

Elementos para uma análise da inserção da energia eólica no Brasil a partir de uma perspectiva da política industrial

Maria Gabriela Podcameni*

1. Introdução

O modelo de desenvolvimento da indústria de energia tem sido desafiado em diversas dimensões: da sustentabilidade ambiental, da segurança de abastecimento, do desenvolvimento tecnológico e da capacidade de ganhos de eficiência. Diferentes países têm buscado soluções econômicas, políticas e tecnológicas que permitam lidar com estes desafios. De fato, as emissões de dióxido de carbono e outros gases poluentes são diretamente associadas aos padrões de geração e uso de energia, e estas duas atividades são as que mais têm contribuído para seu aumento, dado que, por mais de um século, a grande maioria das economias tem dependido de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade e para os combustíveis necessários ao transporte. Mais ainda, o crescimento das economias nacionais tem sido dependente da disponibilidade de energia abundante a preços relativamente baixos.

A substituição (mesmo parcial) dos combustíveis fósseis por energias renováveis representa um avanço do ponto de vista ecológico. Reduzir o consumo de combustíveis fósseis e de outros recursos que são facilmente esgotáveis ou danosos ao meio ambiente, substituindo-os por recursos ou produtos renováveis e/ou abundantes, é essencial para manter o equilíbrio ecológico do planeta. Ademais, as energias renováveis representam, para muitos países, uma independência da importação de recursos.

Somente as vantagens das renováveis no *mix* energético não explicam, no entanto a necessidade de políticas que incentivam a internalização da tecnologia de geração elétrica. A política industrial se justifica pela menor dependência de importação, potencial geração de emprego e o papel central do governo no processo de desenvolvimento de inovações tecnológicas. Segundo Mazzucato (2014), no campo da inovação, o Estado sempre desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento das principais inovações mundiais¹.

O desenvolvimento da energia eólica possui forte potencial de contribuir com o desenvolvimento socioeconômico em nível regional e local. O potencial de geração de emprego até 2020 na cadeia produtiva de energia eólica no Brasil foi estimado em 11 mil empregos permanentes, além dos empregos temporários associados à instalação de

* Professora do Instituto de Economia da UFRJ.

1 Segundo Mazzucato (2014), no período de 1971 a 2006, 77 das 88 inovações mundiais mais importantes tiveram o Estado por trás de seu desenvolvimento, seja na fase inicial de maior incerteza ou até mesmo no processo de comercialização. No caso das principais inovações já desenvolvidas, o que se percebe é que o Estado atuou proativamente na criação de uma nova área ou setor de alto crescimento, antes mesmo que tal potencial fosse percebido pelo setor privado, através da participação em etapas de desenvolvimento que incorporam maior grau de incerteza. Em virtude do alto grau de risco e incerteza que caracteriza as fases de desenvolvimento de inovações, o setor privado, em geral, não demonstra interesse neste tipo de investimento. Diversos exemplos ilustram a importância do papel do Estado no desenvolvimento de inovações que foram fundamentais para a competitividade de empresas privadas e de países.

parques eólicos (SIMAS, 2012). Adicionalmente, trata-se de uma atividade extremamente dinâmica do ponto de vista tecnológico, com forte articulação com as capacitações científicas e com significativo potencial de fortalecer as capacitações produtivas e tecnológicas do País.

Neste contexto, este estudo discute e avalia as políticas introduzidas pelo governo brasileiro não apenas do ponto de vista do aumento da capacidade de geração, mas, sobretudo, quanto às possibilidades de desenvolvimento produtivo e tecnológico e de estímulo a processos inovativos locais relacionados a esta fonte de energia. Diante do potencial de geração de emprego e de geração de capacitações científicas e tecnológicas, é importante compreender como atuam as empresas nacionais e transnacionais dentro da cadeia produtiva de eólica no Brasil.

Com este intuito foi realizada uma pesquisa de campo com as empresas produtoras de aerogeradores, de pás e de torres. A pesquisa abrangeu nove fabricantes de aerogeradores (GE, Impsa, Wobben, WEG, Alstom, Gamesa, Acciona, Vestas e Siemens), quatro fabricantes de pás (Wobben, Tectis, Aerys e LM) e uma fabricante de torre (Inneo Energia). Esta amostra compreende todos os produtores de aerogeradores e de pás que atuam no mercado brasileiro. A pesquisa também incluiu especialistas, professores e governos estaduais. Os objetivos principais da pesquisa de campo eram:

- i) Identificar as estratégias de produção e inovação dos fabricantes que compõem a cadeia de aerogeradores;
- ii) Analisar o impacto da mudança nas regras de conteúdo local atrelado ao financiamento do BNDES nas estratégias de produção e inovação dos fabricantes que compõem a cadeia de aerogeradores;
- iii) Capturar a percepção das empresas sobre os principais programas voltados para apoiar a indústria eólica.

Este artigo está estruturado em oito seções. Depois desta breve introdução, a segunda parte descreve a evolução da energia eólica no Brasil. A seção 3 caracteriza a estrutura produtiva dos equipamentos eólicos e analisa sua evolução no Brasil, enquanto as seções 4, 5 e 6 analisam as estratégias produtivas e inovativas das empresas produtoras de aerogeradores e o impacto da mudança nas regras de conteúdo local atrelado ao financiamento do BNDES sobre estas estratégias. A seção 8 apresenta as principais conclusões da pesquisa.

2. A energia eólica no Brasil

Os primeiros investimentos brasileiros em energia eólica ocorreram como resposta à crise energética dos anos 1970. No final daquela década, o governo militar inicia uma série de iniciativas voltadas ao desenvolvimento de capacitações científicas e tecnológicas em fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis. A mais conhecida delas foi o Programa Nacional do Alcool (Proálcool). Entre as demais, a pesquisa em energia

eólica recebe algum destaque e um Centro de Energia Eólica é criado no Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA). Os investimentos em energia eólica não estavam, portanto, associados a questões ambientais, mas a preocupações energéticas.

Após a normalização da oferta de petróleo, as iniciativas de apoio à fonte eólica foram muito reduzidas e, até, interrompidas. Apenas no início da década de 2000 a energia eólica voltou a ser uma preocupação para o governo brasileiro, visto que o País estava novamente em uma situação de vulnerabilidade energética². A matriz elétrica brasileira é historicamente baseada em hidroeletricidade. As fontes hídricas eram responsáveis por 82% da matriz, e a falta de investimentos em novos reservatórios, associada a um período prolongado de secas, culminou em uma severa crise energética. Um forte racionamento de energia se faz necessário, assim como um esforço para diversificar as fontes de geração de energia. A ênfase neste segundo momento passa a ser um gradual aumento da participação da energia eólica na matriz energética.

Nesse momento, foi fundamental a iniciativa de mensuração e análise do potencial eólico do Brasil e de melhor compreender as características dos ventos nacionais. Esta iniciativa sintetizada no *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*, publicado em 2001, estimou em 143 GW a potência tecnicamente aproveitável do Brasil (CEPEL, 2001)³. O Nordeste foi identificado como a região que concentra o maior potencial eólico do País com 75 GW, mais de 50% do total.

Estes estudos pioneiros sobre os ventos brasileiros produzidos no início dos anos 2000 apresentaram resultados bastante importantes. Foi identificada, por exemplo, uma forte complementaridade entre o regime de ventos e o regime de chuvas em diversas regiões, principalmente na Região Nordeste. Esta complementaridade significa que quando há pouca chuva (com os reservatórios das hidrelétricas mais vazios) há mais vento, diminuindo o uso dos reservatórios. E nos períodos de chuva há menor risco de haver necessidade de verter água. Esta complementaridade não é um fenômeno comum. Em diversos países ocorre o oposto: os ventos coincidem com os períodos de chuva (SIMÕES, 2010).

Outra característica singular dos ventos brasileiros é que estes costumam ser unidirecionais com velocidades relativamente constantes e poucas rajadas, principalmente na Região Nordeste⁴. A baixa variância de velocidade e direção aumenta o aproveitamento

2 Em 2001, o País viveu uma crise energética. Após sucessivas interrupções no fornecimento energético, um programa de racionamento foi estipulado. Este plano determinava o limite de consumo mensal de energia elétrica de uma residência, sem multa, foi fixado em 320 kWh, se esse limite for ultrapassado, o consumidor deveria pagar 50% a mais sobre o excesso. Além disso, em agosto, a tarifa sofreu um reajuste de 16%.

3 O mapa eólico brasileiro afirma que o Brasil tem o potencial eólico estimado em 143 GW, mas este mapa foi elaborado com base em torres de 50 metros. Assim, faz-se necessária a atualização deste Atlas, com maior resolução de mapeamento, considerando alturas superiores a 100 metros e aerogeradores com potência acima de 1,5 MW. É necessário, também, considerar o inventário do potencial eólico *offshore*.

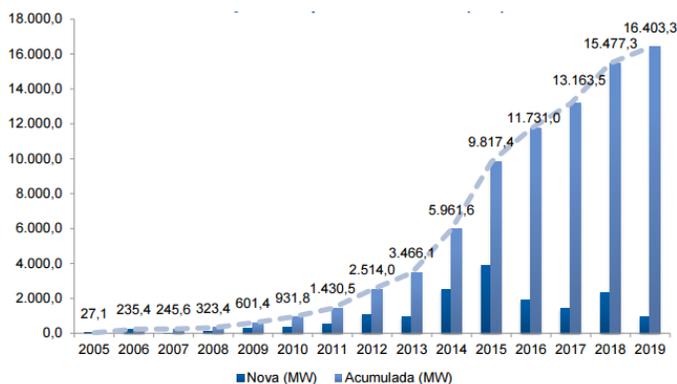
4 Os ventos possuem características distintas ao longo do País. Os ventos do extremo sul do País, por exemplo, tendem a ser mais intensos e a apresentarem fortes rajadas. Porém, de uma maneira geral, é possível afirmar que, na média, e principalmente na Região Nordeste, os ventos brasileiros tendem a ser unidirecionais e com poucas rajadas.

eólico e, por isso, o vento brasileiro está dentre os melhores ventos do mundo para aproveitamento de energia. Estas especificidades possuem também importantes implicações tecnológicas que serão analisadas ao longo deste capítulo (DUTRA, 2004).

Além da realização de estudos de medição de vento, o Brasil passou a implementar, a partir de 2001, programas específicos para inserção da fonte eólica na matriz energética. No início da década de 2000, a energia eólica começou a ser comercializada através de políticas específicas que visavam à criação de um mercado para esta fonte e, ao final da década, já alcançava um novo patamar, sendo comercializada através de leilões públicos. Desde 2009, a geração eólica é a fonte que mais cresceu no País em participação nos leilões. As contratações dos últimos anos surpreenderam até os mais otimistas (PODCAMENI, 2014).

A rápida expansão da energia eólica pode ser conferida pela Figura 1, que mostra a capacidade instalada desta fonte e sua participação na matriz elétrica brasileira no período 2005-2012. Em 2005, havia apenas 27 MW de energia eólica instalados no País. Cinco anos depois, o Brasil estava quase alcançando a marca do primeiro GW em energia eólica. Em 2015, já temos contratados 16,4 GW que deverão ser instalados em território brasileiro até 2019.

Figura 1 – Capacidade instalada de energia eólica na matriz elétrica brasileira (MW).



Fonte: ABEEólica (2015).

Mais recentemente, a necessidade de inserção da fonte eólica na matriz energética brasileira tem sido reforçada em função da tendência de redução do tamanho dos reservatórios das novas centrais hidrelétricas. O potencial hidrelétrico brasileiro remanescente se concentra na Região Norte, onde as exigências socioambientais de empreendimentos hidrelétricos na Amazônia exigem a construção de hidrelétricas com armazenamento a fio d'água que possuem capacidade reduzida. Assim, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 (PDE 2020) prevê uma forte redução da capacidade de ar-

mazenamento das próximas hidrelétricas que serão construídas no Brasil (EPE, 2011). A energia eólica possui, portanto, uma importância crescente na segurança energética do País. A expectativa da EPE é que a energia eólica seja responsável por 7% da matriz energética em 2020. Esta intensificação das atividades aumentou a demanda por equipamentos e estimulou o desenvolvimento de uma indústria eólica local, principalmente a partir de 2011. Assim, a próxima seção analisa a evolução da estrutura produtiva de equipamentos eólicos no Brasil.

3. Cadeia produtiva de equipamentos eólicos

Esta seção é composta por duas subseções. A primeira visa elucidar as principais características do processo de organização industrial da produção de aerogeradores enquanto a segunda analisa a evolução desta cadeia produtiva no Brasil.

3.1. Organização industrial da produção de aerogeradores

Apesar de o aerogerador ser composto por aproximadamente 8 mil componentes, é possível estruturar sua cadeia produtiva de acordo com três macrocomponentes: a torre, a nacelle e as pás. A nacelle é o compartimento instalado no alto da torre e que abriga todo o mecanismo do gerador, incluindo caixa multiplicadora, freios, embreagem, mancais, controle eletrônico e sistema hidráulico e o cubo, que é a estrutura onde são fixadas as pás (Figura 2).

Figura 2 – Padrão dominante de aerogerador.



Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br>

A produção de aerogeradores é dominada por grandes empresas OEMs, sigla derivada da expressão *Original Equipment Manufacturers*. As estratégias de produção que cada OEM adota são diferentes, apresentando níveis de verticalização distintos. As OEMs são responsáveis pela produção ou terceirização de alguns componentes e pela montagem dos macrocomponentes. Os componentes terceirizados são produzidos de acordo com especificações estabelecidas pelas OEMs.

O segmento de torres é caracterizado pela alta intensidade de recursos naturais. As torres são usualmente construídas em aço ou concreto e transportadas em módulos, apresentando em alguns casos sistemas de elevadores. O desenvolvimento de torres, principalmente acima de 100 metros, representa um desafio tecnológico. Mas, em comparação com os demais segmentos, trata-se de uma tecnologia difundida e menos complexa. Assim, a competição tende a ser por custo e, portanto, as inovações tendem a ser em processos e relacionadas à redução de custo⁵. Em função do baixo conteúdo tecnológico, do elevado peso e da dificuldade de transporte, a maioria dos fabricantes de aerogeradores opta por encomendar essas torres de fornecedores locais (ABDI, 2012).

Em relação ao processo de manufatura das pás eólicas, trata-se de um processo sofisticado em *design* e intensivo em mão de obra, especialmente nas tarefas de aplicação de várias camadas sucessivas de resina, fibra de vidro e tecidos, bem como no acabamento com polimento e pintura. Segundo ABDI (2012), cerca de metade da produção de pás é feita internamente pelas grandes fabricantes de aerogeradores. Assim, o segmento de produção de pás é concentrado em poucas grandes empresas. Além das empresas fabricantes de aerogeradores que produzem suas próprias pás, há outras duas grandes empresas: a dinamarquesa LM e a brasileira Tecsis. A competição no segmento é acirrada e as empresas investem bastante em inovação como forma de diferenciação de seus produtos, buscando obter competitividade.

Conforme mencionado, a nacelle é o compartimento instalado no alto da torre, responsável por transformar a energia mecânica em energia elétrica. Diferentemente da pá e da torre, não é possível estabelecer um padrão de produção para este componente. A nacelle possui componentes de alta tecnologia como a caixa multiplicadora, os geradores, os conversores e os sistemas de controle eletrônico, assim como componentes de baixo conteúdo tecnológico, como os transformadores, a cobertura da nacelle e as peças forjadas (ABDI, 2012).

Os componentes com baixo conteúdo tecnológico tendem a ser padronizados e oferecidos por um número maior de empresas. Já a fabricação dos componentes tecnologicamente intensivos costuma se concentrar em poucas empresas (ABDI, 2012).

As OEMs tendem a produzir alguns componentes da nacelle e terceirizar outros. A destacar ainda que não é possível generalizar, pois cada OME possui diferentes graus de verticalização. Assim, a estrutura produtiva das OEMs é caracterizada pela heterogeneidade, com empresas operando com distintos níveis de integração vertical. Há empresas, como a alemã Enercon, que tende a internalizar a produção das três partes principais (nacelle, pás e torre), usualmente por meio de aquisição de empresas fornecedoras de partes, e atuam até a ponta da cadeia, gerenciando e operando usinas geradoras de energia.

⁵ Há algumas inovações tecnológicas ligadas à inovação de produto, como as torres treliçadas. Mas de uma maneira geral, neste segmento, as inovações tendem a ser em processos e a competição via custo. Há, por exemplo, algum esforço de inovação na busca de desenvolvimento de novos materiais que reduzam o custo da torre ABDI (2012).

Outras, como a norte-americana GE, que apresenta baixo grau de integração, adquirindo a maior parte dos componentes de fornecedores especializados (ABDI, 2012).

3.2. Evolução da cadeia produtiva de equipamentos eólicos no Brasil

O Quadro 1 apresenta as empresas fornecedoras de aerogeradores, torres e pás no Brasil em 2013, assim como o início de operação no País e o país de origem da matriz.

Quadro 1 – Principais produtores de equipamentos eólicos no Brasil em 2013.

	Empresas	Início da operação no Brasil	Origem da matriz
OMEs	Wobben/Enercon	1995	Alemanha
	Impsa	2008	Argentina
	Alstom	2011	França
	Gamesa	2011	Espanha
	Vestas	2012	Dinamarca
	Siemens	2013	Alemanha
	GE	2014	EUA
	Acciona	2013	Espanha
	WEG	2011	Brasil
Produto- ras de pás eólicas	Aeris	2013	Brasil
	Tecsis	1995	Brasil
	Wobben/Enercon	2002	Alemanha
	LM	2013	Dinamarca
Produtoras de torres	Wobben/Enercon	2011	Alemanha
	Inneo Torres	2011	Espanha
	Engelbasa	2009	Brasil
	Piratininga Máquinas	2010	Brasil
	Tecnomaq	2006	Brasil
	Intecnial	2008	Brasil
	RM eólica	2010	Brasil

Fonte: elaboração própria.

A partir das informações contidas no Quadro 1, pode-se inferir que a instalação de empresas produtoras de equipamentos eólicos é relativamente recente e que os maiores produtores mundiais de aerogeradores têm fábricas no Brasil. Adicionalmente, percebe-se que as empresas fabricantes de aerogerador são subsidiárias de empresas transnacionais, com exceção das empresas WEG e Impsa. A primeira é a única fabricante de aerogeradores nacionais e a Impsa é uma empresa argentina que concentra sua atuação na América Latina.

A WEG é líder na produção de motores elétricos e geradores desde a década de 1980 e não possuía experiência na fabricação de aerogeradores. Foi apenas em 2011, com a assinatura de um acordo de transferência de tecnologia com o Grupo M. Torres Olvega Industrial (MTOI), que a empresa começou a produzir aerogeradores. Segundo a empresa, o fato de a WEG tradicionalmente já produzir diversos componentes do aerogerador como transformadores e geradores ajudou no início da produção de aerogeradores, embora houvesse diversas etapas de produção que a WEG não dominava. O acordo tecnológico da MTOI com a WEG resultou na criação de uma *joint venture*, com participação igualitária, para a fabricação, montagem, instalação e comercialização de aerogeradores e fornecimento de serviços de operação e manutenção. A estratégia escolhida foi focar inicialmente no mercado nacional (PODCAMENI, 2014).

Em 2012, a *joint venture* lançou seu primeiro aerogerador de 1,65 MW, porém esta potência foi considerada pequena para o mercado brasileiro e a empresa não conseguiu realizar nenhuma venda. O tamanho do aerogerador da WEG era considerado adequado para o mercado brasileiro no momento em que empresa desenvolveu o projeto (2011), mas considerado ultrapassado no momento do seu lançamento (2012). A *joint venture* com a MTOI foi desfeita em função deste fracasso.

Em 2013, a WEG assinou outro acordo de transferência de tecnologia (com a companhia norte-americana Northern Power) para a fabricação de aerogeradores maiores, com potência entre 2,1 e 2,3 MW, rotores das pás com 93 a 110 metros de diâmetro e torres de até 120 metros de altura. A nova máquina atende melhor aos requisitos técnicos dos regimes de ventos brasileiros. A WEG já assinou contratos de venda deste aerogerador cujo primeiro exemplar foi entregue no primeiro semestre de 2014.

Assim como a WEG, a Impsa também decidiu entrar recentemente na produção de aerogeradores. Com longa tradição na produção de turbinas hidrelétricas e no desenvolvimento de equipamentos para a indústria de petróleo e gás, a Impsa entrou no ramo de energia eólica apenas em 2003(PODCAMENI, 2014).

Da mesma forma que a empresa brasileira, a empresa argentina já possuía um vasto conhecimento em áreas correlatas ao desenvolvimento da produção de aerogeradores, mas também recorreu à assinatura de acordos de transferência tecnológica para iniciar sua produção de aerogeradores. Em 2003, assinou um contrato de transferência tecno-

lógica com a alemã Vensys e foi bem-sucedida na produção do seu primeiro modelo. Além dos aerogeradores com tecnologia Vensys, a Impsa posteriormente desenvolveu tecnologia própria. Segundo declaração da própria empresa, o conhecimento acumulado em diversas áreas, tais como mecânica de fluídos, manejo de estruturas de grande altura, conversão de frequência e automação, ajudaram no desenvolvimento tecnológico.

A Impsa, através de sua subsidiária Impsa Wind, escolheu o mercado brasileiro para iniciar suas atividades em energia eólica. A expansão do mercado brasileiro e a dificuldade de penetrar nos mercados norte-americano e europeu foram os motivos apontados pela empresa. Atualmente, a Impsa Wind já possui projetos na Malásia e no Vietnã, mas o Brasil permanece como seu principal mercado no segmento eólico.

Além da brasileira WEG e da Argentina Impsa, as companhias produtoras de aerogeradores que já se instalaram ou estão se instalando no Brasil (Wobben, Alstom, Gamesa, Vestas, Siemens, Acciona, GE) são empresas globais já consolidadas no mercado e com forte atuação nos mercados norte-americano e europeu. O mercado brasileiro, apesar de possuir importância crescente, não é o principal (PODCAMENI, 2014)

É possível ainda inferir pelo Quadro 1 que há quatro empresas de pás instaladas no Brasil: LM, Aeris, Tecsis e Wobben. Destas, duas são brasileiras, Tecsis e Aeris.

A empresa brasileira Tecsis, uma das líderes mundiais, possui uma história interessante. Esta empresa herdou sua capacidade tecnológica do CTA (Centro Tecnológico Aeroespacial). No final da década de 1970, o governo militar, preocupado com os dois choques do petróleo, criou no CTA um grupo de energia eólica, o qual funcionou de 1979 a 1984. Após a normalização da oferta de petróleo, o grupo de energia eólica foi desmontado, mas um de seus membros fundou a Tecsis em 1995. O sucesso da Tecsis está relacionado à capacitação brasileira acumulada na aeronáutica, setor onde o Brasil tem competitividade mundial com a Embraer, terceira maior fabricante de aviões do mundo.

É relevante notar que até o surgimento da Tecsis, as pás no mundo eram desenvolvidas a partir dos conhecimentos científicos da área de navegação. A técnica de navegação acumulou um vasto conhecimento em ventos que foi usado no desenvolvimento das primeiras pás de aerogeradores. A Tecsis representa uma inflexão neste processo de aprendizagem pelo fato de ter sido a primeira empresa a desenvolver pás de aerogeradores a partir da base de conhecimento da aeronáutica (PODCAMENI, 2014).

Atualmente, a Tecsis se tornou a segunda maior fornecedora de pás do mundo, atrás apenas da Dinamarquesa LM. A líder dinamarquesa iniciou a sua produção em 1978 e rapidamente alcançou a liderança mundial. Conforme mencionado, sua base tecnológica deriva da área de navegação. Seus principais mercados são o norte-americano, o chinês e o europeu. A LM decidiu instalar uma fábrica de pás no Brasil apenas em 2013, em Pernambuco.

Porém, é importante ressaltar que estas empresas têm estratégias de desenvolvimento de produto bastante diferentes entre si. A dinamarquesa produz uma pá de prateleira, ou seja,

produz alguns modelos de pá e o cliente escolhe. Apenas pequenas adaptações são permitidas. Já a brasileira produz apenas sob encomenda e especificamente para cada aerogerador.

A segunda empresa brasileira no ramo de pás, a Aeris, também possui relação com a aeronáutica. A Aeris é uma empresa nascente fundada por três engenheiros da Embraer. Embora tenha sido criada apenas em 2013, foi extremamente bem recebida no mercado. A Aeris segue o modelo da Tecsis de produzir suas pás por encomenda e com especificações particulares para cada aerogerador.

Vale lembrar que a produção de pás é caracterizada por elevadas barreiras à entrada, em função da sofisticação do produto e do alto custo inicial para abertura da fábrica.

Já o segmento de torres possui baixas barreiras à entrada, o que implica um número maior de empresas. O Quadro 1 apresenta apenas uma amostra perante um universo grande de empresas de torres no Brasil. Apesar de haver presença de empresas estrangeiras neste segmento como a espanhola Inneo Torres, este setor é composto majoritariamente por fabricantes de aerogeradores integrados que não terceirizam suas torres, como a Wobben e a Impsa, ou por empresas nacionais de menor porte.

Dessa forma, é possível concluir que as empresas transnacionais (ETNs) têm assumido um papel dominante no sistema de produção de aerogeradores no Brasil. A empresa nacional WEG está tentando se firmar neste mercado, caracterizado pela acirrada concorrência e por trajetórias tecnológicas extremamente dinâmicas. No segmento de pás, percebe-se que o Brasil possui forte inserção em função do desmembramento de capacitações acumuladas no setor aeroespacial. O sucesso da Tecsis e o surgimento da Aeris não estão relacionados com as políticas de inovação recentes, mas com programas da década de 1970. É possível afirmar também que há um padrão nacional na fabricação de pás associado aos campos de conhecimentos relacionados à aeronáutica, em contraposição a um padrão global de pás baseado nos conhecimentos relacionados à navegação. Com exceção das duas empresas de pás e da WEG, as empresas brasileiras têm se concentrado no segmento de torres, que é caracterizado por ser intensivo em recursos naturais e com baixa intensidade tecnológica.

A próxima seção analisa as estratégias de produção destas empresas.

4. Estratégias de produção das empresas de equipamentos eólicos no Brasil

O objetivo inicial desta seção é discutir a estratégia produtiva das empresas analisadas a partir da compreensão de quais são os componentes produzidos no País e quais são importados e os fatores que influenciam esta decisão.

Os resultados apresentados dividem-se em dois momentos: até dezembro 2012 e pós-dezembro 2012, para conseguir captar o efeito da alteração das regras de conteúdo local associadas aos financiamentos dos parques eólicos pelo BNDES nas mudanças nas estratégias produtivas das empresas.

As entrevistas apontaram que, de maneira geral, até 2012 a estratégia produtiva dos fabricantes de aerogeradores restringia-se à fase final de montagem. Praticamente todos os componentes da nacelle⁶ vinham de fora do País e eram apenas montados no Brasil. Conforme mencionado, até 2012 a regra de conteúdo nacional do BNDES exigia que 60% (em peso e valor) dos componentes fossem produzidos nacionalmente. De uma maneira geral, as empresas de aerogeradores tendiam a comprar as pás e as torres de fabricantes nacionais e importavam a maior parte da nacelle. As exceções eram a Wobben e a Impsa, que produziam, desde sua entrada no Brasil, parte da nacelle localmente.

A Wobben entrou no País em 1995 e abriu uma fábrica de pás em Sorocaba, ao lado da Tecsis. A empresa alemã exportava as pás, uma vez que o mercado eólico brasileiro inexistia. Com a construção dos primeiros parques eólicos no PROINFA, a empresa voltou sua produção para o mercado interno e expandiu para a produção completa dos aerogeradores. Por ter sido a pioneira no Brasil, realizou um esforço significativo de estruturar no País a cadeia produtiva e de treinar os fornecedores. Parte da nacelle, como os geradores e transformadores, era produzida no Brasil, porém, os componentes de maior intensidade tecnológica, como os relacionados ao sistema elétrico-eletrônico e de *software*, eram importados. O *design* dos equipamentos também era realizado no exterior.

A empresa argentina Impsa, segunda a entrar no Brasil, possui um perfil um pouco menos verticalizado que a Wobben, terceirizando as pás e as torres. Da mesma forma que a pioneira Wobben, a Impsa produzia parte da nacelle, mas também importava componentes de maior intensidade tecnológica (sistema elétrico-eletrônico e de *software*) e desenhava suas máquinas fora do Brasil. A Gamesa abriu uma fábrica de produção de rotores em 2011 na Bahia. A nacelle era totalmente importada da China e as pás e as torres eram adquiridas de empresas nacionais. A empresa dinamarquesa Vestas abriu em 2012 uma pequena fábrica de rotores e tinha como estratégia produzir o rotor e as torres no Brasil e importar as pás.

Já a Alstom adotou uma estratégia de nacionalização um pouco maior que a Gamesa e a Vestas, que incluía a nacionalização da nacelle, além da torre e das pás. Assim, em 2011, a Alstom abriu uma fábrica de nacelle na Bahia. Apesar de ser positiva a expansão da produção de nacelle no País, praticamente todos os componentes da nacelle ainda eram importados. A fábrica possuía um perfil de montadora e praticamente nenhum componente era produzido na fábrica.

Por fim, a WEG, que começou a produzir aerogeradores em 2011. Apesar deste aerogerador não ter sido bem-sucedido, algumas unidades foram produzidas, utilizando a estratégia de produzir a nacelle e terceirizar a produção das pás e da torre. Em contraposição às demais fábricas, a da WEG não possuía o perfil de montadora, mas uma

6 Nacelle é o compartimento instalado no alto da torre e que abriga todo o mecanismo do gerador, incluindo caixa multiplicadora, freios, embreagem, mancais, controle eletrônico e sistema hidráulico.

unidade produtiva onde diversos equipamentos, como geradores, transformadores e painéis eletrônicos, eram manufaturados. O *design* dos aerogeradores pertencia à MTOI e os painéis mais complexos da nacelle eram importados em forma de *turn-onkey*, pois a WEG ainda não tinha domínio de importantes processos tecnológicos na fabricação destes componentes.

É possível perceber que o segmento de pás e torres sempre foi caracterizado por um baixo grau de importação. Até 2012, a produção de pás era realizada pela Tecsis e pela Wobben. A Wobben utilizava o *design* da sua pá desenvolvido no exterior e produzia pás apenas para seus aerogeradores. A Tecsis produzia pás para os aerogeradores de outros fabricantes, como GE, Gamesa, Siemens e Impsa. Este desenvolvimento era realizado de forma customizada e cooperativa. Os clientes (fabricantes de aerogeradores) detinham a propriedade intelectual dos produtos resultantes destes processos interativos e a Tecsis apenas executava. Conforme já mencionado, a principal matéria-prima da produção de pás é a fibra de vidro, que era parcialmente adquirida nacionalmente e parcialmente importada. Outro item comumente importado no segmento de pás até 2012 era a resina, sob a alegação de escassez de fornecedores nacionais e elevados preços.

É importante ressaltar que a regra de nacionalização do BNDES exigia que o aerogerador fosse produzido por uma fábrica no País, mais especificamente, exigia que 60% (em valor e em peso) do aerogerador fossem produzidos no Brasil. Na prática, porém, houve uma negociação entre os fabricantes que ainda não tinham fábricas no País, mas que assumiram compromissos perante o BNDES de instalarem uma unidade produtiva de aerogeradores no Brasil⁷. Assim, empresas como a GE, Acciona, e Siemens, que não tinham fábricas no Brasil, conseguiam enquadrar seus aerogeradores dentro da regra de nacionalização.

As empresas que não tinham fábricas importavam a nacelle e nacionalizavam a torre e as pás, conseguindo assim cumprir a regra de nacionalização do BNDES. Portanto, até 2012 a tendência era que os aerogeradores utilizados no País alcançassem o índice de nacionalização através da importação da nacelle e a produção local dos demais equipamentos.

Em suma, os aerogeradores enquadrados na regra de índice de nacionalização do BNDES podiam ser tanto de empresas que possuíam fábrica no Brasil ou não. A estratégia das empresas que não possuíam fábrica era nacionalizar apenas a torre e as pás. Mesmo as empresas que abriram fábricas de rotores mantiveram essa estratégia de importar a nacelle e nacionalizar a torre e as pás. A abertura de algumas fábricas de nacelle no Brasil representou um avanço, embora as fábricas instaladas ainda tivessem elevado grau de importação, constituindo-se basicamente em linhas de montagem. A Wobben e

⁷ Através de um plano de nacionalização progressiva (PNP), as fabricantes se comprometiam junto ao BNDES a alcançar níveis de nacionalização da fabricação dos aerogeradores.

a Impsa tinham um maior nível de nacionalização dos componentes, pois desenvolveram uma cadeia de fornecedores de componentes da nacele e conseguiram, portanto, produzir parte da nacele nacionalmente, embora os componentes de maior intensidade tecnológica, como os relacionados ao sistema elétrico-eletrônico e de *software*, ainda fossem importados. O *design* dos aerogeradores e os investimentos em P&D eram restritos às matrizes. A brasileira WEG também tinha um perfil diferenciado, produzindo grande parte da nacele em sua fábrica.

5. Impacto da mudança nas regras de conteúdo local do BNDES nas estratégias produtivas

Em 2012, o BNDES alterou as regras de financiamento a fim de aumentar o conteúdo tecnológico da cadeia produtiva concentrada no Brasil. A nova metodologia, anunciada em dezembro de 2012, estabelece a ampliação progressiva da quantidade de componentes nacionais nos equipamentos, que terão de ser cumpridas de acordo com um cronograma previamente estabelecido.

O impacto da alteração do índice de conteúdo nacional do BNDES na estratégia produtiva das empresas será mais bem mensurado a partir de 2016 quando a regra de transição chegar ao final. Apesar disso, já é possível apontar algumas mudanças significativas que ocorreram para atender às etapas iniciais. Dessa forma, a pesquisa de campo realizada tinha, entre um de seus objetivos, analisar os impactos iniciais da alteração do índice de conteúdo nacional do BNDES nas estratégias produtivas das empresas.

No segmento de pás, o impacto nas estratégias produtivas foi significativo. A empresa LM afirmou que a mudança na metodologia estava entre as motivações para a abertura da sua unidade fabril em Suape. Adicionalmente, observou-se um esforço das fabricantes de pás Tecsis e Wobben em nacionalizar alguns componentes que eram importados, como a resina da pá para infusão e os tecidos de fibra de vidro.

No segmento de torres, a alteração das regras do BNDES parece ter um impacto um pouco menor, uma vez que, mesmo antes da alteração das regras, o segmento já era bastante nacionalizado. Porém, alguns componentes internos da torre, como os forjados, eram frequentemente importados como estratégia de minimização de custos. A nova regra exige a nacionalização de 60% dos forjados e a nacionalização total dos demais componentes internos como plataformas, escadas, suportes, eletrodutos e parafusos de conexão dos flanges.

Entre os fabricantes de aerogeradores, a mudança no índice de nacionalização teve impacto forte, com alteração significativa nas estratégias produtivas.

As empresas que não tinham fábricas instaladas no Brasil, como Siemens e Acciona, decidiram iniciar sua produção no País. A GE também anunciou que abrirá uma fábrica que deverá ser inaugurada em 2014. As três empresas alegaram que a alteração nas regras

foi determinante para a decisão de abrir uma fábrica no Brasil. As empresas que já tinham fabricação em território nacional tiveram que alterar a estratégia produtiva de forma a nacionalizar parte da produção que era composta por componentes importados.

De uma maneira geral, havia dois cenários para a produção da nacele até 2012: totalmente importada ou montada no Brasil a partir de componentes importados com a produção de apenas alguns itens de baixo conteúdo tecnológico. A nova regra, além de exigir que toda a nacele seja montada no País, exige também que 50% dos componentes principais sejam fabricados nacionalmente. Assim, espera-se que haverá um impacto ao longo da cadeia produtiva através da nacionalização de diversos componentes elétricos, hidráulicos, fundidos de grande porte, entre outros.

Até o momento da realização da pesquisa de campo, em outubro de 2013, as empresas que haviam se cadastrado na nova regra do BNDES eram: Impsa, Wobben, Alstom, Acciona, GE e a Gamesa. A Vestas declarou que iria cadastrar seu aerogerador na nova metodologia, assim como a brasileira WEG.

A Vestas classificou o esforço para se adequar às novas regras como “extremamente significativo” e afirmou que a nacionalização da nacele não estava nos planos da empresa antes das mudanças nas regras do BNDES. A nacionalização da pá também foi uma alteração na estratégia da empresa que costumava importar este item.

A Gamesa declarou que está fazendo elevado esforço para desenvolver a cadeia de fornecedores para se adequar à nova regra do BNDES. Da mesma forma que a Vestas, a nacionalização da nacele não estava em seus planos originais. Uma das conquistas da empresa foi conseguir nacionalizar a produção de conversores de potência, um item de elevada complexidade tecnológica.

A Wobben e a Alstom já produziam naceles no País, mas estão fazendo algumas mudanças em suas estratégias produtivas para se ajustar ao índice de nacionalização. Estas empresas estão nacionalizando componentes como fundidos e forjados que antes, devido à otimização de custos, eram importados da China.

A WEG garantiu que o aerogerador será cadastrado no BNDES antes das primeiras vendas, que estão estimadas para meados de 2014. A empresa declarou, inclusive, que pretende nacionalizar o *design* dos aerogeradores e desenvolver nacionalmente os componentes de alta complexidade, como o sistema de controle.

A argentina Impsa foi a única empresa que declarou não ser preciso fazer nenhum ajuste em suas estratégias produtivas, uma vez que seu índice de nacionalização já superava as metas do BNDES. A Impsa também declarou que pretende nacionalizar o *design* dos aerogeradores e desenvolver nacionalmente os componentes de alta complexidade, mas que estas mudanças não estão associadas às alterações de regra do BNDES. As evidências apontadas pela pesquisa de campo apontam para um elevado impacto da nova metodologia sobre o desenvolvimento da cadeia produtiva de energia eólica.

Até 2012, apenas as empresas Impsa e Wobben faziam maior esforço de desenvolver a cadeia de fornecedores, e esta era considerada ainda pouco desenvolvida. Atualmente, todas as empresas de aerogeradores classificaram os esforços que vêm sendo feitos para o desenvolvimento de novos fornecedores como extremamente elevados. O Quadro 2, a seguir, resume em linhas gerais, as estratégias produtivas adotadas pelo setor.

Quadro 2 – Principais estratégias produtivas adotadas pelas empresas.

Segmento	Estratégia de nacionalização mais escolhida em 2013, por segmento	Previsão de nacionalização em 2016
Cubo	Cubo fundido	Cubo fundido
		Carenagem
		Painéis elétricos
		Rolamentos
		Acionamentos de Pitch
Pá	Fabricação de pás no Brasil por alguns fabricantes de aerogeradores	Fabricação de pás no Brasil
		Desenvolvimento de resinas para infusão
		Desenvolvimento de tecidos de fibra de vidro
Torre	Fabricação com conteúdo nacional (parcial)	Fabricação total da torre no Brasil com conteúdo nacional
Nacele	Importação total ou montagem da Nacele	Montagem da nacele no Brasil
		Fabricação nacional de mínimo de 12 componentes
		Desenvolvimento de componentes elétricos, hidráulicos, fundidos de grande porte etc.

Fonte: elaboração própria com dados do BNDES.

Além de estimular o desenvolvimento da cadeia produtiva, é possível perceber que a nova metodologia teve como consequência a reversão de uma tendência de especialização da produção nacional em equipamentos de menor intensidade tecnológica. Como antes de 2012 era possível alcançar o índice de nacionalização sem produzir nenhum equipamento da nacele no País, diversas empresas adotavam uma estratégia de minimização de custos via importação dos componentes da nacele, que vinham predominantemente da China. As empresas que decidiam produzir parte da nacele no Brasil ou ter maior produção local tinham custos mais elevados. O caso da Wobben é exemplar.

A empresa chegou a ter aproximadamente 90% dos componentes produzidos nacionalmente nos primeiros anos de atuação no Brasil. Mas, em meados dos anos 2000, optou por reduzir seu conteúdo local e importar certos itens da China. Segundo a empresa, era difícil competir com empresas que traziam o equipamento da China.

Neste sentido, a nova regra do BNDES corrigiu o incentivo perverso que beneficiava as empresas com menor inserção local. Espera-se que no ano de 2016 a competitividade do setor não esteja mais atrelada a uma estratégia de substituir produção local por importação de equipamentos e passe a ser calcada na introdução de inovações tecnológicas, no aumento da eficiência da cadeia de suprimentos e em logística.

De forma quase unânime, as empresas classificaram a nova metodologia como tecnicamente bem elaborada. De maneira generalizada, a possibilidade de as empresas poderem seguir trajetórias tecnológicas diferenciadas foi elogiada pelos fabricantes de aerogeradores como uma forma de aproveitar as capacitações existentes em cada empresa. As críticas se concentraram no curto prazo de adequação para as novas regras. Seis das nove empresas entrevistadas alegaram que o prazo é demasiadamente curto para reestruturar as estratégias produtivas e que haverá fortes gargalos na cadeia de fornecimento. Tais empresas alegam que o treinamento de fornecedores aos padrões necessários à produção é um processo de longo prazo. Estas empresas classificaram a escassez de fornecedores nacionais como um fator que poderá comprometer a expansão do setor.

Em suma, é possível afirmar que a mudança na regra do BNDES referente ao índice de nacionalização provocou: i) eliminação gradativa das diferenças entre as estruturas industriais dos diversos fabricantes de aerogeradores no País; ii) aumento progressivo do conteúdo local dos aerogeradores financiados pelo BNDES; iii) desenvolvimento da cadeia de fornecedores de componentes, incluindo alguns de alto valor agregado e alto conteúdo tecnológico; e iv) geração de empregos qualificados no País⁸.

6. Estratégias de inovação

A realização da pesquisa de campo também teve como objetivo analisar as estratégias tecnológicas e de inovação das firmas que compõem a cadeia de produção dos equipamentos de energia eólica.

Baseadas em informações coletadas nas entrevistas, de uma maneira geral, os esforços tecnológicos globais das OEMs no segmento da nacele têm se concentrado na diminuição do atrito dos componentes, à busca por maior estabilidade no fornecimento de energia e na aerodinâmica, para maior aproveitamento energético.

⁸ A geração de empregos ocorre tanto em função da abertura de novas OEMs, como GE, Acciona, Siemens, como também pela expansão da capacidade produtiva dos fornecedores dos componentes que passaram a ser produzidos nacionalmente. Foge ao escopo deste trabalho mensurar a geração de emprego, uma vez que apenas os fornecedores dos macrocomponentes foram abordados nas entrevistas.

Já quanto aos esforços tecnológicos globais realizados pelas empresas nos segmentos de pás, o objetivo é aprimorar a aerodinâmica e melhorar o aproveitamento energético. No caso das torres, visa-se, principalmente, reduzir custos. Adicionalmente, há um enorme esforço nestes componentes no sentido de *scallingup* – aumento da altura das torres e do diâmetro dos rotores e das pás –, uma vez que aerogeradores maiores são mais eficientes, dentro da mesma classe de vento.

Ao analisar as estratégias de inovação que as empresas adotam no Brasil, percebeu-se que a totalidade das subsidiárias de ETNs concentra todo o esforço de inovação em suas matrizes e não tem interesse em trazer tais investimentos para o País.

Com exceção da WEG e da Impsa, as empresas implementam no Brasil aerogeradores desenvolvidos no exterior. Nenhum aerogerador das demais empresas levou em consideração as características locais no seu desenvolvimento original. Elas apenas realizaram algumas adaptações de caráter incremental para que a operacionalização do aerogerador no Brasil seja viabilizada.

As principais adaptações identificadas na pesquisa de campo são:

- 1) Tinta especial contra a salinização;
- 2) Refrigeração interna;
- 3) Adaptação nas torres para instalação em dunas;
- 4) Iluminação nas extremidades para se adequar à legislação brasileira.

Todas estas adaptações adicionam custos e, portanto, significam ineficiências do projeto original, tendo em vista as especificidades brasileiras. Como não foram pensadas no projeto inicial, tais alterações representam custos significativos na implementação dos aerogeradores.

Tais inovações adaptativas foram desenvolvidas nos centros de pesquisa localizadas nos países centrais. Com exceção da WEG e da Impsa, nenhuma inovação introduzida pelas empresas foi desenvolvida no Brasil, até mesmo as adaptações tecnológicas voltadas para as especificidades locais. A solução para proteger o aerogerador da Wobben da corrosão decorrente da salinização, por exemplo, foi desenvolvida na Alemanha.

Adicionalmente, a estratégia de desenvolver um equipamento global e de depois fazer adaptações geralmente ignora as potencialidades que um equipamento originalmente desenvolvido para o local possui. Geralmente, há possibilidade de maior aproveitamento quando as características regionais/locais são incorporadas no *design* original. Conforme mencionado, os ventos brasileiros possuem características bastante específicas: unidirecionais e com pouca variância em sua velocidade (poucas rajadas). Tais características são distintas dos ventos europeus e norte-americanos e possibilitam um maior aproveitamento do aerogerador.

Adicionalmente, os equipamentos que as subsidiárias das ETNs estão adotando possuem diversos itens que não são necessários no Brasil, como resistência a temperaturas

extremamente baixas (até 40°C negativos) e resistência a chuvas de granizo. O sistema de cabos destes equipamentos, por exemplo, foi desenvolvido para permitir que a nacelle dê três voltas completas ao redor do próprio eixo. Este sistema de cabo é custoso e não seria necessário no Brasil, que apresenta ventos predominantemente unidirecionais.

Todas estas características mostram o descolamento entre o projeto do aerogerador comercializado pelas subsidiárias de ETNs e as características do local onde ele foi inserido. A falta de uma estratégia nacional permitiu a estas empresas a venda no Brasil dos aerogeradores ociosos nos mercados centrais – tendo em vista a crise internacional desencadeada em 2007-2008 – com adaptações necessárias à viabilização do seu funcionamento no mercado brasileiro.

Porém, com a crescente importância do mercado eólico nacional, é possível que haja uma revisão nas estratégias de inovação das empresas. Como o modelo de leilão é caracterizado por forte competição, ganhos na produtividade estão se tornando cada vez mais determinantes para se fechar contratos no Brasil. Assim, seria razoável supor que as fabricantes comecem a aprofundar os esforços tecnológicos para desenvolver um aerogerador específico para as localidades desde a sua concepção.

Todavia, das sete subsidiárias (GE, Alstom, Acciona, Siemens, Vestas, Gamesa e Wobben), apenas a Alstom apresentou interesse em desenvolver um modelo de aerogerador específico para as características locais⁹. As demais subsidiárias não têm planos de desenvolver um aerogerador específico para o Brasil. A Gamesa afirma que possui um aerogerador que funciona bastante bem para os ventos brasileiros, chineses e indianos. A Vestas afirma que o aerogerador é uma máquina global e que não há necessidade de desenvolver uma máquina específica para o Brasil. A pequena escala e a instabilidade de contratação de energia eólica pelo governo também foi mencionada por tais empresas como obstáculo para realizar investimentos em P&D.

Uma das questões abordadas foi questionar se as empresas tinham alguma relação com institutos de pesquisa ou universidades brasileiras. Nenhuma das sete subsidiárias possuía qualquer relação com estas instituições. O motivo alegado foi basicamente o mesmo para todas: as empresas já tinham centros de excelência de P&D em suas matrizes, onde concentram seus esforços inovativos.

A Gamesa, a GE e a Alstom mencionaram a possibilidade de desenvolverem centros de P&D no Brasil, apesar de não haver planos concretos ainda.

Por fim, foi perguntado às empresas se estas eram usuárias dos programas governamentais de apoio à Ciência, Tecnologia e Inovação. Foram perguntados sobre os seguin-

9 A Alstom afirma estar desenvolvendo uma máquina desenhada para os ventos do semiárido da Bahia. Embora admita que este novo aerogerador não será radicalmente diferente, a empresa afirma que terá um rotor maior e uma pá mais adequada a esses ventos. Porém, este esforço tecnológico de adaptar o aerogerador aos ventos brasileiros está sendo desenvolvido na matriz. Os modelos de vento são enviados para a matriz, que projeta a máquina. Nenhuma parte de P&D é desenvolvida no Brasil.

tes programas: Fundo Setorial, Lei do Bem e Subvenção Econômica. As sete subsidiárias têm um nível de conhecimento extremamente baixo sobre os programas e, também, pouco interesse. O motivo alegado por estas para o reduzido esforço de inovação realizado no Brasil não é a falta de recursos e sim a estratégia de concentrar os esforços de inovação em suas matrizes.

“Por incrível que pareça não basta ter o dinheiro disponível (para inovar), tem que ter outros recursos disponíveis; o dinheiro é apenas um dos recursos, e é um dos recursos que nós já temos disponível. Nós somos fabricantes de aerogerador, nós vendemos máquina, temos dinheiro” (PODCAMENI, 2014, p. 201).

Adicionalmente, foi perguntado sobre o programa de apoio à P&D do setor elétrico coordenado pela Aneel. Tal programa era conhecido por duas das sete empresas, mas foi fortemente criticado:

“(...) é um negócio que também hoje já está se fazendo por obrigação. P&D da Aneel, todo o projeto que eu vejo, fica sobrando dinheiro lá na distribuidora. Aí os caras pegam e vão fazer qualquer coisa. Geralmente, dão para universidade ou algum pesquisador” (PODCAMENI, 2014, p. 201)

Em relação às principais fontes de inovação destas empresas, todas apontaram os centros de P&D que se situam fora do País.

Em suma, percebe-se que praticamente não há esforço de inovação realizado no Brasil por subsidiárias e que elas também não tinham nenhuma interação com universidades ou institutos de pesquisa no País e tinham pouco interesse em desenvolvê-los. Por fim, estas empresas também tinham pouco conhecimento sobre os programas de governo de apoio ao desenvolvimento tecnológico, ficando evidente não apenas a falta de conhecimento, mas principalmente de interesse dessas empresas transnacionais sobre os instrumentos de Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI) do governo.

Já a Impsa possui uma estratégia de inovação bastante diferenciada da descrita acima. A empresa argentina concentra grande parte de seus esforços de inovação no Brasil. Apesar de possuir um grande centro de P&D em Mendonza, na Argentina, a empresa foi aos poucos transferindo seus esforços de P&D em energia eólica para o Brasil. O mercado brasileiro é o mais importante para a empresa argentina no segmento de eólica. Assim, com apoio dos programas de CTI do governo, a empresa foi implementando linhas de pesquisa e desenvolvimento localmente.

Em 2012, a Impsa desenvolveu um novo aerogerador com base em modelos dos ventos nacionais em um projeto que foi financiado com recursos reembolsáveis da FINEP. A Impsa participou de dois projetos relacionados à Subvenção Econômica da FINEP e quatro projetos reembolsáveis relacionados a demandas espontâneas, todos relacionados ao desenvolvimento do aerogerador IWP100 e suas evoluções¹⁰. O prin-

10 Um dos projetos de Subvenção Econômica foi para a empresa ICESA, que faz parte da IMPSA.

principal projeto desenvolvido foi um banco de testes para aerogeradores que simulam as condições de operação.

Por fim, vale analisar a WEG. Conforme já ressaltado, a estratégia inicial da WEG é firmar contratos de transferência de tecnologia com empresas estrangeiras. Depois da *joint venture* estabelecida com a MTOI em 2011, a WEG firmou, em 2013, um acordo de transferência tecnológica com a companhia Northern Power Systems. Apesar de a WEG ter iniciado a produção de aerogeradores através da aquisição de licenças de modelos desenhados no exterior, a empresa declarou que pretende concentrar todos os seus esforços de P&D no desenvolvimento de um aerogerador que inclua em seu as especificidades brasileiras. Isso significa a promoção de capacitações científicas e produtivas de diversas tecnologias associadas, como a torre de concreto modular, o *design* de pás e a tecnologia do ímã permanente¹¹.

No segmento de pás, os resultados também se mostraram divergentes. A empresa LM não realizou praticamente nenhum esforço de inovação no Brasil e não conhecia os programas de CTI – os programas de Subvenção Econômica, Fundo Setorial e Lei do Bem. A empresa afirmou ter realizado significativos esforços em treinamento de pessoas, mas que os esforços de inovação ficarão centrados nos centros de P&D da empresa no mundo.

Já a Tecsis é uma empresa bastante inovadora. A principal fonte de inovação apontada pela empresa são os clientes. Segundo Bento Koike, fundador da empresa, o processo de criação de novos produtos ocorre de forma cooperativa, junto com os clientes, embora a empresa também mantenha proximidade com seus fornecedores.

Além de manter vínculo com o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), a empresa possui relações com o Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia, o Cimatec. Este centro tecnológico foi inaugurado em 2002, na Bahia, e destaca-se como um importante suporte para a formação de profissionais qualificados para atuar em processos industriais automatizados, com alcance em áreas de ponta.

A Tecsis também possui importantes relações com universidades e centros de pesquisa no exterior. A empresa abriu, em 2013, uma unidade de produção na Europa para desenvolver os moldes das pás. O *design* de pás era uma das lacunas tecnológicas da empresa e do Brasil. A localização da fábrica foi escolhida justamente pela proximidade com universidades e centros de pesquisa. Este empreendimento é de extrema importância para a empresa, pois os moldes das pás desenvolvidas nesta unidade fabril serão usados na fabricação de pás no Brasil. A empresa classificou os programas de CTI como

11 A WEG participou da Chamada 17 do programa de P&D do setor elétrico, através da parceria com a Tractebel para o desenvolvimento e a certificação do aerogerador nacional de 3,3 MW de acoplamento direto, com gerador síncrono de ímãs permanentes e conversor de potência plena. Serão destinados R\$ 74 milhões no âmbito do programa de P&D da Aneel, mas o projeto total da WEG é estimado em R\$ 160 milhões. Além disso, todos os projetos de desenvolvimento tecnológico da WEG contam com a participação de universidades. Por fim, a empresa brasileira demonstrou conhecimento sobre os demais programas de CTI e utilizou a Subvenção Econômica e o Fundo Setorial. A empresa avalia os programas de CTI como cruciais para os processos de inovação. Para maiores detalhes, ver Podcameni (2014).

interessantes, mas que “aprendeu a inovar em um momento em que o Brasil não apoiava as empresas brasileiras, não tinham estes programas (...) então a gente buscou soluções com os clientes e fornecedores” (entrevista com Bento Koike).

No segmento de torres, a empresa entrevistada informou que realiza investimentos em inovação na matriz. As inovações são geralmente no intuito de deixar a torre mais leve. A empresa não tinha conhecimento sobre nenhum programa de CTI do governo.

Assim, percebe-se que as subsidiárias de grandes ETNs concentram todo o esforço de inovação em suas matrizes e não têm interesse em trazer tais investimentos para o Brasil. As empresas tendem a adotar algumas adaptações de caráter incremental para que a operacionalização do aerogerador no Brasil seja viabilizada. As exceções são as empresas WEG, Impsa e Tectis, que possuem perspectivas de constituir uma estratégia de inovação com maiores investimentos no País.

7. Impacto da nova metodologia do BNDES nos processos de inovação

A nova metodologia de credenciamento do BNDES aparentemente não teve impacto direto nas estratégias de inovação das subsidiárias no sentido de transferir o esforço de inovação que se concentra na matriz para o País. Da mesma forma, as empresas que não estabeleciam interações com as universidades tampouco se interessam por fazê-lo. O mesmo resultado foi verificado no segmento de pás e torres.

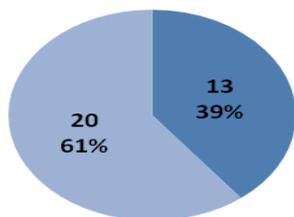
A grande mudança identificada foi no sentido de capacitar a cadeia de fornecedores. Conforme já apontado, estas empresas realizaram um significativo esforço no sentido de desenvolver a cadeia de fornecimento que era escassa no País. Mas, além deste esforço, não houve mudanças dentro das suas estratégias.

Porém, seria equivocado afirmar que a nova metodologia do BNDES não induziu processos inovadores na cadeia de equipamentos eólicos. Muito pelo contrário, significativos processos de inovação ocorreram ao longo da cadeia produtiva de subcomponentes dos aerogeradores. O processo de nacionalização de subcomponentes, previsto na metodologia, desencadeou o desenvolvimento de diversos processos produtivos novos para as firmas e novos para o País. Processos produtivos que não existiam, como a produção de painéis de conversores para energia eólica, foram desenvolvidos por causa da mudança de metodologia. Algumas empresas, que atuavam em outros setores, acabaram se capacitando para atender à cadeia eólica. A entrada de alguma firma para a cadeia de suprimentos da cadeia eólica geralmente significa um processo de capacitação tecnológica e inovação, uma vez que o setor eólico exige, muitas vezes, peças de grande dimensão e complexidade. Assim, o processo de capacitação da cadeia eólica está ocorrendo através de uma forte interação dos produtores de aerogeradores com seus fornecedores. Dessa forma, é possível afirmar que a nova metodologia do BNDES teve um forte impacto nas estratégias de produção e de inovação da cadeia produtiva eólica.

Segundo o BNDES, até janeiro de 2014, 33 novos (novas fábricas ou expansões) empreendimentos foram implementados em função da alteração da metodologia de conteúdo local. Estes investimentos referem-se exclusivamente ao desenvolvimento de componentes e subcomponentes de aerogeradores cuja nacionalização passou a ser exigida no âmbito das novas regras de credenciamento do BNDES. Conforme pode ser visto na Figura 3, destes, 13 se referem à expansão e 20 se referem a novas instalações. Além disso, os investimentos se destinam a todas as partes do aerogerador: cubo, nacela, torre e pás, e se concentraram em São Paulo e na Bahia.

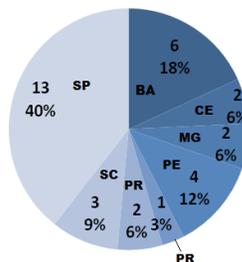
Figura 3 – Distribuição dos investimentos em novos negócios nos segmentos cuja nacionalização é exigida no âmbito das novas regras de credenciamento do BNDES.

Distribuição dos Projetos de Investimento Por Tipos de Projetos

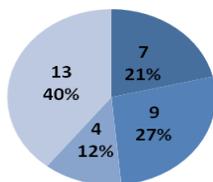


■ Expansão ■ Novas plantas

Distribuição dos Projetos de Investimento Por Estado

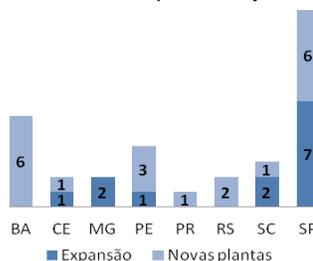


Distribuição dos Projetos de Investimento Por Partes do Aerogerador



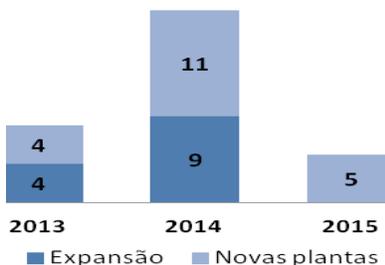
■ Cubos ■ Nacelles ■ Pás ■ Torres

Distribuição dos Projetos de Investimento Por Estados e Tipos de Projetos

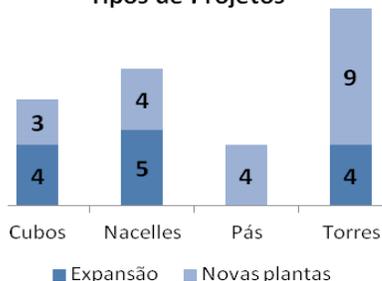


■ Expansão ■ Novas plantas

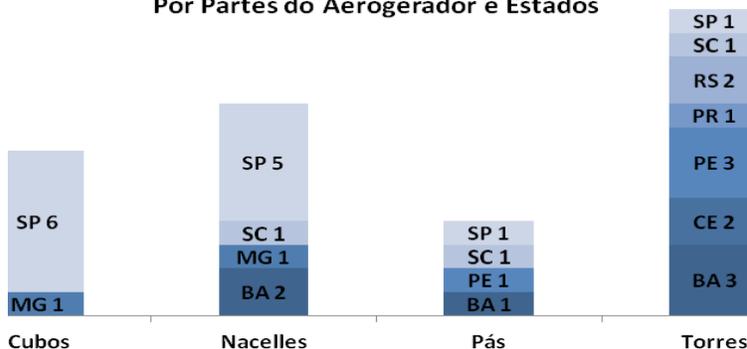
Distribuição dos Projetos de Investimento Por Ano e Tipos de Projetos



Distribuição dos Projetos de Investimento Por Partes do Aerogerador e Tipos de Projetos



Distribuição dos Projetos de Investimento Por Partes do Aerogerador e Estados



Fonte: BNDES.

8. Conclusões

O Brasil tem apostado numa estratégia de desenvolvimento da cadeia produtiva eólica baseada na atração de investimento direto externo. As políticas industriais de disponibilização de financiamentos preferenciais para empreendimentos eólicos e o índice de nacionalização atrelado a este financiamento foram essenciais na decisão das empresas transnacionais de abrirem unidades produtivas no Brasil.

Com a implantação de subsidiárias, as empresas transnacionais assumiram o papel dominante no sistema de produção dos equipamentos eólicos. As únicas que possuem um perfil diferenciado são a WEG, única OEM nacional e que está entrando recentemente no mercado, e a argentina Impsa, em função da importância do mercado brasileiro para seus negócios eólicos.

Inicialmente, as OEMs estrangeiras alcançavam o índice de conteúdo local do BNDES através da nacionalização dos componentes de menor intensidade tecnológica e da

importação dos itens de maior conteúdo tecnológico. A mudança na metodologia teve um forte impacto nas estratégias produtivas, levando a um aumento do conteúdo local das turbinas eólicas. No segmento de pás e torres não houve alterações significativas na estratégia de produção, uma vez que esses itens já eram comumente nacionalizados.

Porém, é latente que a nova metodologia de credenciamento do BNDES teve um impacto significativo nos processos de capacitação da cadeia de fornecedores, pois as OEMs foram obrigadas a realizar um significativo esforço no sentido de desenvolver a cadeia de fornecimento que era escassa no País. Mas além deste esforço, não houve mudanças estruturais dentro das estratégias das OEMs, o que leva à constatação de que a mudança de regras do BNDES não teve impacto direto nas estratégias de inovação das OEMs no sentido de transferir o esforço de inovação que se concentra na matriz para o País. O mesmo resultado foi verificado no segmento de pás e torres.

Porém, seria equivocado afirmar que a nova metodologia do BNDES não induziu processos inovadores na cadeia de equipamentos eólicos. O processo de nacionalização de subcomponentes, previsto na metodologia, desencadeou o desenvolvimento de diversos processos produtivos novos para as firmas e novos para o País.

A disponibilidade de financiamentos preferenciais do BNDES e o índice de nacionalização atrelado a este financiamento parecem ser as políticas com maiores impactos nas estratégias de produção e inovação das empresas. Apesar de ser uma política implícita, possui forte eficácia nas estratégias das empresas e possui efeitos ao longo da cadeia produtiva.

Outra importante constatação é que a origem do capital é relevante para determinar as estratégias de produção e inovação de uma empresa. As subsidiárias de empresas transnacionais, que têm os mercados norte-americano e europeu como seus principais clientes, tendem a se enraizar menos no Brasil, a não ter interação com universidades e institutos de pesquisa locais e a não desenvolver esforços inovativos localmente. Tais empresas conhecem pouco ou desconhecem totalmente os programas de CTI do governo brasileiro e não julgam relevante projetar um aerogerador específico para o Brasil. Já a empresa latina Impsa, que tem o Brasil como seu principal mercado, e a brasileira WEG, que no segmento de eólica só atua no Brasil, desenvolvem esforços de inovação no País e têm interesse de desenvolver um aerogerador desenhado para as características nacionais. Estas duas empresas conhecem os programas de CTI do governo e possuem relações com universidades.

O mesmo padrão foi encontrado no segmento de pás, onde há duas empresas brasileiras e uma estrangeira. A brasileira Tecsis possui uma estratégia convergente com a visão sistêmica de inovação: interage com clientes, fornecedores e universidades, desenha pás específicas para cada tipo de aerogerador e é extremamente inovadora. A Aeris, empresa brasileira nascente, tem interesse em desenvolver uma pá específica para ventos

brasileiros e tem interesse em desenvolver interações com grupos de pesquisa. Em contraposição às empresas brasileiras, a empresa dinamarquesa LM oferece alguns modelos globais para determinadas regiões do mundo.

Ademais, as evidências apontaram que a geração de conhecimento associada ao desenvolvimento inovativo das OEMs transnacionais está severamente concentrada nos grandes centros de P&D das firmas localizados nos países desenvolvidos e não há perspectivas de desconcentrar tais atividades. Já a Impsa e a WEG desenvolvem seus esforços inovativos no País e pretendem ampliá-los.

Os resultados encontrados nesta pesquisa reiteram os argumentos de Amsden (2007), que afirma que as atividades de alto valor agregado são mantidas na matriz e, quando internacionalizadas, concentram-se em processos de menor sofisticação. Segundo a autora, não é possível realizar P&D de fronteira através de empresas estrangeiras.

A falta de interesse das filiais das ETNs em desenvolver uma estratégia de inovação no País também converge com o argumento de Chesnais (1992; 2014) e Cassiolato (2013). Os autores apontam que o objetivo destas é se apropriar dos diferentes tipos de insumos do processo inovativo de forma a minimizar seus custos. Os autores argumentam que há uma subordinação das atividades de inovação das filiais das ETNs à estratégia central de maximização de valor de curto prazo e uma subordinação das estratégias de inovação aos ditames das finanças.

Dessa forma, sem negligenciar a importância da segurança energética nacional, este trabalho questiona o referencial de sucesso do caso eólico no Brasil, trazendo a reflexão sobre a importância da adoção de uma estratégia de expansão da estrutura produtiva e inovativa, de forma sistêmica, capaz de alinhar as diversas dimensões do desenvolvimento.

Referências

ABDI. “Relatório competitividade do setor de bens e serviços ambientais”. *Relatório de Acompanhamento Setorial*. 220 p., 2012.

ABEEOLICA, Associação Brasileira de energia eólica, boletim março de 2015.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *Technology Roadmap: Wind energy*, 2013.

AWEA. *Database, AWEA 08/2013*. Disponível em: <http://emp.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-6356e.pdf>, 2013.

BNDES. *Relatório de Política*. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/produtos/download/credenciamento_aerogeradores_metodologia.pdf, 2010e.

CAMILLO, E. V. *As políticas de inovação da indústria de energia eólica: uma análise do caso brasileiro com base no estudo de experiências internacionais*. (Tese de Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas- Unicamp, Brasil. 194 p., 2013.

DUTRA, R. (org.). *Energia Eólica: Princípios e Tecnologias*. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CEPEL, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>, 2008. Acesso em: 29 de mar de 2010.

EIA. *Policies to Promote Non-hydro Renewable Energy in the United States and Selected Countries*. Report prepared by Energy Information Administration, Office of Coal, Nuclear, Electric and Alternate Fuels United States Department of Energy, Washington, DC, February 2005. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/fuelrenewable.html>, 2005. Acessado em: 12 de dezembro de 2013.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2020*. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <http://epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>, 2011.

GWEC. Global Wind Energy Council. *China Wind Energy Outlook 2012*. Disponível em: www.gwec.net/publications/country-reports/china-wind-energy-outlook-2012/, 2012.

NOGUEIRA, L. P. P. *Estado Atual e Perspectivas Futuras para a Indústria Eólica no Brasil*. (Dissertação de Mestrado) COPPE/UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil, 2011.

PODCAMENI, Maria Gabriela V. B. *Sistema de inovação e energia eólica: a experiência brasileira*. Rio de Janeiro: Instituto de Economia. Programa de Pós-Graduação em Economia, 2014 (Tese de Doutorado).

SIMÕES, R. “Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica)”. *Seminário no Brazil Wind Power 2010*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.