

Panorama do setor de energia eólica

Elisa Salomão Lage
Lucas Duarte Processi

Panorama do setor de energia eólica

Elisa Salomão Lage
Lucas Duarte Processi*

Resumo

O Brasil, apesar de ainda apresentar tímida participação no mercado eólico mundial, teve crescimento significativo em sua capacidade instalada na última década. Incentivos governamentais destinados ao setor lograram êxito em aumentar a participação eólica na matriz elétrica brasileira. Contudo, os desenvolvimentos tecnológicos do setor têm ocorrido, hoje, principalmente no exterior. Este artigo expõe os fundamentos do setor eólico, caracteriza seu panorama mundial e nacional e discute a cadeia produtiva eólica brasileira e os incentivos governamentais ao setor. Por fim, são apontadas perspectivas e oportunidades para o desenvolvimento tecnológico do setor eólico brasileiro.

*Respectivamente, economista e engenheiro do BNDES. Este artigo é de exclusiva responsabilidade dos autores, não refletindo, necessariamente, a opinião do BNDES.

Abstract

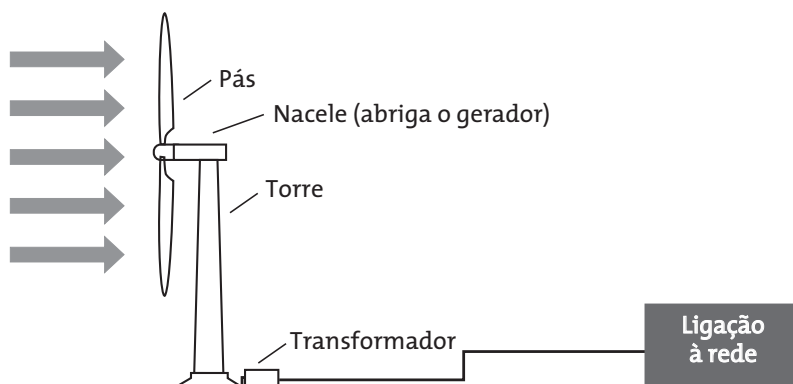
In spite of its modest presence in global wind power market, Brazil has experienced a sharp growth in its wind-power installed capacity in the last decade. Indeed, government incentives induced a higher participation of wind-power projects in the Brazilian electricity mix. Nevertheless, wind turbine technological developments have been predominantly designed abroad. This paper presents wind power basics, along with its global and national markets. It also discusses national wind turbines sector and its main government incentives. At last, this paper presents an outlook and opportunities for technological development in the Brazilian wind power sector.

Introdução

A geração de energia eólica utiliza o vento como fonte de energia primária. O processo de geração ocorre por meio de um aerogerador (turbina eólica) composto basicamente por uma torre, um conjunto de pás acoplado a um rotor e uma nacela que abriga diversos equipamentos, como gerador elétrico, multiplicador (quando aplicável), dispositivos de medição da velocidade e direção dos ventos, componentes responsáveis pela rotação da nacela para melhor aproveitamento do vento etc.

Figura 1

Componentes de um aerogerador



Fonte: Elaboração própria.

O princípio de funcionamento dos aerogeradores é o de conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica para geração de potência. A transformação energética se dá com o escoamento

do vento por meio das pás do rotor, que faz funcionar o conjunto de engrenagens de redução e eixos acionadores do gerador elétrico.

Os aerogeradores podem ser divididos tipicamente em dois grupos principais: aerogeradores de eixo horizontal (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine) e aerogeradores de eixo vertical (VAWT – Vertical Axis Wind Turbine), sendo a configuração de eixo horizontal a dominante no mundo e no Brasil. Além disso, as turbinas eólicas podem ser classificadas quanto ao porte: pequeno porte, para potência abaixo de 10 kW; médio porte, para potências entre 10 kW e 250 kW; e grande porte, para potências acima de 250 kW.

A Europa foi pioneira no aproveitamento da energia eólica e responde atualmente por grande parte da capacidade instalada mundial. Os esforços de desenvolvimento tecnológico ocorreram historicamente naquela região, em especial na Alemanha e na Espanha, de onde provieram os principais fabricantes de aerogeradores.

Nos últimos anos, a China, os Estados Unidos e a Índia aumentaram sobremaneira suas instalações eólicas, atingindo 75,6 GW, 60,0 GW e 18,4 GW de capacidade instalada, respectivamente. Esses incrementos foram acompanhados pelo desenvolvimento de fornecedores e tecnologias próprias.

Note-se a participação crescente de parques eólicos *offshore*, os quais têm sido construídos e planejados, sobretudo na China, Dinamarca, Suécia, Irlanda, Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos. Os esforços tecnológicos mais recentes da indústria eólica voltaram-se para essas novas instalações.

O Brasil, apesar de ainda apresentar tímida participação no mercado eólico mundial, teve crescimento significativo em sua capacidade instalada na última década. O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (Proinfa) e o mecanismo de leilões de energia lograram êxito em aumentar a participação eólica na matriz elétrica brasilei-

ra. Ademais, o potencial eólico brasileiro é bastante significativo, de aproximadamente 143 GW,¹ havendo confortável espaço para o incremento da utilização dessa fonte de energia no país.

Cabe destacar que os fabricantes de aerogeradores instalados no Brasil são, em sua maioria, empresas multinacionais que já dispõem de estrutura de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P,D&I) em suas matrizes. Assim, os desenvolvimentos tecnológicos do setor, ainda que para adaptação dos equipamentos às características dos ventos do país, têm ocorrido principalmente no exterior, ficando as atividades nacionais restritas à montagem dos principais componentes.

Caracterização da cadeia produtiva

Os fabricantes de turbinas eólicas podem ser integrados ou não integrados, produzindo apenas um ou mais de um componente. A subcontratação de componentes é uma prática comum nesse mercado, sendo realizada, geralmente, pelas empresas fabricantes de naceles que, em seguida, montam o equipamento.

Os fabricantes de naceles detêm a tecnologia associada à geração de energia eólica, sendo responsáveis pelo desempenho do aerogerador e, conseqüentemente, pela escolha dos fornecedores de pás e de torres, quando esses componentes são subcontratados.

As naceles abrigam diversos equipamentos responsáveis pela transformação da energia cinética em energia elétrica. As variações tecnológicas relativas aos equipamentos internos à nacele dizem respeito, sobretudo, à existência ou não da caixa multiplicadora e aos sistemas de controle de potência.

¹ O potencial de 143 GW foi indicado no *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro* [Cepel (2001)]. Um novo atlas encontra-se em elaboração, pelo mesmo instituto, com potencial estimado em 250 GW.

Os aerogeradores podem dispor de dois tipos de geradores, um dependente de uma caixa multiplicadora, que o conecta ao eixo, e outro que é acoplado diretamente no eixo. A caixa multiplicadora ou de transmissão tem como função adaptar a baixa velocidade do rotor à velocidade de rotação mais elevada dos geradores.

Os sistemas de controle de potência ajustam e limitam a potência máxima gerada em caso de ventos muito fortes, evitando danos ao equipamento e excessiva variação na tensão da rede elétrica à qual o aerogerador está conectado. Os sistemas mais usuais são o *pitch*, que controla a inclinação das pás, e o *stall*, que reage à velocidade do vento com um sistema passivo de travagem do rotor. Há, ainda, o sistema *yaw*, que otimiza o aproveitamento da turbina ao posicionar as hélices sempre de frente para o vento, e outros sistemas de freio para a paralisação total do equipamento.

Os esforços de inovação relacionados à nacela dizem respeito, em especial, à diminuição do atrito dos componentes, à busca por maior estabilidade no fornecimento de energia à rede e à aerodinâmica da nacela para maior aproveitamento energético.

Com relação às pás e às torres, esses componentes também são extremamente importantes para a geração de energia e também estão associados ao desenvolvimento tecnológico do setor. Os aumentos da altura das torres, do diâmetro dos rotores e, portanto, das pás, geralmente, estão associados à maior produção de energia e, por isso, são grandes direcionadores de inovação da indústria, que busca aproveitar melhor o potencial eólico e viabilizar a exploração dessa fonte em novas regiões. Os desenvolvimentos em torno do *design* e dos materiais utilizados na fabricação das pás e das torres também devem ser destacados, já que visam aprimorar a aerodinâmica e otimizar o aproveitamento energético, no caso das pás, bem como reduzir custos, no caso das torres.

O parque industrial brasileiro da cadeia produtiva de geração eólica é formado majoritariamente por empresas multinacionais, em especial os fornecedores de naceles, mas também conta com empresas genuinamente brasileiras, sobretudo no fornecimento de pás e de torres. Entre os grupos estrangeiros, destacam-se a Enercon (alemã), a Impsa (argentina), a GE (americana) e a Suzlon (indiana). Com relação às empresas nacionais, o fornecimento de naceles de grande porte está se iniciando com a WEG. A fabricação de pás, por sua vez, conta com a brasileira Tectis como uma das líderes mundiais, havendo, ainda, a nova entrante Aeris. O fornecimento de torres, apesar de atualmente ser considerado um gargalo, é o que conta com maior número de fabricantes locais, destacando-se a Gestamp (de controle espanhol), a Engebasa e a Tecnomaq.

A forte presença de empresas multinacionais tem levado à contratação de boa parte dos subcomponentes do exterior, seja pela diferença de preços, seja pelo prévio conhecimento dos equipamentos de alguns subfornecedores internacionais. Tal fato ocorre, especialmente, com os subcomponentes da nacele, que dispõem do maior conteúdo tecnológico do aerogerador, inibindo o desenvolvimento de novas tecnologias no país.

Panoramas mundial e nacional

Panorama mundial

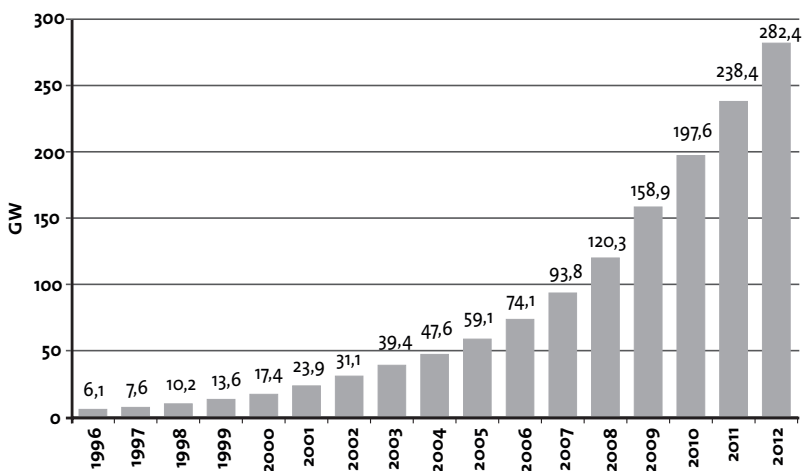
A energia eólica ainda tem pequena participação na matriz energética mundial, correspondendo a menos de 4% em 2011. Segundo o Conselho Mundial de Energia Eólica [GWEC (2013)], oitenta países já possuem instalações eólicas, totalizando uma capacidade instalada superior a 282 GW em 2012. Sua estimativa, em um cenário con-

servador, é de que a capacidade instalada mundial alcance 415 GW em 2020, com participação crescente de parques eólicos *offshore*.

O Gráfico 1 apresenta a evolução da capacidade mundial instalada desde 1996 e aponta o crescimento acelerado do setor nos últimos anos, decorrente de sua crescente competitividade *vis-à-vis* as fontes tradicionais e da maior busca por fontes alternativas de energia.

Gráfico 1

Capacidade eólica acumulada instalada global (1996-2012)



Fonte: GWEC (2013).

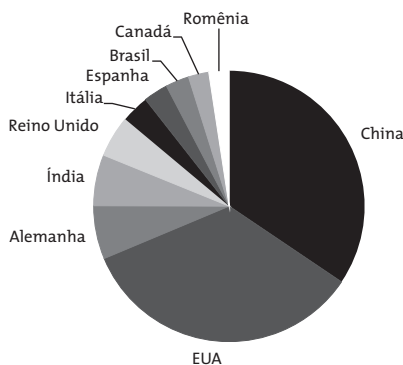
Historicamente, os principais mercados responsáveis por esse crescimento foram Europa (Alemanha e Espanha), América do Norte (Estados Unidos) e Ásia (China e Índia). Em 2012, o crescimento do setor foi conduzido principalmente pela China, que instalou 13,2 GW do total de 44,7 GW adicionados no mundo, seguida dos Estados Unidos, que adicionaram 13,1 GW em sua oferta de energia eólica, como pode ser verificado no Gráfico 2.

Gráfico 2

Dez maiores capacidades instaladas/acumuladas no fim de 2012

Gráfico 2a

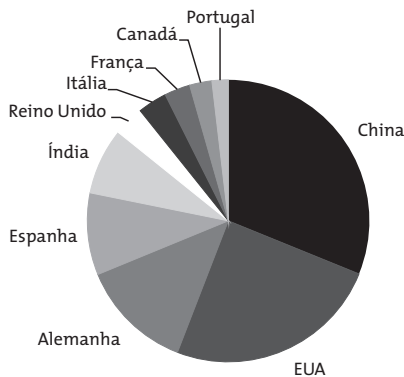
Dez maiores capacidades instaladas (jan.-dez. 2012)



País	MW	%
China	13.200	29,5
EUA	13.124	29,4
Alemanha	2.439	5,5
Índia	2.336	5,2
Reino Unido	1.897	4,2
Itália	1.273	2,8
Espanha	1.122	2,5
Brasil	1.077	2,4
Canadá	935	2,1
Romênia	923	2,1
Resto do mundo	6.385	14,3
Total Top 10	38.326	85,7
Total mundial	44.711	100,0

Gráfico 2b

Dez maiores capacidades acumuladas (até dez. 2012)



País	MW	%
China	75.564	26,7
EUA	60.007	21,2
Alemanha	31.332	11,1
Espanha	22.796	8,1
Índia	18.421	6,5
Reino Unido	8.445	3,0
Itália	8.144	2,9
França	7.196	2,5
Canadá	6.200	2,2
Portugal	4.525	1,6
Resto do mundo	39.853	14,1
Total Top 10	242.630	85,9
Total mundial	282.483	100,0

Fonte: GWEC (2013).

O crescimento da energia eólica na matriz energética asiática tem sido conduzido principalmente pela China (primeira posição no *ranking* das maiores capacidades acumuladas) e pela Índia (quinta posição no mesmo *ranking*), que dispõem de forte estímulo de seus governos, por meio de investimentos diretos e de medidas regulatórias. Esses países têm, ainda, metas quinquenais de geração de energia renovável.

De modo a atender à crescente demanda por equipamentos eólicos, a China e a Índia efetuaram investimentos relevantes também na indústria de bens de capital para o setor. A China tem hoje três grandes fornecedores de aerogeradores – Sinovel, Goldwind e Dongfang – e a Índia conta com a Suzlon como principal fabricante. Essas empresas, apesar de terem iniciado suas produções para atender à região asiática, já conquistaram novos mercados e estão realizando fusões e aquisições com fabricantes europeus de relevante experiência. Entre os mercados visados pelos fabricantes chineses está o Brasil, que possui cinco parques eólicos, localizados na mesma região e de um mesmo investidor (Desenvix), com equipamentos inteiramente importados daquele país, tendo os projetos sido financiados pelo China Development Bank (CDB).

Nos Estados Unidos, segundo país com maior capacidade acumulada no fim de 2012, os investimentos no setor têm seguido uma trajetória cíclica em função de incentivos fiscais (Production Tax Credit – PTC) e subvenções econômicas (Investment Tax Credit – ITC) de curto prazo, que são prorrogados periodicamente, não havendo uma política consistente e de longo prazo para incentivo às energias renováveis. Ressalte-se que, no mercado americano, a fonte eólica compete diretamente com o gás natural, e a queda nos preços desse combustível, em função do aumento da oferta de gás não convencional, pode representar uma ameaça ao desenvolvimento da geração eólica no país. Em 2012, ano em que não se

esperava a renovação dos incentivos para 2013, verificou-se um *boom* de crescimento (13,2 GW adicionados, representando 28% de crescimento anual).

Com relação à oferta de equipamentos, a General Electric (GE) é a maior fornecedora de aerogeradores da região norte-americana, estando entre os maiores fabricantes mundiais. Para aerogeradores com capacidade inferior a 1 MW, utilizados em geração distribuída, destacam-se as empresas norte-americanas Northern Power Systems, Southwest Windpower e Endurance. Essas empresas, em iniciativa conjunta com o Department of Energy dos Estados Unidos, estão prospectando o mercado brasileiro após a regulamentação, pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), do sistema de *net metering*.

A Europa foi pioneira no aproveitamento da energia eólica e responde atualmente por grande parte do mercado mundial. É considerada uma região madura para a exploração eólica, cuja capacidade instalada representava 10,5% das fontes de geração de energia elétrica do continente, no fim de 2011 [GWEC (2012)]. O pioneirismo europeu acarretou o desenvolvimento de grandes fornecedores de turbinas eólicas na região, como Vestas, Gamesa, Enercon e Siemens. Essas empresas foram responsáveis pela maior parte dos desenvolvimentos tecnológicos do setor.

A Tabela 1 lista os dez maiores fabricantes mundiais de aerogeradores e suas participações de mercado nos últimos três anos.

Ressalte-se que o crescimento das empresas chinesas nos últimos anos tem impactado o mercado de fabricantes de aerogeradores de forma significativa. Algumas empresas estão passando por graves dificuldades financeiras, chegando, em casos extremos, ao pedido de falência, caso da alemã Fuhrlander.

Tabela 1

Dez maiores fabricantes mundiais de aerogeradores (2009-2011)

Fabricante	País	Market share (%)		
		2009	2010	2011
Vestas	Dinamarca	13,5	13,4	12,7
Sinovel	China	9,3	11,1	9,0
Goldwind	China	7,3	9,8	8,7
Gamesa	Espanha	6,4	6,8	8,0
Enercon	Alemanha	8,5	7,1	7,8
GE Energy	Estados Unidos	12,5	9,8	7,7
Suzlon	Índia	6,1	6,5	7,6
Guodian	China	1,1	4,1	7,4
Siemens	Alemanha	6,3	5,5	6,3
Mingyang	China	*	*	3,6
Dongfang	China	6,0	6,9	*

Fonte: IHS – EER.

*Empresa fora da lista Top 10 no ano.

Mercado nacional de energia eólica

Nos últimos anos, a energia eólica apresentou crescimento significativo no mercado elétrico brasileiro. Em abril de 2013, segundo dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeólica), o país contava com capacidade eólica instalada de 2.693 MW, resultante, em grande parte, do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), criado em 2002, no qual foram contratados cerca de 1.200 MW. Com o Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro, em vigor desde 2004, novas adições de capacidade estão sendo instaladas desde 2012, esperando-se capa-

cidade instalada de cerca de 8 GW eólicos em 2016 como resultado dos leilões já realizados.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) prevê a adição de aproximadamente 1,2 MW/ano de energia eólica a partir de 2016 [EPE (2011)]. A Abeeólica, por sua vez, tem pleiteado uma estratégia de adição de capacidade de 2 GW/ano, de modo a consolidar a indústria eólica no país.

Com o intuito de analisar o potencial eólico do Brasil, o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (Cresesb-Cepel) divulgou, no ano de 2002, o *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro* [Cepel (2001)]. Esse estudo considerava uma altura de torres de cinquenta metros acima do nível do mar,² descontando os relevos e depressões e, com esses parâmetros, concluía que o potencial de geração de energia eólica no Brasil ficava em torno de 143 GW. Um novo atlas está em elaboração, pelo mesmo instituto, considerando torres eólicas entre noventa e cem metros de altura do solo, já que, hoje, boa parte dos aerogeradores disponíveis no mercado atinge essa altura. Note-se que a estimativa do potencial eólico nesse novo documento ultrapassa 250 GW.

O ganho de competitividade da indústria eólica brasileira ao longo da década e a perspectiva de continuidade de seu desenvolvimento no país atraíram diversos fornecedores de relevante experiência no mercado mundial. A desaceleração das economias americana e europeia, a partir de 2008, contribuiu para a busca de novos mercados por esses fabricantes e acabou se traduzindo em uma oportunidade para o desenvolvimento do parque produtivo de equipamentos de geração de energia eólica no Brasil.

² Nível médio de altura das torres à época.

Para atender ao mercado nacional, atualmente, oito fabricantes de aerogeradores possuem unidades no Brasil: Wobben (Enercon), Wind Power Energia (WPE) (Impsa), GE, Alstom, Gamesa, WEG, Vestas e Siemens. Ademais, as empresas Acciona e Suzlon anunciaram investimentos em novas fábricas no país. Atualmente, a capacidade instalada total do setor encontra-se em torno de 3 GW/ano.

A Tabela 2 aponta a capacidade de cada um dos fabricantes citados:

Tabela 2

Capacidade de produção dos fornecedores de aerogeradores no Brasil

Fornecedor	Capacidade de produção (MW/ano)	
	Prevista	Atual
Acciona	432	---
Alstom	450	300
Fuhrlander	360	---
Gamesa	200	200
GE	750	750
Impsa	450	450
Siemens	250	250
Suzlon	388	---
Vestas	800	400
WEG	100	100
Wobben	500	500
Total	4.680	2.950

Fonte: Elaboração própria.

Cumprir notar que esses fabricantes introduziram suas tecnologias no mercado nacional e reduziram significativamente os preços ofertados pelos vendedores de energia eólica, aumentando, assim, a competitividade dessa fonte nos leilões.

No que tange às tecnologias desenvolvidas no país, destaquem-se a parceria da brasileira WEG com a espanhola MTOI, para a fabricação de aerogeradores nacionais, e os desenvolvimentos da WPE na construção de um aerogerador totalmente brasileiro e de um aerogerador com potência superior a 4 MW de potência. A WPE, apesar de pertencer ao grupo argentino Impsa, realiza parte relevante de suas atividades de P,D&I no Brasil.

Para aplicações de aerogeradores com capacidade inferior a 1 MW, a serem instalados em consumidores finais de energia (geração distribuída), existem três empresas nacionais: Enersud, Eletrovento e Canoas. Contudo, o estágio de desenvolvimento tecnológico e a estrutura de negócios delas são embrionários quando comparadas às já citadas empresas norte-americanas.

Com efeito, a existência de empresas nacionais no segmento abre oportunidades para desenvolvimento tecnológico, que, para serem aproveitadas, devem ser exploradas no curto prazo, a fim de que as nacionais não percam mercado para as norte-americanas, que trarão seus produtos para o Brasil brevemente, dado o advento da regulamentação do sistema de *net metering* (a ser detalhado na próxima seção).

Por fim, destaca-se que, apesar do grande potencial de exploração da energia eólica, seja para grandes complexos, seja para iniciativas de geração distribuída, há limites para a expansão de sua participação na matriz elétrica brasileira. Dada a natureza intermitente dos ventos, que é incontrolável e varia conforme condições climáticas, há possibilidade de ocorrência de distúrbios nos parâmetros de qualidade de rede (tensão, frequência e harmônicos), além da própria gestão do fluxo de energia. Consequentemente, há necessidade crescente de automação e de autogerenciamento das redes do setor elétrico. Essa questão está inserida nas discussões sobre a implantação das redes elétricas inteligentes (*smart grid*). Esse é um dos motivos

pelos quais as agendas de política industrial dos principais países situados na fronteira tecnológica (Japão, Estados Unidos, Alemanha e China) contemplam as temáticas das fontes alternativas de energia com a implantação das redes elétricas inteligentes.

Aspectos institucionais e mecanismos de incentivos à energia eólica

O incentivo ao desenvolvimento da energia eólica no Brasil iniciou-se em 2002, por meio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa). Com o Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro,³ em vigor desde 2004, os incentivos passaram a ocorrer mediante leilões específicos para a geração eólica ou leilões de fontes alternativas, já que a fonte eólica ainda não era competitiva em relação a fontes tradicionais como a hidrelétrica, o gás natural, o óleo combustível etc.

O novo modelo visa atingir três objetivos principais: segurança do suprimento de energia elétrica, modicidade tarifária e inserção social no setor elétrico. De modo a alcançar tais objetivos, a comercialização de energia elétrica é realizada em dois ambientes de contratação: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL).

No ACR, a comercialização se dá por meio de licitação, na modalidade de leilões, utilizando o critério de menor tarifa. Nesse ambiente, observa-se a exigência de que toda a demanda de distribuidores esteja contratada com empresas de geração. O ACL, por sua vez, é caracterizado pela livre negociação entre as partes nas operações de compra e venda energia.

³ Sustentado pelas leis 10.847 e 10.848, de 15 de março de 2004, e pelo Decreto 5.163, de 30 de julho de 2004.

De modo a aumentar a segurança no fornecimento, além da energia contratada no ambiente regulado para atender à demanda projetada das distribuidoras, o novo modelo conta, desde 2009, com a chamada energia de reserva, também contratada mediante leilões.

A fonte eólica iniciou sua participação nos leilões em 2007, no 1º Leilão de Fontes Alternativas (LFA). Entretanto, dado o critério de menor tarifa, não logrou êxito, saindo do leilão sem nenhum contrato de comercialização de energia. Em 2009, a fim de ampliar a participação eólica na matriz energética brasileira, o governo realizou o 2º Leilão de Energia de Reserva (LER), que comercializou exclusivamente energia gerada por essa fonte.⁴

A partir daí, novos leilões LFA e LER, exclusivos para fontes alternativas (eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas – PCH), foram realizados nos anos 2010 e 2011 estimulando a contratação da energia eólica (que se mostrou mais competitiva entre as três). Note-se que, dada a competitividade da fonte nesses leilões, ela passou, a partir de meados de 2011, a participar também dos Leilões de Energia Nova, concorrendo com fontes tradicionalmente mais baratas, como a térmica e a hídrica. Em 2012, foi realizado novo leilão, e os preços da energia eólica alcançaram seu mínimo histórico no Brasil, com média de R\$ 87,94/kWh.⁵

Outro sinal de competitividade da fonte eólica é o início da comercialização de sua energia no ACL. Os projetos das empresas Renova, Tractebel e CPFLR, pioneiras nesse mercado, agregarão capacidade de mais de 700 MW a serem contratados por consumidores livres.

⁴ O sucesso do leilão pode ser constatado pelo deságio maior que 20% no preço inicial e pela contratação de 1,8 GW para entrada em operação em julho de 2012.

⁵ À guisa de comparação, o preço médio da energia eólica no leilão de 2009 foi de R\$ 167,4/kWh. Mais anteriormente, no Proinfa, esse valor fora de R\$ 308,3/kWh.

Ainda de modo a incentivar o incremento da energia eólica na matriz elétrica brasileira, o governo federal zerou o Imposto de Importação sobre a aquisição de aerogeradores do exterior. Essa medida, por um lado, facilitou o desenvolvimento da fonte eólica, sobretudo na fase inicial do Proinfa, quando apenas a Wobben Windpower estava instalada no país e teve dificuldades de atender a toda a demanda. Por outro lado, porém, inibiu o desenvolvimento da cadeia de subfornecedores, já que importar o aerogerador inteiro era mais barato do que fabricar parte dele aqui e importar alguns componentes. Essa política de incentivo vigorou até junho de 2009.

De modo a minimizar tais efeitos na cadeia, o Ministério da Fazenda aprovou a isenção permanente do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para aerogeradores, o que representava cerca de 7,5% do valor do equipamento.

Ainda com relação a benefícios fiscais, desde 1997, o Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz), por meio do Convênio 101/97, isentou o segmento de energia eólica do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS), abarcando operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento da energia eólica, especialmente os aerogeradores e seus acessórios, como reguladores, controladores, componentes internos e torres para suporte de gerador eólico. Esse convênio foi prorrogado diversas vezes e, a princípio, estará em vigor até dezembro de 2015.

O Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (Reidi) reduziu para zero a cobrança de PIS-Cofins para toda a infraestrutura, sendo o segmento de geração de energia eólica um dos beneficiários mais importantes. Há discussões no âmbito do Plano Brasil Maior (PBM) de estender a aplicação do Reidi também para a cadeia produtiva dos aerogeradores. Ressalte-se que

a política industrial elegeu a energia eólica como prioridade entre as energias renováveis para a construção de iniciativas de adensamento produtivo com acréscimo de conteúdo local.

Nesse quesito, cumpre destacar o papel do BNDES como indutor do desenvolvimento da cadeia produtiva de energia eólica brasileira. Apesar de os leilões de energia não estabelecerem requisitos de conteúdo local aos equipamentos, grande parte dos parques eólicos brasileiros é financiada pelo BNDES, que somente apoia a aquisição de equipamentos nacionais credenciados na FINAME, estimulando o desenvolvimento da cadeia produtiva no país.

No mundo, além do sistema de leilões adotado no Brasil, outros mecanismos têm sido utilizados para incentivar o aumento da participação eólica na matriz elétrica dos países. As principais políticas adotadas são: sistema de *feed-in tariff* e sistema de cotas com certificados verdes, para geração centralizada, de grande porte, e sistema de *net metering*, para aplicações específicas em geração distribuída, de pequeno porte. Esse sistema foi recentemente regulamentado no Brasil.

O sistema de *feed-in* determina o preço mínimo que a concessionária deverá pagar pela energia elétrica gerada pelo produtor quando este conectar sua usina na rede. Esse incentivo pode ser também o valor total recebido pelo produtor incluindo subsídio e/ou taxas de reembolso ou o prêmio pago adicionalmente ao preço de mercado da energia. O regime de *feed-in* foi utilizado no Brasil por meio do Proinfa, porém, atualmente, não tem sido o sistema de incentivo usual.

O sistema de cotas com certificados verdes, por sua vez, consiste na determinação de que uma cota de geração de energia elétrica vendida deve ser gerada a partir de fontes alternativas. Essa obrigação pode ser imposta sobre o consumo (distribuidoras) ou sobre a produção (geradores). Os certificados verdes adquiridos com esse

tipo de geração podem ser comercializados no mercado, promovendo receita adicional às vendas de energia.

Aplicado comumente para geração distribuída, o *net metering*, por sua vez, tem por finalidade regular a troca de energia entre concessionária e usuários de energia. Créditos são acumulados com as concessionárias quando há excedentes de energia (geração supera consumo local). Débitos são acumulados quando o inverso ocorre (o consumo local supera a geração). Há um balanço realizado pelas concessionárias no momento do faturamento das contas de energia, no qual créditos acumulados compensam débitos. Esse modelo de comercialização de energia é o que predomina nos Estados Unidos e o que foi recentemente regulamentado no Brasil pela Aneel.⁶

Assim, além dos leilões de energia, ideais para a promoção da geração de grande porte (acima de 1 MW), a regulamentação brasileira do *net metering* criou mais uma possibilidade de exploração de energia eólica, a geração distribuída, de menor porte.

Perspectivas e oportunidades para desenvolvimento tecnológico

A fonte eólica, por meio dos leilões de energia, vem aumentando sua participação na matriz elétrica nacional de forma consistente, tendo alcançado, em abril de 2013, 1,66%⁷ da capacidade instalada de geração elétrica brasileira. Considerando o elevado potencial eólico do país, a ser divulgado a partir de novas medições em alturas mais elevadas, mas já estimado em cerca de 250 GW, os incrementos

⁶ Resolução Aneel 482, de 17.4.2012.

⁷ Porcentagem referente à potência fiscalizada, isto é, considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora (BIG – Banco de Informações de Geração da Aneel, consulta em 17.4.2013).

futuros da energia eólica dependerão sobretudo da manutenção da competitividade dessa fonte em relação às demais.

No que concerne ao desenvolvimento tecnológico do setor, verifica-se a tendência de aumento da potência e, logo, do porte dos aerogeradores,⁸ já que a aplicação de equipamentos de maiores dimensões é economicamente mais rentável, em alturas mais elevadas onde o vento é mais forte. A construção de turbinas eólicas maiores, capazes de resistir às condições meteorológicas mais adversas, impõe desafios ao processo manufatureiro para empregar materiais mais leves e resistentes em todos os componentes.

A produção de pás é o principal exemplo de oportunidade para o emprego de novos materiais, já que elas necessitam de um balanceamento do peso para não comprometer a estabilidade de toda a estrutura. O desenvolvimento de novos materiais que incrementem o conteúdo local deslocando subcomponentes importados também pode ser um importante espaço para a inovação. Ainda com relação às pás, cabe ressaltar que o aumento de seu tamanho implica dificuldades logísticas para o transporte até os parques eólicos, criando oportunidades para a busca de inovações como o desenvolvimento de pás bipartidas cujas partes se encaixem. A alta relevância do *design* desse componente para a *performance* do aerogerador também oferece espaço para inovações visando ao melhor aproveitamento dos ventos.

Com relação às nacelles, a evolução tecnológica tem avançado em direção aos geradores que prescindem de caixa multiplicadora, resultando, normalmente, em menor desgaste de peças e, por consequência, menores custos relacionados à manutenção. Tendo em vista que

⁸ A potência de um aerogerador é proporcional ao diâmetro do rotor elevado ao cubo.

a nacelle é o componente de maior conteúdo tecnológico, é possível vislumbrar nela alguma oportunidade de inovação, porém, as possibilidades mais promissoras residem em sua aerodinâmica, visando ao maior aproveitamento energético, adaptado às condições climáticas brasileiras, muito distintas das europeias e americanas. Esse tema já é objeto de projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf) com o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec).

As torres são o componente tecnologicamente menos sofisticado da cadeia, oferecendo, contudo, oportunidades de inovação em termos de materiais e *design*, visando à redução de custos e à busca por maiores alturas.

Além das oportunidades supramencionadas, há grandes possibilidades de inovação em laboratórios e centros de ensaio para o desenvolvimento e a homologação de aerogeradores, componentes e matérias-primas. Destaquem-se, ainda, as oportunidades relacionadas às tecnologias para aproveitamento energético eólico, como modelagens estatísticas para previsão de ventos, estruturação dos parques eólicos, integração à rede etc.

Nesse sentido, o Plano de Apoio Conjunto Inova Energia, assinado recentemente pelo BNDES, a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e a Aneel, tem entre seus objetivos o apoio às empresas no desenvolvimento e domínio tecnológico das cadeias produtivas de energias alternativas no país, o que se caracteriza como excelente oportunidade para que o setor eólico adense suas atividades de P,D&I no Brasil. O desenvolvimento e o domínio tecnológico poderão ocorrer em grupos genuinamente nacionais ou a partir de grupos estrangeiros que transfiram para o país atividades de P,D&I realizadas no exterior.

Referências

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*. Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.creseb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2012.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2021* (PDE 2021). Brasília: MME/EPE, 2011.

GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. *Global Wind Report 2011: Annual Market Update*. Bruxelas, 2012. Disponível em: <http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual_report_2011_lowres.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2012.

_____. *Global Wind Statistics 2012*. Bruxelas, 2013. Disponível em: <http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2013/02/GWEC-PRstats-2012_english.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2013.