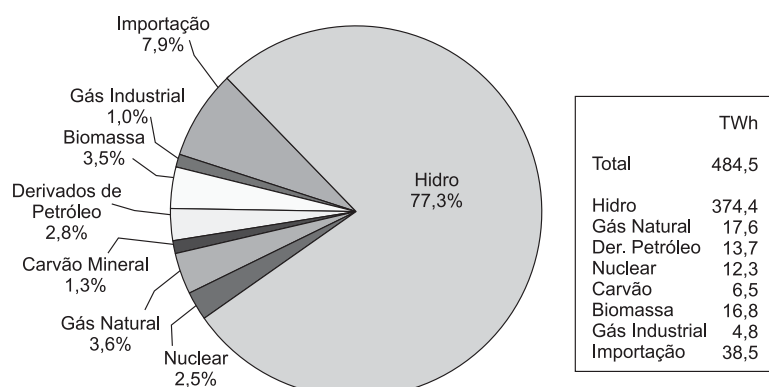
Uma crítica pertinente envolve a ausência de um sistema integrado de informações das medições de potencial eólico realizadas em diversas localidades do Brasil. Um mesmo local pode passar por repetidas medições por falta de registros anteriores. Isso representa um atraso para o aumento de capacidade eólica no país, uma vez que cada avaliação anemométrica leva até dois anos para ser concluída.

As “jazidas de vento” do Brasil estão entre as melhores do mundo, pois, além de contar com alta velocidade, os ventos são considerados bem comportados, diferentes de certas regiões da Ásia e dos Estados Unidos, sujeitas a ciclones, tufões e outras turbulências.

Mas a energia eólica ainda é pouco representativa na matriz energética nacional. Se considerarmos apenas as fontes usadas para gerar eletricidade, os ventos representam menos de 0,4% do total.

Gráfico 5

Matriz de Oferta de Energia Elétrica no Brasil em 2007



Fonte: Ministério de Minas e Energia.

O Nordeste brasileiro é considerado uma das regiões mais bem servidas de ventos do país e responde por 54% do potencial eólico brasileiro.²⁶ Nesta região, os ventos são controlados pelos alísios²⁷ de leste e brisas terrestres e marinhas, o que permite que toda a zona litorânea²⁸ apresente ventos de comportamento uniforme, com velocidade entre 6m/s e 9 m/s. As costas cearense e potiguar são as que apresentam ventos mais velozes. Juntos, os dois estados concentram 50 GW dos 75 GW estimados como potencial eólico da região nordestina. A presença de bloqueios montanhosos na parte continental de certos estados contribui para acentuar a velocidade dos ventos no Nordeste.

Condições Naturais

Há um aspecto estratégico relevante em favor da energia eólica no Nordeste: os períodos de seca, quando os reservatórios das barragens estão em seu nível mais baixo, coincidem com o período de maior incidência e intensidade de ventos. Com isso, há uma complementaridade quase perfeita entre as fontes eólica e hidrelétrica, garantindo o suprimento de energia contínuo e confiável na região durante o ano inteiro.

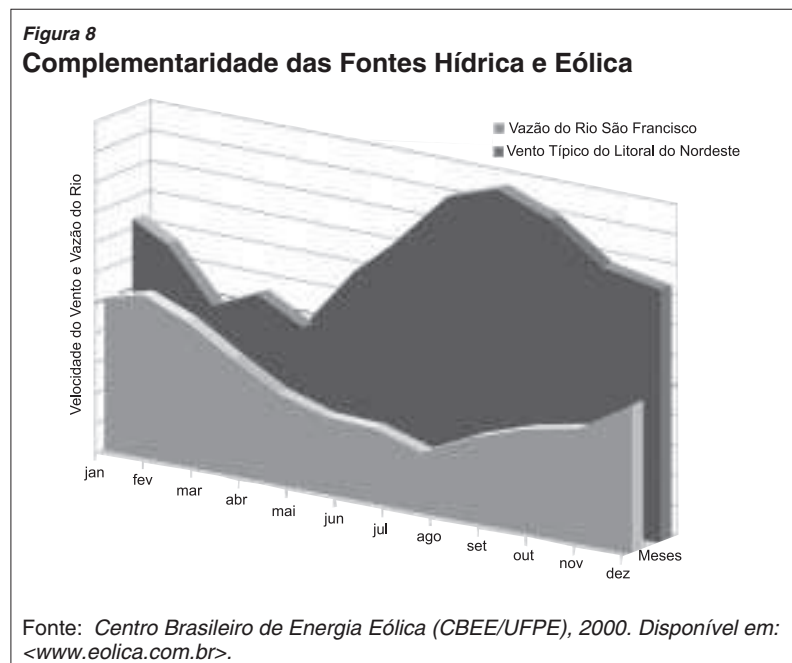
O Sudeste é a segunda região com maior potencial eólico *onshore* no Brasil, mas não representa nem metade da potência instalável do Nordeste. A faixa litorânea que se estende do sul do Espírito Santo até o nordeste do Rio de Janeiro é a mais privilegiada e apresenta ventos com velocidades médias próximas a 7,5 m/s.

²⁶ Desconsiderando o potencial marítimo.

²⁷ Os alísios são ventos persistentes que sopram, sobretudo, na parte inferior da atmosfera, sobre extensas regiões.

²⁸ Considera-se a extensão de 100 quilômetros de largura do continente.

Este é o efeito da presença de montanhas a oeste da costa, que bloqueiam o escoamento leste-nordeste. Fora da faixa litorânea, a região tem um potencial eólico concentrado no estado de Minas Gerais, mais precisamente na Serra do Espinhaço.



Vale dizer que a mesma complementaridade entre as fontes hídrica e eólica apresentada no Nordeste se repete no sistema energético do Sul-Sudeste.

O Sul é a terceira região em termos de potencial eólico instalável. A movimentação atmosférica local é controlada pela depressão ao nordeste da Argentina e o anticiclone²⁹ subtropical Atlântico. Isso cria um escoamento persistente de ventos numa vasta área com velocidades médias anuais entre 5,5 m/s e 6,5 m/s. Nos planaltos de baixa rugosidade (como os Campos de Palmas, no Paraná) e zonas de maiores elevações montanhosas, a velocidade média chega a 8 m/s. O litoral sul é outra zona que merece destaque pela intensidade dos ventos, que sopram predominantemente na direção leste-oeste e são acentuados pela ação das brisas marinhas durante o dia.

A região Norte é uma das que têm menor potencial eólico do país. O escoamento atmosférico é dificultado pelo atrito da superfície, que tem alta rugosidade, associado à longa trajetória sobre

²⁹ Um anticiclone é uma região da atmosfera em que a pressão é alta em relação às das regiões circunvizinhas, num mesmo nível.

florestas densas. Os gradientes fracos, combinados à zona difusa de baixas pressões centrada na região [Cresesb e Cepel (2001)], também contribuem para que a velocidade média dos ventos fique abaixo de 3,5 m/s.³⁰

A maior altitude ao norte de Roraima torna esta uma das localidades com maior potencial eólico da região, apresentando ventos médios anuais com velocidade acima de 6 m/s. Esse potencial só não é maior que o observado nos litorais do Amapá e do Pará. A maior intensidade dos ventos nessa faixa da região está associada aos seguintes fatores: a) distanciamento da depressão equatorial, que eleva a pressão atmosférica; b) menores índices de vegetação, que facilitam a passagem dos ventos; e c) redução da umidade do ar, que acentua a amplitude térmica ao longo do dia, intensificando a formação de brisas marítimas.

A região Centro-Oeste é a que apresenta a menor extensão em área favorável para extração de ventos, os quais sopram com velocidade média entre 4 m/s e 6 m/s, com raríssimos pontos em que podem chegar a 7,5 m/s. A velocidade aumenta à medida que nos aproximamos do sul da região, onde a vegetação é menos densa e o gradiente de pressão é mais acentuado. O estado do Mato Grosso do Sul, mais precisamente a área de fronteira com o Paraguai, é a parte mais privilegiada da região em termos de potencial eólico.

Além da velocidade dos ventos, outros fatores que não foram abordados nesta seção, como estabilidade e turbulência, devem ser considerados no cálculo do potencial eólico de cada região. A Tabela 9 sintetiza os resultados divulgados no *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro* – fonte das informações desta seção. O cálculo não inclui regiões cobertas por água (seja mar ou rio) e considera apenas a capacidade extraída por ventos com velocidade acima de 7 m/s.³¹

Tabela 9

Potencial Eólico Brasileiro por Região Geográfica

REGIÃO	POTENCIAL EÓLICO (MW)	ENERGIA ANUAL EQUIVALENTE (TWH/ANO)
Nordeste	75.050	144,29
Sudeste	29.740	54,93
Sul	22.760	41,11
Norte	12.840	26,45
Centro-Oeste	3.080	5,42
Total	143.470	272,20

Fonte: Cresesb e Cepel (2001) – *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*.

³⁰ Esta velocidade padrão é medida a 50 m do solo.

³¹ Para mais detalhes, o Atlas está disponível em versão pdf no endereço eletrônico http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/atlas_eolico_brasil/atlas-web.htm, no qual também se encontra a metodologia completa.

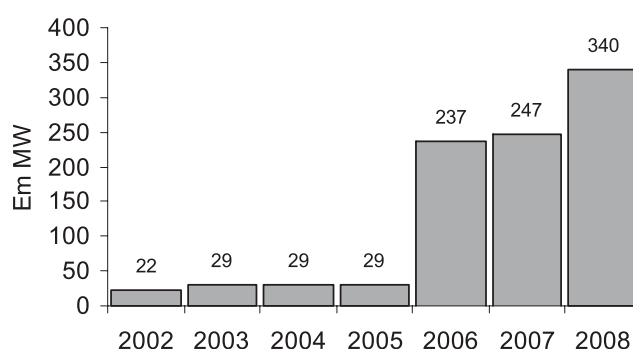
Evolução da Capacidade Instalada

A primeira turbina eólica no país foi instalada em 1992, na ilha de Fernando de Noronha, em Pernambuco. Apesar da baixa capacidade (75 kW), este equipamento mostrou à população brasileira que era viável a geração de eletricidade com base em ventos.

Mas só dez anos depois, com a criação do Programa de Incentivo a Fontes Alternativas (Proinfa),³² o potencial eólico brasileiro começou de fato a ser explorado. Dos 340 MW instalados até 2008 no Brasil, 324 MW foram feitos no âmbito deste programa.

Gráfico 6

Evolução da Capacidade Instalada de Geração Eólica no Brasil



Fonte: WWEA e Eletrobrás.

O Proinfa foi lançado pelo Ministério de Minas e Energia e, por meio desse programa, o governo brasileiro se comprometeu a comprar 3.315 MW de energia renovável, divididos igualmente entre eólica, biomassa e hidrelétrica (PCH),³³ que seriam instalados em duas fases. A primeira se estenderia de 2006 a 2008, enquanto a segunda só teria início após a conclusão e a avaliação da primeira. O programa garantiria a compra, pela Eletrobrás, da energia produzida, por meio de um contrato de compra e venda de energia (CCVE), com prazo de duração de vinte anos contados a partir da data de operação definida no contrato. A Eletrobrás seria a responsável pela realização das chamadas públicas. Como na primeira fase a quantidade de projetos de biomassa apresentados foi pequena, a fonte eólica recebeu mais que um terço das encomendas, sendo contratados, no total, 1.423 MW, correspondentes a 54 usinas eólicas, como se pode observar na Tabela 10.

³² O programa foi lançado em 2003, com base na Lei 10.438 de abril de 2002.

³³ Pequenas Centrais Hidrelétricas.

Tabela 10

Projetos no Âmbito do Proinfa

PROINFA 1ª FASE		TOTAL SELECIONADO		TOTAL EM OPERAÇÃO	
Fonte	Número de Projetos	Potência Total (MW)	Número de Projetos	Potência Total (MW)	
Biomassa	27	700,90	20	563,23	
Eólica	54	1.422,96	15	324,53	
PCH	63	1.191,40	39	775,20	
Total	144	3.315,26	74	1.662,96	

Fonte: Aneel (2009).

No ano de 2007, o aumento da capacidade eólica instalada foi ínfimo se comparado ao ano anterior (ver Gráfico 6), o que contribuiu para atrasar o cronograma mencionado. Segundo a Eletrobrás, esse mau desempenho deveu-se ao fato de vários projetos aprovados pelo programa terem enfrentado dificuldade para o cumprimento do conteúdo nacional mínimo exigido (60%).

Para contornar esse problema, o imposto de importação para aerogeradores, cuja alíquota era de 14%, foi zerado em 2007, a fim de permitir aos empreendedores do Proinfa atingir o índice mínimo de nacionalização exigido, uma vez que o critério de cálculo deste índice incorpora o imposto no conteúdo importado do equipamento. Essa alteração foi polêmica, pois o país contava com um fabricante de aerogeradores – a Wobben Windpower –, o que impediria, segundo os trâmites convencionais, que um importador se beneficiasse de um ex-tarifário para um bem com similar nacional. Os vencedores dos projetos eólicos alegavam que a presença de um monopólio nesta indústria justificava o pedido de redução do imposto. No entanto, a Eletrobrás, em defesa da alteração aduaneira, apresentou o argumento de que a indústria nacional de aerogeradores, cuja capacidade anual era de apenas 250 MW, não conseguiria atender sozinha à demanda prevista pelo Proinfa. *A posteriori*, observando a evolução da instalação da capacidade eólica no país nos anos de 2006, 2007 e 2008, percebe-se que a indústria nacional, ainda que se desconsiderem os investimentos feitos em expansão produtiva, teria condições de atender à demanda.

A mudança do imposto de importação não foi unanimemente entendida como positiva para o setor. Há a acusação de que o descumprimento dos prazos tenha se dado não pela dificuldade de cumprir o índice de nacionalização e sim pelo fato de alguns participantes do leilão não terem o objetivo de executar os projetos eólicos, mas revendê-los. Dessa forma, o atraso aumentava à medida que ocorria o repasse repetido dos projetos e, somente às vésperas da data de conclusão, era encaminhado o pedido de fornecimento

de equipamentos à indústria nacional, que, nestas condições e prazos, não tinha como entregar equipamentos a tempo.

Os projetos de PCH e usinas movidas a biomassa também sofreram atrasos, ligados à dificuldade de atendimentos às exigências ambientais e, no caso de biomassa, à dificuldade de fornecimento de equipamentos. Desta forma, dos 144 empreendimentos contratados, apenas 74 estão em operação, gerando cerca de 1.663 MW, como pode ser verificado na Tabela 10.

Esse fato obrigou a Eletrobrás a ampliar o prazo para implantação da primeira fase do programa. As empresas contratadas teriam até fevereiro de 2009 para terminar seus projetos. Após essa data, só serão postergados os empreendimentos nos quais a Eletrobrás aceitar os motivos de “caso fortuito” ou “força maior”, conforme prevê a legislação. Em decorrência dos atrasos, a Eletrobrás adquiriu a energia não gerada pelos projetos contratados no mercado livre.

O custo do programa entra nas faturas mensais pagas pelos consumidores finais do Sistema Interligado Nacional (SIN), exceto os de baixa renda (consumo mensal inferior a 80 kWh).

O setor aguardou os Leilões de Energia Nova A-3/2008 e A-5/2008.³⁴ Nesses leilões, todas as fontes de energia competem entre si (incluindo as não-alternativas). No primeiro leilão, realizado em 17.9.2008, o preço médio de negociação ficou em R\$ 128,42, enquanto no segundo, realizado em 30.9.2008, o preço médio ficou em R\$ 141,78. A lista de vencedores dos leilões deixou de fora qualquer projeto eólico, incluindo predominantemente usinas termelétricas.

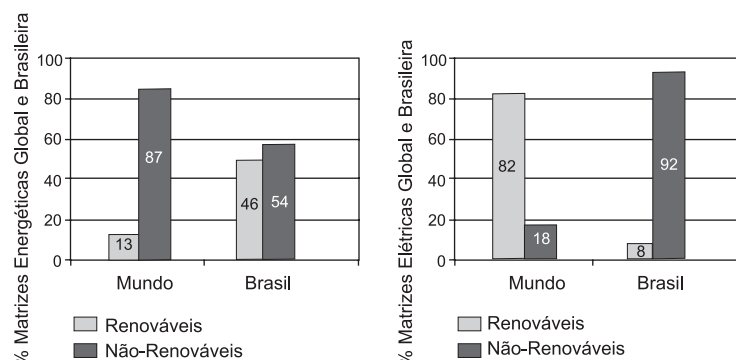
A matriz energética brasileira está entre as mais limpas do mundo, mas o percentual de energia renovável vem caindo à medida que mais termelétricas são construídas no país.

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDEE 2008-2017), em consulta pública até fevereiro de 2009, prevê que a geração de eletricidade por fonte hidráulica será reduzida de 84% para 74%. As fontes alternativas (como eólica, biomassa e solar) crescerão de 1,3% para 4%. Finalmente, as termelétricas a carvão, óleo combustível e gás natural terão participação crescente de 12% para 17%.

³⁴ Os dígitos 3 e 5 fazem menção ao período entre o ano de realização do leilão e a data de entrega da capacidade instalada. Desta forma, o leilão A-3/2008 está previsto para ocorrer em 2008 e a entrega da capacidade será em 2011. O leilão A-5/2008 ocorre em 2008 e terá a capacidade entregue até 2013.

Gráfico 7

Comparação das Matrizes Energéticas e Elétricas Mundiais e Brasileiras



Fonte: Ministério de Minas e Energia (apresentação EDP Brasil).

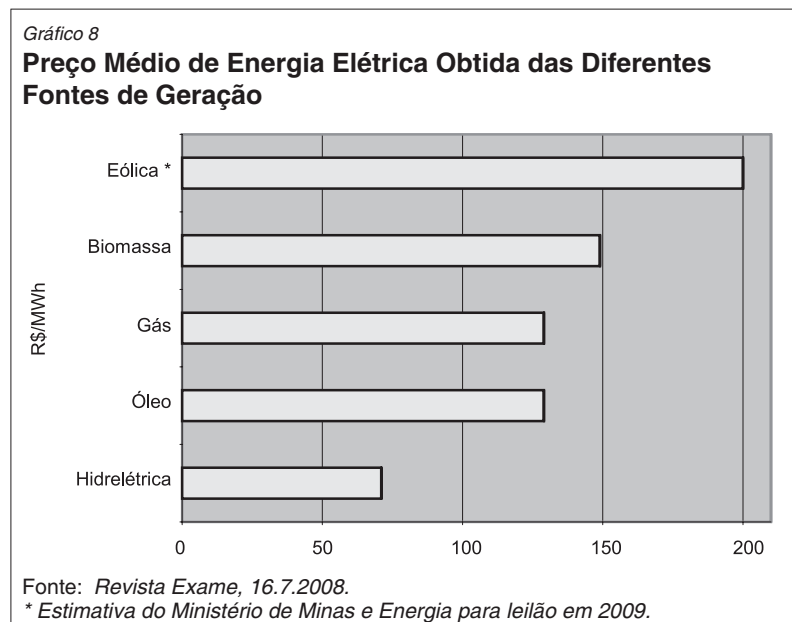
Essas usinas têm como vantagem o curto prazo com que podem ser construídas e a capacidade de despachar imediatamente energia na rede sempre que solicitadas. Dessa forma, o sistema nacional utiliza as termelétricas como uma fonte de energia de emergência, o que é importante para a segurança energética do país. Fortes críticas, no entanto, recaíram na frequência com que essas usinas despacharam no último ano e no custo que isso representou para o sistema.

Após um longo período de ociosidade, as usinas termelétricas despacharam com uma alta frequência em 2008, mesmo ano em que os preços do petróleo atingiram um pico histórico, ultrapassando a casa dos US\$ 140/barril. A escassez de chuva no período que deveria ser o mais úmido do ano elevou os preços de energia elétrica no mercado *spot*. O custo da geração de energia termelétrica ficou, portanto, muito acima do valor mencionado nos leilões de energia. O lance é calculado com base no Índice de Custo Benefício (ICB) do projeto, detalhadamente explicado pela Portaria MME 59, de 10.4.2007. Neste índice, são considerados tanto os custos fixos quanto os variáveis, sendo os últimos calculados com base na quantidade predeterminada de lotes ofertados pelo candidato. As usinas termelétricas têm custo fixo relativamente baixo, mas custo variável elevado. Dessa forma, se a usina gerar mais energia que a prevista nestes lotes, o custo variável sofre grande impacto e se descola daquele previamente calculado no ICB. Com isso, em 2008 muitas usinas termelétricas geraram energia a um custo demasiadamente superior ao lance anunciado no leilão e ainda mais alto que o custo de geração por fonte eólica.

A concorrência de diferentes fontes de energia no mesmo leilão é uma crítica recorrente dos empreendedores do ramo eólico.

Com o preço do barril do petróleo em baixa, a energia eólica ficou ainda menos competitiva. As tarifas fixadas nos últimos leilões ficaram muito abaixo dos R\$ 210 alegados como sustentáveis para a produção de 1 MW a partir dos ventos. Atendendo ao pleito do setor, até fevereiro de 2009 o Ministério de Minas e Energia deixou em consulta pública as Diretrizes para um Novo Leilão de Contratação de Energia Específica para fontes eólicas. A energia contratada estaria disponível a partir de 2012 e o contrato de compra e venda de energia teria duração de vinte anos. Até o momento, a polêmica recaiu na não-explicitação de um índice mínimo de nacionalização dos projetos.

Mesmo sem a exigência desta condição, é possível que haja uma tendência ao cumprimento de um índice mínimo de 60% de nacionalização dos equipamentos e componentes eólicos. Isso se deve ao fato de a aquisição de máquinas com este índice ser passível de financiamentos do BNDES via FINAME. Isso confere ao produtor de aerogeradores e componentes nacionais uma vantagem comparativa, dado que o seu comprador (em geral, o proprietário do parque eólico) disporá de melhores condições de financiamento para a aquisição do bem. Entretanto, essa tendência só é plausível se houver o entendimento dos fabricantes de que esses leilões serão periódicos e mantidos no longo prazo, posto que a busca por fornecedores nacionais e a manutenção de uma estrutura que permita a nacionalização dos equipamentos são custosas em tempo e em recursos para uma empreitada circunstancial.



Em 2007, 16 usinas eólicas estavam em operação no Brasil. Atualmente, o número chega a 31, como se pode ver na Tabela 11.

Projetos Eólicos no Brasil: Concluídos e em Andamento

Tabela 11

Usinas Eólicas em Operação no Brasil (Fevereiro de 2009)

	USINA	POTÊNCIA FISCALIZADA (Em MW)	MUNICÍPIO
1	Eólica de Prainha	10,00	Aquiraz (CE)
2	Eólica de Taíba	5,00	São Gonçalo do Amarante (CE)
3	Parque Eólico de Beberibe	25,60	Beberibe (CE)
4	Mucuripe	2,40	Fortaleza (CE)
5	Foz do Rio Choró	25,20	Beberibe (CE)
6	Eólica Canoa Quebrada	10,50	Aracati (CE)
7	Lagoa do Mato	3,23	Aracati (CE)
8	Eólica Paracuru	23,40	Paracuru (CE)
9	Taíba Albatroz	16,50	São Gonçalo do Amarante (CE)
10	Eólica-Elétrica Experimental do Morro do Camelinho	1,00	Gouveia (MG)
11	Millennium	10,20	Mataraca (PB)
12	Presidente	4,50	Mataraca (PB)
13	Camurim	4,50	Mataraca (PB)
14	Albatroz	4,50	Mataraca (PB)
15	Atlântica	4,50	Mataraca (PB)
16	Caravela	4,50	Mataraca (PB)
17	Coelhos II	4,50	Mataraca (PB)
18	Coelhos IV	4,50	Mataraca (PB)
19	Mataraca	4,50	Mataraca (PB)
20	Eólica de Fernando de Noronha	0,23	Fernando de Noronha (PE)
21	Eólica Olinda	0,23	Olinda (PE)
22	Pedra do Sal	15,30	Parnaíba (PI)
23	Eólio-Elétrica de Palmas	2,50	Palmas (PR)
24	RN 15 – Rio do Fogo	49,30	Rio do Fogo (RN)
25	Macau	1,80	Macau (RN)
26	Parque Eólico de Osório	50,00	Osório (RS)
27	Parque Eólico Sangradouro	50,00	Osório (RS)
28	Parque Eólico dos Índios	50,00	Osório (RS)
29	Eólica de Bom Jardim	0,60	Bom Jardim da Serra (SC)
30	Parque Eólico do Horizonte	4,80	Água Doce (SC)
31	Eólica Água Doce	9,00	Água Doce (SC)
	Total	402,78	Brasil

Fonte: Aneel e BNDES.

Até 2007, o Sul era a região que apresentava maior capacidade eólica instalada e o estado gaúcho aparecia como o maior gerador de energia elétrica por fonte eólica do país. No entanto, a inauguração de empreendimentos ao longo de 2008 permitiu ao Nordeste tomar a primeira posição do *ranking*. O Ceará apresentou incremento de capacidade recorde, e a conclusão dos projetos em andamento, em breve, permitirá ao estado cearense tornar-se líder brasileiro em capacidade eólica instalada. Até o final de 2009, o estado contará com 500 MW.

Tabela 12

Capacidade Eólica Instalada por Estado e Região do Brasil

Região	TOTAL DE CAPACIDADE EÓLICA INSTALADA POR REGIÃO (EM MW)			TOTAL DE CAPACIDADE EÓLICA INSTALADA POR ESTADO (EM MW)		
	Atual	2007	Prevista pelo Proinfa	Estados	Atual	2007
NE	234,9	79,2	806	CE	121,83	17,45
				RN	51,10	51,10
				PB	46,20	10,20
				PE	0,40	0,40
				PI	15,30	0,00
S	166,9	166,9	454	RS	150,00	150,00
				SC	14,40	14,40
				PR	2,50	2,50
SE	1	1	163	MG	1,00	1,00
NE	0	0	0			
CO	0	0	0			
Total	403	247	1.423	Total	403	247

Fonte: Aneel e BNDES.

Fabricantes Nacionais

Segundo dados apresentados no Congresso Wind Forum Brazil 2009, por Camila Ramos, da New Energy Finance, os maiores fornecedores de aerogeradores para os projetos instalados em 2008 e em andamento foram Suzlon, com 31% do *market share*, Vestas, com 15%, Wobben, com 28%, e Impsa (WPE), com 26%, tendo as duas últimas fábricas em operação no país.

A Wobben Windpower foi a primeira fabricante de aerogeradores a se instalar no Brasil e até 2008 constava como única. Com fábricas em Sorocaba (SP) e Pecém (CE), a empresa tem mais de 1.200 colaboradores diretos e indiretos, além de 1.700 fornecedores.

Criada em 1998, a empresa é subsidiária da alemã Enercon, uma das cinco maiores fabricantes de aerogeradores do mundo. A empresa é grande exportadora de aerogeradores, tendo instalado 680 MW até 2008 – dos quais 340 MW estão localizados no exterior. Seus produtos têm índice de nacionalização maior que 70%, sendo, portanto, uma candidata natural ao fornecimento de equipamentos eólicos para projetos no âmbito do Proinfa.

Além de produzir aerogeradores, a Wobben atua como proprietária de alguns parques eólicos no Brasil e no exterior. A empresa instala, opera e presta serviços de assistência técnica. Foi a primeira produtora independente de energia elétrica oriunda de fonte eólica, autorizada pela Aneel, e tem quatro usinas próprias em operação no país. A empresa vem explorando também o potencial argentino e costarriquenho.

O ano de 2008 marcou a chegada de um segundo fabricante de aerogeradores no país: a Wind Power Energy (WPE).

A empresa faz parte do grupo argentino IMPSA, especializado no desenvolvimento e na produção de bens de capital de alta tecnologia e no fornecimento de soluções integrais para projetos de geração hidrelétrica e eólica, entre outras atividades. Composto de 19 empresas, espalhadas em dez países, o grupo inaugurou, em 2008, sua primeira fábrica no Brasil – a WPE –, empregando diretamente cerca de 380 funcionários.

Na fábrica argentina de Mendoza, a IMPSA produz aerogeradores com tecnologia licenciada pela alemã Vensys e vem desenvolvendo tecnologia própria, de equipamentos sem caixa multiplicadora. A intenção é que a fábrica implantada no Brasil constitua, em breve, sua primeira unidade produtora de aerogeradores com uso de tecnologia própria, em escala comercial, mas possivelmente, na fase inicial de operação, a unidade fará uso de tecnologia licenciada também pela Vensys.

Entre as empresas de capital 100% nacional, merece destaque a Tecsis, segunda maior produtora independente de hélices eólicas do mundo. Fundada em 1995, a empresa é também líder no mercado brasileiro de ventiladores industriais. Sua lista de clientes inclui algumas das maiores companhias do mundo, como GE, Acciona, Siemens, Hamon Group, Vale do Rio Doce e Petrobras. Atualmente, a empresa conta com 11 plantas, todas em Sorocaba (SP), empregando diretamente 3.600 funcionários.

A Siemens revelou em reportagem do *Valor Econômico*, de 27.2.2009, a intenção de produzir, ainda em 2009, peças internas de aerogeradores na sua fábrica de Jundiá (SP). A com-

preensão da empresa de que um leilão específico para as usinas eólicas ocorrerá neste ano acelerou os planos de investimento. As pás, a princípio, seriam importadas de fábricas do próprio grupo localizadas nos EUA e na Dinamarca. As torres, no entanto, seriam adquiridas domesticamente de empresas como Jaraguá, Dedini e Usiminas Mecânicas.

Também em matéria veiculada pelo *Valor Econômico*, a Alstom revelou a intenção de instalar uma fábrica de aerogeradores na América, sendo o Brasil um dos países candidatos.

Em 2005, a Furlander, grande fabricante alemã de aerogeradores, chegou a mencionar a intenção de construir uma fábrica no Ceará, que envolveria investimentos de US\$ 5 milhões. Havia nesta época uma grande expectativa acerca da execução dos projetos previstos pelo Proinfa, mas os atrasos percebidos em 2007 e 2008, bem como a indefinição quanto à prorrogação do programa, colaboraram para retardar os planos de investimentos.

Apesar desses percalços, o nascimento de uma empresa genuinamente brasileira de aerogeradores não é um sonho distante. Alguns grupos nacionais revelaram grande interesse em participar desse mercado, e o estreitamento dos laços entre universidade e empresa pode ser a chave para o desenvolvimento de uma tecnologia própria que viabilize a produção de turbinas eólicas 100% *made in Brazil*.

O Projeto Ventus, coordenado pelos Laboratórios de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia (Lepten), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), associado a quatro empresas privadas catarinenses, é um bom exemplo dos benefícios que essa parceria pode trazer à empresa e ao país. O projeto, iniciado em 2004, conta com apoio fundamental da Assessoria para Projetos Especiais (Appe) e da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). O objetivo do projeto é gerar um protótipo de miniaerogador para fins domésticos. O equipamento, composto de um rotor eólico com três pás de cinco metros, gerador de ímãs permanentes de 15 kW com acionamento indireto e torre de sustentação de 25 metros de altura, mostra capacidade de gerar 12 kW. As empresas parceiras do projeto são as seguintes: WEG Equipamentos Elétricos Ltda., fornecedora do gerador; Almeida & Justi, fornecedora das pás; Milano Estruturas Ltda., responsável pela fabricação da torre, nacele, acionamento mecânico, instalação e teste; e Equisul Ltda., responsável pela eletrônica de potência.

A quantidade de empregos gerados diretamente na cadeia de aerogeradores surpreende. Estima-se que para cada MW instalado ao ano de capacidade eólica surjam 15 novos empregos diretos e indiretos na cadeia.³⁵ Se, por um lado, a indústria de ae-

³⁵ Inclui empregos diretos e indiretos na manufatura de aerogeradores, cadeia de suprimentos, desenvolvimento e instalação de parques eólicos.

rogeradores requer grande contingente de mão-de-obra (veja caso da Tecsis, WPE e Wobben), a operação do parque eólico não exige forte atuação humana. Nas operações regulares de operação e manutenção dessas usinas, estima-se a criação de 0,4 emprego para cada MW de capacidade. Sem dúvida, o maior número de empregos surge na fase de implantação do parque. Por exemplo, na construção de um parque brasileiro do Nordeste com capacidade de 50 MW, foram criados cerca de duzentos empregos diretos na fase de construção e apenas vinte na fase de operação.

A disponibilidade de linhas de financiamento de longo prazo é considerada um critério fundamental para o sucesso dos empreendimentos no ramo eólico. Isto vale tanto para as empresas fabricantes de aerogeradores e componentes quanto para as que pretendem construir fazendas eólicas. A presença do BNDES é, portanto, essencial para a consolidação do setor no país.

A Atuação do BNDES

A atuação do BNDES pode se dar de diversas formas, começando pelo apoio às exportações, que tem sido encarado como uma meta-chave da política de desenvolvimento produtivo.

O apoio às exportações é de grande relevância para o setor, pois os fabricantes nacionais de aerogeradores e de componentes ainda enfrentam baixa e inconstante demanda doméstica e têm no mercado externo relevante destino da sua produção. Para essas empresas, as linhas de financiamento às exportações BNDES-*Exim* Pré-Embarque e Pós-Embarque podem fortalecer suas atuações no mercado.

Para estimular diretamente a produção de bens de capital, o BNDES ainda disponibiliza aos fabricantes de aerogeradores e componentes dois produtos: o FINEM e o FINAME. O primeiro visa apoiar os investimentos em aumento da capacidade e construção de novas plantas, ampliando assim a participação de fornecedores nacionais de equipamentos, materiais e serviços vinculados. O prazo médio dos financiamentos liberados para o setor de bens de capital – onde estão incluídos os fabricantes de aerogeradores – é de sete anos. O segundo tem como objetivo financiar a venda de máquinas e equipamentos já negociados com as respectivas compradoras.

Para as empresas do segmento de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, o Banco tem linhas especiais de financiamento, que apóiam, no momento, a instalação de 300 MW³⁶ em capacidade eólica no país.

³⁶ Operações contratadas, aprovadas e enquadradas.

Dessa forma, o BNDES cumpre um importante papel de fortalecimento da demanda interna por aerogeradores e adensamento da cadeia do setor eólico, contribuindo ativamente para a geração de emprego e renda no país.

Conclusão

A atividade de geração de energia elétrica e de calor, atualmente responsável por 30% das emissões de gases geradores de efeito estufa, contribuiu em larga escala para o aquecimento global ao longo do último século. Para conter a intensidade das mudanças climáticas nos próximos anos, faz-se urgente a alteração do atual modelo energético global.

A pressão ambiental a favor da redução do uso de fontes de energia poluentes e a volatilidade acerca do preço do barril de petróleo são elementos que vêm catalisando o crescimento do setor eólico em âmbito mundial.

A atual capacidade instalada de geração de energia eólica é cerca de 15 vezes maior que aquela registrada há dez anos. A participação dos governos centrais foi fundamental para garantir este crescimento, seja via adoção de políticas fiscais e de subsídios diretos aos fabricantes de aerogeradores ou via estabelecimento de preços fixos do MW, que garantissem a viabilidade econômica dos projetos eólicos.

No Brasil, o papel do governo federal foi igualmente importante para o setor. A criação do Proinfa pelo Ministério de Minas e Energia permitiu que o país aumentasse sua capacidade de geração de energia eólica de 22 MW, em 2002, para 247 MW, em 2007.

Apesar do notável incremento, isto representa menos de dois milésimos do potencial eólico instalável no país, o que revela espaço para um crescimento ainda mais agressivo da capacidade eólica nos próximos anos.

Além de preciosas “jazidas de ventos” livres de tufões e tornados, o Brasil conta com um fator natural que dá à geração de energia eólica um caráter estratégico. Os períodos de escassez de chuvas e vazantes dos rios, que podem comprometer a geração de energia hidrelétrica, coincidem com os períodos em que os ventos são mais fortes e intensos. O contrário acontece nos períodos de chuva. Isto cria uma complementaridade entre as fontes hídrica e eólica ao longo do ano que diminui os riscos de “apagões” energéticos.

Os empreendedores do ramo eólico cobram do governo federal um comprometimento maior com esta energia renovável, uma postura previsível de longo prazo e um marco regulatório claro e crível.

O país tem atualmente o maior parque eólico da América Latina. Sem dúvida, a existência de linhas de financiamento de longo prazo oferecidas pelo BNDES constitui uma vantagem comparativa do Brasil que pode ser um diferencial no ato de decisão das empresas estrangeiras quanto ao local de instalação de suas novas fábricas de aerogeradores ou parques eólicos no continente.

Referências

ABREU, C. *Custos financeiros e sociais da geração de electricidade em parques eólicos*. Universidade de Minho, 2006.

ACKERMANN, Thomas & SÖDER, Lennart: "An overview of wind energy – status 2002". *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, 2002.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, fev. 2009. Disponível em: <www.aneel.gov.br>.

CRESEB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO & CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. *Atlas do potencial eólico brasileiro*, 2001.

DEVESHWAR, Shumita Sharma. "Cresce uso de energia eólica pelos indianos". *Gazeta Mercantil*, 28.1.2008, caderno A, p. 11.

ELETROBRÁS. Nota técnica de 24.3.2008.

Gazeta Mercantil, 7.1.2008.

GERMAN ADVISORY COUNCIL ON GLOBAL CHANGE. *Climate Protection Strategies for the 21st Century: Kyoto and Beyond*, 2003.

GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. *China wind power report, 2007*. Disponível em: <www.gwec.net>.

_____. *Global wind energy report, 2007*. Disponível em: <www.gwec.net>.

_____. *Global wind energy outlook, 2008*. Disponível em: <www.gwec.net>.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Portaria 59, de 10 de abril de 2007. Disponível em <mme.gov.br>.

MOSS, Hamilton & DUTRA, Ricardo. *Principais parques eólicos implementados e projeções*. Apresentado em São Paulo, 28.2.2007. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br>.

PORTELLA, J. *A viabilidade da captação da energia eólica nos oceanos (captação offshore)*. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, 2007.

REY, Renzo Raúl Rodríguez & OLIVEIRA, Francisco Correia de. *Fatores técnicos de impacto no meio ambiente nos geradores de energia elétrica eólica do Ceará: um estudo de caso na indústria da Taíba*. Apresentado no “V Encontro de Pós-Graduação e Pesquisa da Unifor”, 2005, Fortaleza. Anais do “V Encontro de Pós-Graduação e Pesquisa da Unifor”, 2005.

ROSAS, P. A. C. & ESTANQUEIRO, A. I. *Guia de projeto elétrico de centrais eólicas*. Volume 1 – Projeto elétrico impacto de centrais eólicas na rede elétrica. Recife: Centro Brasileiro de Energia Eólica, 2003.

STERZINGER, G. & SYRCEK, M. “Development: location of manufacturing activity”. *Renewable Energy Policy Report, Technical Report*, set. 2004 .

Valor Econômico. “Siemens aposta na geração eólica no Brasil”, 9.3.2009.

Veja. “A força que vem do vento”, n. 2.080, 1.10.2008.

WWF – WORLD WILDLIFE FUND. “Salve o Planeta – Energia”. *O Globo*, fev./mai. 2008, p. 39.

Sites Consultados

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

www.dee.ufrn.br/~tavares/arquivos/t%F3picos/Aula05_Como%20funciona%20um%20aerogerador.pdf

www.magenn.com

www.ecotecnologia.wordpress.com

www.ewea.org

www.gwec.net

www.imf.org

www.aneel.gov.br

www.windpower-monthly.com

www.unep.org

www.energy.gov