

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**O ESTADO NA TRANSIÇÃO DE PARADIGMA TECNOLÓGICO:
A ENERGIA EÓLICA NA CHINA E NO BRASIL**

CAMILLA BUENTING DE ALMEIDA REGO
DRE n°: 109024329

ORIENTADOR(A): Prof^a. Dr^a. Marina Honório Szapiro

JULHO 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**O ESTADO NA TRANSIÇÃO DE PARADIGMA TECNOLÓGICO:
A ENERGIA EÓLICA NA CHINA E NO BRASIL**

CAMILLA BUENTING DE ALMEIDA REGO
DRE nº: 109024329

ORIENTADOR(A): Prof^ª. Dr^ª. Marina Honório Szapiro

JULHO 2015

As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(a) autor(a).

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer as minhas orientadoras. À Marina, por ter topado me orientar nessa jornada diversas vezes e por tê-lo feito com atenção e apoio. À Gabi, por todas as aulas durante as revisões e paixão contagiante demonstrada pelo assunto. A contribuição de vocês foi fundamental para a concepção, desenvolvimento e conclusão deste trabalho. É com muito respeito e admiração que as tenho como orientadoras, pesquisadoras e professoras.

A toda a RedeSist, minha primeira e valiosa experiência com pesquisa, por estar sempre de portas abertas.

À UFRJ, ao IE e à Secretaria, por oferecerem em conjunto uma estrutura e ambiente de estudos prazeroso, rico, diverso e estável.

Ao Viva Rio, e à querida equipe de Gestão Estratégica, por me apoiarem nesta etapa, de forma tranquila.

Ao Gaia Education, por abrir um caminho integral para o meu interesse e certeza no caminho que quero percorrer.

À amada Gê (e Lenny), pelo apoio moral, emocional, acadêmico e estrutural nessa fase extensa, e à certeza da companhia em todas as demais fases da vida.

E, *last but not least*, à minha família (Pai, Mãe, Irmão, Pati) a quem dedico esse trabalho. Por me possibilitar explorar diversas oportunidades para realizar meus sonhos, pela paciência em esperar e entender que sonhos são esses e me incentivar a buscá-los. Pelo amor, apoio e compreensão, eternos e inesgotáveis.

RESUMO

No âmbito da teoria neo-schumpeteriana, que considera a inovação um processo sistêmico e interativo, esta monografia apresenta a importância do Estado como um agente indutor da inovação e do desenvolvimento tecnológico. Isto se deve ao alto grau de incerteza que o processo inovativo possui. Em um contexto de esgotamento do atual paradigma técnico-produtivo, o Estado se faz necessário na transição dos esforços tecnológicos para um paradigma de desenvolvimento sustentável verde. Dentre as novas tecnologias, a geração de energia limpa chama a atenção, em especial a energia eólica devido a seu alto potencial no Brasil. Com a crise global de 2008, o cenário muda para o setor de energia eólica nos países em desenvolvimento, e o setor apresenta ganhos em sua dinâmica no Brasil.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO.....	7
CAPÍTULO I - REFERENCIAL TEÓRICO	9
1.1 Schumpeter e a Inovação como motor da economia	9
1.2 Do modelo linear ao modelo sistêmico.....	12
1.3 Sistemas Nacionais de Inovação.....	16
1.4 Incerteza e o Papel do Estado	19
1.5 Conclusão.....	26
CAPÍTULO II – A SUSTENTABILIDADE NA AGENDA DA INOVAÇÃO E A NECESSIDADE DE ENERGIAS LIMPAS	28
2.1 Esgotamento do atual paradigma técnico-produtivo	28
2.2 Tecnologias verdes: novo paradigma tecnológico.....	32
2.3 A importância de energias limpas no novo paradigma.....	40
2.4 Conclusão.....	43
CAPÍTULO III - SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA BRASIL E CHINA	45
3.1 Recorte: Brasil, China e Energia Eólica	45
3.2 O Sistema Nacional de Inovação de turbinas eólicas chinês	48
3.2.1 Contexto.....	48
3.2.2 Políticas Públicas	51
3.2.4 Conclusão.....	56
3.3 O Sistema Nacional de Inovação em turbinas eólicas brasileiro	57
3.3.2 Políticas Públicas	59
a) Políticas de Estruturação de Mercado.....	59
b) Políticas Industriais Específicas	61
c) Políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação	63
3.3.3 Estrutura Científica e Interações	65
3.3.4 Panorama Atual da Estrutura Produtiva.....	66
3.3.5 Conclusão.....	69
3.4 Conclusão BRASIL vs CHINA	71
CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
BIBLIOGRAFIA	76

INTRODUÇÃO

No ano de 2014, o Brasil passou por um cenário inicial de crise energética. Globalmente, o mundo atravessa também o desafio de reverter o aquecimento global. Tendo estas questões em perspectiva, parte-se da visão de que a inovação, motor do desenvolvimento econômico, tem um caráter sistêmico e interativo, envolvendo riscos e elevada incerteza, e de que, para reverter o cenário de aquecimento global, o desenvolvimento de novas tecnologias se faz necessário. Parte-se da hipótese de que, dadas as características e aspectos envolvidos em momentos de transição de paradigma tecnológico, o Estado tem um papel fundamental a desempenhar na indução do desenvolvimento tecnológico verde através de políticas públicas direcionadas a diversos setores da economia.

Neste cenário, foi escolhido como estudo de caso o setor de aerogeradores, posto que este foi o setor que mais se destacou na última década dentre as tecnologias de energia limpa, como será demonstrado. Foram escolhidos os exemplos das trajetórias da China e do Brasil para esta análise, devido a algumas semelhanças dos mercados no setor de energia eólica, como a entrada considerada tardia num mercado visto consolidado.

Este trabalho tem, portanto, o objetivo de analisar as ações do Estado brasileiro e do Estado chinês em relação ao compromisso com o desenvolvimento sustentável e a transição de paradigma tecnológico, usando como exemplo o setor de geração de energia eólica. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre sistemas nacionais de inovação, revoluções e paradigmas tecnológicos, assim como sobre os mercados de energia eólica dos estudos de caso **escolhidos**. A monografia está dividida em três capítulos além desta introdução e conclusão.

O capítulo 1 apresenta o referencial teórico a ser utilizado em todo o trabalho: a corrente neo-schumpeteriana. O ponto de partida é a análise de Joseph Schumpeter, que coloca a inovação no centro da análise econômica. O capítulo subdivide-se em quatro seções; a seção 1.1 discute a evolução do entendimento do processo inovativo, inicialmente percebido como linear. A seção 1.2 apresenta a visão sistêmica sobre a inovação e o conceito de Sistema Nacional de Inovação, resultado da evolução do entendimento do processo de inovação e de estudos empíricos sobre o processo. A seção 1.3 enfatiza o papel importante que o Estado tem no desenvolvimento

tecnológico devido às condições incertas de todo processo inovativo; e finalmente, a seção 1.4 conclui o capítulo.

O capítulo 2 apresenta a necessidade de transição de paradigma tecnológico, em busca de um caminho na sustentabilidade. Este subdivide-se em quatro seções; a seção 2.1 faz uma contextualização do esgotamento do atual paradigma tecnológico sobre o qual operamos e a urgência de perseguimos um novo paradigma e a seção 2.2 apresenta a noção de saltos tecnológicos, paradigmas e a introdução do paradigma verde de desenvolvimento sustentável. A seção 2.3 discorre sobre a importância da mudança de paradigma no setor de geração de energia para um paradigma verde e reforça a importância da atuação do Estado nesse esforço e a seção 2.4 conclui o capítulo.

O capítulo 3 busca apresentar um estudo de caso dos sistemas nacionais de inovação no setor de aerogeradores eólicos da China e do Brasil. O capítulo subdivide-se em quatro seções; a seção 3.1 explica as motivações para o recorte proposto; a seção 3.2 descreve o mercado chinês de aerogeradores, sua evolução e a atuação do Estado nacional em seu desenvolvimento. A seção 3.3 replica essa estrutura para uma análise do caso brasileiro e a seção 3.4 conclui o capítulo, comparando os esforços dos Estados para com o desenvolvimento sustentável.

Por último, a monografia é concluída por um capítulo de considerações finais, seguida pela bibliografia utilizada.

CAPÍTULO I - REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo apresentar brevemente a evolução sobre o entendimento do processo de inovação na literatura econômica. O capítulo está dividido em três partes:

A primeira parte apresenta o desenvolvimento do conceito de inovação e sua contribuição para a dinâmica da economia, elaborado por Schumpeter. A segunda e a terceira parte acompanham a evolução da compreensão do tema até a concepção e formulação do conceito de sistema nacional de inovação. A quarta parte destaca a importância do papel do Estado no processo de inovação, e é seguida por uma conclusão.

1.1 Schumpeter e a Inovação como motor da economia

Joseph Schumpeter é comumente colocado no posto de fundador da escola de pensamento econômico na qual a inovação¹ tecnológica é propulsora do desenvolvimento econômico. Lundvall (2007) identifica na produção acadêmica de Schumpeter dois momentos diferentes. A partir do livro “Teoria do Desenvolvimento Econômico”, Schumpeter identifica a inovação como o principal mecanismo por trás de toda a dinâmica da economia, e o comportamento do empresário individual como principal fonte de inovação. Lundvall nomeia essa visão como “*Schumpeter Mark I*”. A partir do livro “Capitalismo, Socialismo e Democracia”, que Lundvall (2007) identifica como “*Schumpeter Mark II*”, Schumpeter propõe as grandes companhias e seus trabalhadores de P&D em busca de novas soluções tecnológicas como principal fonte de inovação.

Schumpeter (1982) define o empresário como aquele que está sempre buscando a inovação, diferentemente dos administradores, que são “meros” imitadores. O empresário é o ator responsável por introduzir mudanças técnicas ou organizacionais da economia de forma a romper seu equilíbrio. Segundo o autor, o empresário tem como objetivo o lucro auferido de um monopólio temporário ao tomar a iniciativa de colocar no mercado descobertas científicas e invenções.

¹Inovação e invenção não são mesma coisa. Uma invenção é uma ideia, um esboço ou modelo de um novo ou melhorado produto, processo ou sistema. Invenções não levam necessariamente a inovações. Uma inovação só é considerada quando há uma transação comercial envolvendo o novo produto, sistema ou processo. Inovação também pode ser usada para descrever todo o processo. (Freeman e Soete, 2011)

Em “Teoria do Desenvolvimento Econômico”, Schumpeter conclui que a economia, na ausência da figura do empresário, se encontraria num estado estacionário, onde prevalecem as condições de equilíbrio walrasiano (MELO, 1994). Assim, as atividades e relações se processam de forma circular (SZMRECSÁNYI, 2006): Guerras, crescimento populacional e outros fatores externos podem inferir mudanças na economia, porém o ajuste é facilmente realizado e a economia voltaria ao seu equilíbrio (SCHUMPETER, 1982).

Segundo o autor, a concorrência entre empresas se dá através de melhorias ou novas produtos, processos ou formas organizacionais, e não através do preço ou outras formas não-inovadoras, como sustenta o pensamento dominante. A inovação garante à empresa lucros extraordinários, oriundos da detenção do monopólio temporário de determinada técnica nova à economia. A ideia central de Schumpeter é, portanto, que a inovação é uma fonte crucial de competição de facto, desenvolvimento econômico e transformação da sociedade. Nas palavras do autor:

“... através de novas mercadorias, novas tecnologias, novas fontes de oferta, novos tipos de organização (a grande unidade de controle em larga escala) – concorrência que comanda uma vantagem decisiva de custo ou qualidade e que atinge não a fímbria dos lucros e das produções das firmas existentes, mas suas fundações e suas próprias vidas. A eficiência desse tipo de concorrência, perto do outro, é assim como um bombardeio comparado a se forçar uma porta - e é tão mais importante que passa a ser relativamente indiferente saber se a concorrência no sentido comum funciona mais ou menos prontamente; em qualquer dos casos, a poderosa alavanca que, no longo prazo, expande a produção e reduz os preços é feita de outro material.” (SCHUMPETER, 1978, 114)

Para C. Freeman (1982), o crescimento econômico é explicado em termos de inovações técnicas e organizacionais, e a economia vive ciclos econômicos a partir da introdução de uma nova técnica ou produto no mercado. Uma vez que um empresário insere uma inovação no sistema, observa-se uma ascensão dos lucros, enquanto possivelmente o empresário goza de uma posição de monopólio temporário (FREEMAN, 2003). Num momento seguinte, de difusão da inovação, outras firmas copiam esta inovação, entrando no mercado como novos competidores e corroendo o lucro, devido ao aumento da concorrência (DOSI, 1984). Alcança-se o pico deste ciclo, e o mercado começa a declinar com a saída de firmas e entra em recessão até o início de um novo ciclo a partir de uma nova inovação.

Segundo Freeman (1982), Schumpeter vê o crescimento econômico como um processo de realocação de recursos entre as indústrias. Este processo levaria a mudanças estruturais devido a taxas desiguais de mudança técnica entre as diferentes indústrias. O crescimento não é apenas acompanhado por um crescimento acelerado de novas indústrias, mas depende desta expansão.

De acordo com o autor, Schumpeter considerava as inovações como uma série de explosões, e não como uma transformação incessante. Ou seja, inovações não possuem um caráter permanente e tendem a ser concentradas em setores chaves. O processo de difusão é igualmente desigual, pois apenas algumas firmas seguirão os pioneiros. Porém, o mercado, ao observar uma mudança da taxa de lucro durante a expansão das indústrias, altera suas expectativas, determinando o caráter cíclico do crescimento econômico.

Schumpeter define o empreendedor como uma pessoa ou um grupo de pessoas disposto a converter uma ideia ou invenção em uma inovação, produzindo um novo negócio, um novo produto, um novo processo ou mesmo um novo mercado para um produto ou processo existente. É o movimento da criação destrutiva, que substitui em partes ou por completo inovações inferiores, destruindo seus “incumbentes” e criando novos modelos de negócios. É a criação destrutiva que é responsável pelo dinamismo das indústrias e crescimento econômico de longo prazo. Esse é o caso das principais tecnologias, da máquina a vapor ao carro e à internet. Para o próprio autor, sua principal contribuição foi na verdade a teoria de ciclos de negócios. O autor introduziu a expressão “ciclos de Kondratieff”² na literatura para designar flutuações de longo-prazo no crescimento econômico em termos de revoluções tecnológicas sucessivas, num processo de destruição criativa:

“Capitalism [...] is by nature a form or method of economic change and not only never is but never can be stationary. [...] The fundamental impulse that sets and keeps the capitalist engine in motion comes from the new consumers’ goods, the new methods of production or transportation, the new markets, the new forms of industrial organization that capitalist enterprise creates. [...] The opening up of new markets, foreign or domestic, and the organizational development from the craft shop and factory to such concerns as U.S. Steel illustrate the same process of industrial mutation [...] that incessantly revolutionizes the economic structure *from within*, incessantly destroying the old one,

²Os ciclos de negócios são defendidos por Schumpeter a partir do trabalho de Nikolai Kondratieff. A cada 40-60 anos, a economia sofre um ciclo de prosperidade e recessão a partir da quebra do equilíbrio econômico devido ao aparecimento de inovações, como as ferrovias, os petroquímicos e, atualmente, a internet.

incessantly creating a new one. This process of Creative Destruction is the essential fact about capitalism. It is what capitalism consists in and what every capitalist concern has got to live in.”(SCHUMPETER,1994 [1942], 82-83)

1.2 Do modelo linear à visão sistêmica

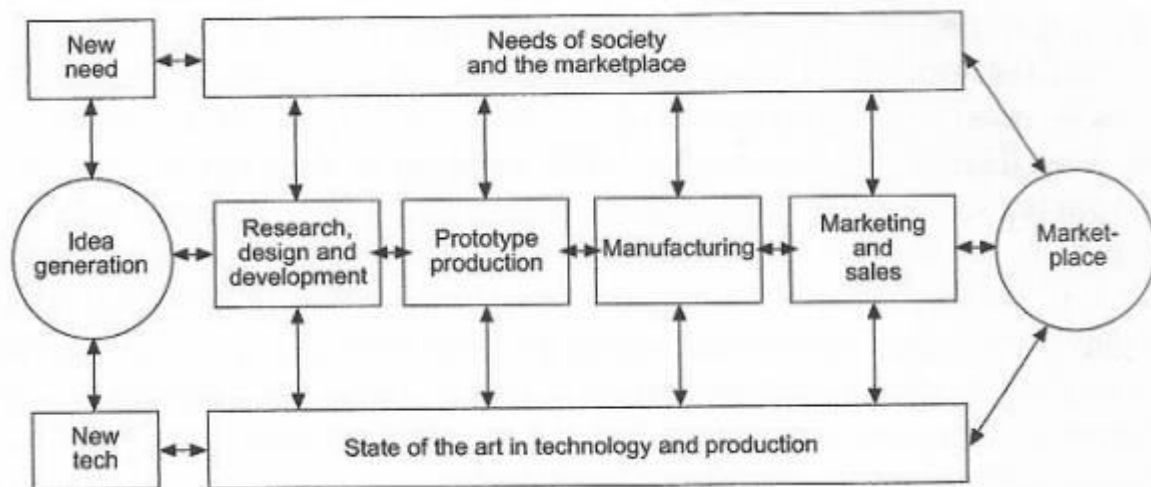
O trabalho de Rothwell (1994) busca delinear a evolução da percepção do processo de inovação. Num primeiro momento, a inovação foi percebida como um processo linear, liderado pela tecnologia. Ou seja, quanto mais investimentos fossem feitos pelas empresas em suas áreas de P&D, mais produtos seriam desenvolvidos. Essa visão é conhecida como *Science push*. Essa visão prevaleceu no período pós-guerra, abrangendo os anos 50, em que foi observado um crescente aumento nas taxas de crescimento da economia mundial, com rápida expansão industrial, assim como o surgimento de novas indústrias, como computação eletrônica, produtos sintéticos e semicondutores. Nesse contexto, a ciência e seu desenvolvimento foram vistos como mola propulsora do crescimento e a solução dos problemas. Esse ambiente favoreceu a implementação de políticas governamentais de apoio ao desenvolvimento tecnológico pelo lado da oferta, estimulando o avanço científico em universidades, laboratórios e empresas. Um bom exemplo seria os projetos de defesa nacional e aeroespacial americanos. De acordo com Cassiolato e Lastres (2005), “a inovação era vista como ocorrendo em estágios sucessivos e independentes de pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento, produção e difusão”.

Num segundo momento, nos anos 60 e 70, alguns autores, como Schmookler (1966) **propõem** que a inovação seria, na verdade, uma busca por atender as demandas do mercado: os produtos são incrementados para satisfazer as necessidades do mercado, ou seja, *demand-pull*. Observava-se na economia industrial uma produção manufatureira crescente, com níveis de crescimento altos. O emprego industrial, porém, encontrava-se com menos vigor. Paralelamente, há um aumento da concentração industrial através do crescimento das empresas e também dos processos de fusão, surgindo assim as grandes corporações. O mercado mostrava tendências de saturação e o foco do investimento apresentava um deslocamento: novos produtos e mudanças técnicas expansionistas abriram prioridade para racionalização dessas mudanças técnicas, com o objetivo de ganhar participação no mercado e reduzir custos. Para atender as necessidades da demanda, inovações de caráter incrementais e de adaptação do produto ganharam força.

Em ambos estes modelos, ditos lineares, observa-se que não há *feedback* entre as etapas descritas no processo.

Segundo Rothwell (1994), na década de 70 ocorre uma mudança na visão da inovação. A mesma deixa de ser percebida como um processo linear e começa a ser compreendida como um processo envolvendo relações de *feedback*. A década de 70 foi marcada por um aumento da inflação e estagnação da demanda. Devido a esse cenário de aumento de risco do investimento, tornou-se fundamental reduzir a incidência de malogros nos projetos de inovação. Neste período surge também um grande número de estudos empíricos sobre o processo de inovação. Neste período, o debate sobre a inovação “se polarizava entre os que atribuíam maior importância ao avanço do desenvolvimento científico como fonte de inovação (*Science push*) e os que destacavam a relevância das pressões da demanda por novas tecnologias (*demand pull*)”, segundo Cassiolato e Lastres (2005). Uma terceira geração de compreensão do processo de inovação surge, a partir do entendimento de que todas as ações envolvidas no processo inovativo estão interligadas, demonstrando que o processo envolve tanto da ideia do modelo *Science-push* e *demand-pull*, simultaneamente. O modelo se esquetematiza na figura abaixo:

Figura 1 – Modelo da 3ª geração do processo de inovação



Fonte: Rothwell (1994)

Neste sistema, há uma maior comunicação entre as etapas do processo, porém o modelo não deixa de ser sequencial e linear (ROTHWELL, 1994).

Para Kline e Rosenberg (1986), a ciência não é o elemento mais importante no processo de inovação. A maior parte das inovações surge de um conhecimento já existente na sociedade, e não na pesquisa. Os autores formularam a partir das críticas feitas ao modelo linear um novo modelo de inovação, chamado “*chain-linked model*”, que também evidencia a comunicação entre as atividades desempenhadas em cada etapa do processo inovativo.

É a partir deste momento amplia-se na academia a compreensão do conceito de inovação, principalmente em função dos resultados obtidos pelos projetos de pesquisa empírica. A inovação deixa de ser vista como “um ato isolado, e sim como um processo de aprendizado não-linear, cumulativo, específico da localidade e conformado institucionalmente”, na descrição de Cassiolato e Lastres (2005).

Cassiolato e Lastres (2005) afirmam que a teoria da inovação deslancha a partir da realização de grandes projetos de pesquisa empírica. Neste sentido, Christopher Freeman coordenou o Projeto SAPHO, na Universidade de Sussex no Reino Unido, que visava comparar inovações bem sucedidas com mal sucedidas. Neste projeto, há uma clara distinção entre “inovadores técnicos” e “inovadores de negócios” (FREEMAN, 2003). O resultado desse projeto, segundo Cassiolato e Lastres (2005), foi que as diferenças entre o sucesso e o insucesso são explicadas por algumas características. As firmas bem sucedidas em inovação tinham um fluxo de comunicação com fontes de informação científica e tecnológica externas à firma, assim como seus potenciais consumidores, e faziam uso considerável dessas fontes, mesmo tendo seu próprio departamento de P&D. Freeman e Soete (2008) destacam que “o entendimento do mercado teve de estar presente em estágios bastante iniciais” no processo de inovação de sucesso. Os insucessos foram atribuídos às falhas de comunicação, internas ou externas. Fatores como tamanho da firma, o número de cientistas e engenheiros da firma ou técnicas de planejamento não se mostraram diretamente correlacionadas com o sucesso da inovação (ROTHWELL, 1972). O resultado corrobora com o pensamento de Schumpeter, que, segundo o qual, as inovações incrementais têm uma importância extraordinária e que os usuários da inovação têm um papel fundamental no processo de melhoria (FREEMAN, 2003).

Na mesma direção, foi realizado o *Yale Innovation Survey* – YIS, que se concentrou na análise das estratégias de grandes empresas para o desenvolvimento de novos produtos e processos. O YIS chegou à conclusão que a acumulação de capacitações externas era crucial para

que as empresas pudessem interagir com o ambiente externo. Esse resultado corrobora com a conclusão do Projeto SAPPHO, em que fontes de informação externas à firma e trocas entre os agentes produtivos da mesma cadeia produtiva e universidades são relevantes para o progresso do desenvolvimento científico e tecnológico da economia. Os resultados mostraram, também, que a frequência e a intensidade das relações de cooperação dependem significativamente de políticas públicas direta ou indiretamente voltadas para o desenvolvimento científico e tecnológico (KLEVORICK *et al.*, 1995).

A capacidade de inovação de uma instituição é influenciada por inúmeros fatores. Primeiramente, identifica-se as competências específicas desenvolvidas ao longo do processo de aprendizagem da empresa. Esse processo é caracterizado também como um processo interativo e de caráter cumulativo, que permite a incorporação de novos conhecimentos³ (LUNDVALL, 1992). Mesmo sendo capazes de inovar, há outros fatores, além da esfera de controle da empresa, que influenciam a decisão de realizar esforços em inovação quanto na possibilidade da inovação ser bem sucedida. Entre os fatores que influenciam o sucesso de um processo inovativo, deve-se levar em conta, além das competências desenvolvidas pela instituição, as oportunidades tecnológicas de cada setor, os incentivos econômicos que induzem à exploração de tais oportunidades, condições de apropriabilidade da inovação e condições de mercado. Por apropriabilidade da inovação entende-se um conjunto de propriedades do conhecimento tecnológico, dos mercados e do contexto institucionais que protegem os resultados contra a imitação por parte dos competidores. A apropriação privada dos benefícios da inovação é o incentivo fundamental para atividade inovadora (DOSI *et al.*, 1988).

Com o desenvolvimento dos projetos mencionados acima, fica cada vez mais claro o papel das formações de redes no processo de inovação. O padrão típico de inovação se afasta da ideia de existência ou predomínio de inventor/empresário ou departamento de P&D industrial e dá lugar a um padrão de sistemas de inovação colaborativos no século XXI (FREEMAN & SOETE, 2008).

³O conhecimento não é, contudo, um bem puramente público. Pesquisas em sistemas de inovação demonstraram que importantes componentes do conhecimento são tácitos e difíceis de entender fora de um contexto (NELSON & WINTER, 1982).

1.3 Sistemas Nacionais de Inovação

Para Freeman (1995), Sistemas Nacionais de Inovação são “a rede de instituições no setor público e privado cujas atividades e interações iniciam, importam, modificam e difundem novas tecnologias”. Lundvall (1992) define os sistemas como “os elementos e relações que interagem na produção, difusão e uso de conhecimentos novos e economicamente úteis”, mas este conceito pode vir a ultrapassar as fronteiras de uma Nação-Estado. Cassiolato e Lastres (2005) destacam que o desenvolvimento do Sistema Nacional de inovação não depende apenas “do desempenho das empresas e organizações de pesquisa, mas também de como elas interagem entre si e com vários outros atores” e instituições, inclusive as políticas.

De forma geral, os estudos empíricos mencionados na seção anterior evidenciaram a importância de redes formais e informais no apoio ao processo de inovação, e resultaram na concepção do conceito de Sistema Nacional de Inovação. Freeman (1995) reconhece que Lundvall foi primeiro autor a usar a expressão Sistema Nacional de Inovação, mas o conceito ganhou ampla difusão a partir dos anos 2000 (LUNDVALL, 2007).

Porém, Freeman (1995) defende que a ideia de Sistema Nacional de Inovação já havia sido identificada por Friedrich List nos em suas obras do século XIX ao reconhecer a interdependência de investimentos tangíveis e intangíveis e a importância da ligação entre a indústria e instituições formais de ciência e educação: o autor defendia que a produção deveria estar vinculada a essas instituições. List também já analisava a interdependência entre importação de tecnologia e o desenvolvimento técnico doméstico, assim como o papel do Estado em coordenar políticas de longo prazo para a indústria e a economia. O autor defendia a proteção às indústrias nacionais incipientes assim como políticas de aprendizagem e aplicação de novas tecnologias. Suas observações se baseavam no Estado prussiano, que promoveu e coordenou com sucesso a transferência de tecnologia industrial, não só através da importação de máquinas mas também artesãos e seus conhecimentos tácitos, e superou a Grã-Bretanha em tecnologia. Na análise de List estão ausentes apenas elementos modernos, como departamentos industriais de P&D e corporações multinacionais.

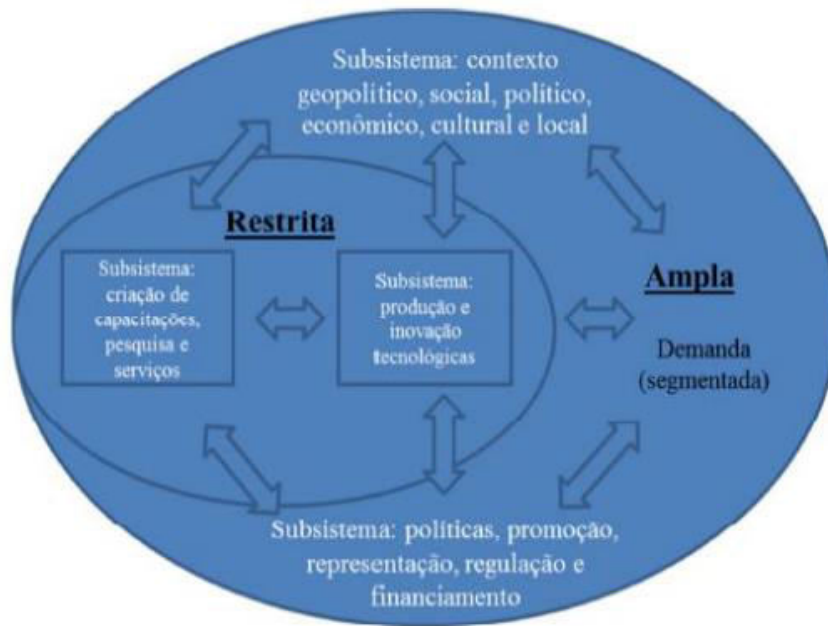
Em sua pesquisa, Freeman e Soete (2008), enfatizam que a inovação - e o processo inovativo - assim como sua difusão e os ganhos de produtividade associados vão além das

atividades de formais P&D. Historicamente, as ações em P&D tiveram prestígio devido ao boom dos setores de tecnologia no pós-segunda Guerra Mundial, assim como é um setor em que é fácil mensurar quantitativamente a atividade. Assim, criou-se uma visão míope de que correlação linear positiva e direta entre investimento em ciência, P&D e inovações. É na verdade uma relação causal cheia de *loops de feedback* entre mercados, tecnologia, aplicações e ciência, onde a educação, o treinamento, design e controle de qualidade têm tanta importância quanto investimento em P&D formal para fomentar o crescimento econômico em uma economia (MAZZUCATO, 2011).

Em sistemas de inovação (setoriais, regionais ou nacionais), para que um novo conhecimento e uma inovação possam se difundir por toda a economia, gerando assim crescimento, é necessária a presença de elos dinâmicos entre os diferentes atores (NELSON & WINTER, 1982) e elos horizontais dentro das organizações e instituições (LUNDVALL, 1992; FREEMAN, 1995). Por atores entende-se: empresas privadas e públicas, instituições financeiras, instituições de pesquisa, recursos do setor público e instituições intermediárias, entre outros. A inovação é vista como um processo não linear, cumulativo, territorialmente específico e conformado institucionalmente. Isso dá abertura para que cada país ou mesmo território tenha seu próprio sistema de inovação, definido por um arcabouço institucional próprio e um sistema produtivo específico (CASSIOLATO et al., 2015).

Lundvall (2007) esquematiza o padrão de inovação de uma economia dividindo o SNI em dois grupos: o coração do sistema, *core*, e um conjunto mais amplo de instrumentos, os *widder settings*. O *core* é o grupo que envolve firmas capazes de desenvolver, absorver ou usar uma nova tecnologia e a infraestrutura de conhecimento. O conjunto mais amplo engloba as diversas instituições que exercem influência sobre o desenvolvimento tecnológico de um país, como o sistema educacional, o mercado de trabalho, a estabilidade macroeconômica, acesso ao crédito e políticas públicas orientadas para a inovação. Cassiolato e Lastres ilustram essa ideia na figura abaixo, diferenciando o sistema inovação restrita do sistema de inovação ampla:

Figura 2– Versão Restrita e Ampla do Sistema Nacional de Inovação



Fonte: Cassiolato e Lastres (2005)

Conforme a figura acima, a visão restrita de um SNI, atribuída a Nelson (1993), envolve apenas as instituições que afetam diretamente as estratégias e as capacitações inovativas. Freeman (1987) e Lundvall (1992) desenvolvem a noção de SNI a partir da visão ampla, que inclui outras instituições que afetam direta ou indiretamente o processo de inovação.

A inovação - ou o processo inovativo - possui, portanto, um caráter sistêmico e interativo, caracterizado pela cooperação. Todos os atores possuem conexão e estabelecem uma comunicação a fim de aprimorar o processo de inovação, segundo Rothwell (1994). Esta rede é composta por clientes, subcontratados, infra-estrutura, fornecedores; competências, funções e relações (FREEMAN, 1992). Lundvall argumenta que a interação entre os agentes envolvidos no processo inovativo é uma parte importante do SNI, e é através dessas interações que se cria um ambiente propício à inovação.

Ou seja, a quantidade e o estoque de pesquisa e desenvolvimento (P&D) não é o suficiente para levar ao crescimento econômico. A forma pela qual P&D está distribuído na economia, como as diferentes partes interagem em um sistema econômico e a circulação de conhecimento e sua difusão são fundamentais para a inovação. A distribuição e circulação de

conhecimento é justamente um reflexo da atuação e influência do Estado. A unidade de análise é a rede, e não a empresa (MAZZUCATO, 2011).

1.4 Incerteza e o Papel do Estado

Uma análise histórica do desenvolvimento das inovações mostra que o papel do Estado nas economias mais bem-sucedidas foi muito além da criação da infraestrutura e do estabelecimento de regras de concorrência. O investimento governamental em grande escala e de longo prazo foi fundamental no desenvolvimento de quase todas as tecnologias de propósito geral⁴ dos últimos 100 anos (RUTAN *apud* MAZZUCATO, 2011). De acordo com Mazzucato (2011), 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, ao participar de etapas de desenvolvimento que incorporam maior grau de incerteza, como o caso da Internet.

Freeman e Soete (2008) descrevem a inovação como uma atividade associada a variados graus de incerteza, de três tipos de natureza: técnica, do mercado e dos negócios. As incertezas técnicas e de mercado, de acordo com Rapini (2010) são específicas ao projeto, enquanto a incerteza dos negócios é comum a todos os investimentos. Devido a essas incertezas, inovações de produto radicais oferecem este grande desincentivo a empresários. Rapini (2010) também associa dois tipos de risco às atividades de inovação: o risco econômico e o risco financeiro.

Dosi (1999) caracteriza o processo inovativo com elevado grau de incerteza e irreversibilidade. A incerteza se deve à impossibilidade de prever *ex ante* o resultado do esforço de inovação, assim como seus desdobramentos. Já a irreversibilidade significa que uma vez tomadas decisões de investimento em atividades inovativas, o retorno ao estágio anterior apresenta custos elevados para a firma. Um exemplo disto são gastos em P&D, conhecidos como *sunk costs*, ou custos irrecuperáveis.

Na definição de Schumpeter, vista na primeira seção deste capítulo, o empreendedor é definido como uma pessoa ou um grupo de pessoas disposto a converter uma ideia ou invenção em uma inovação, produzindo um novo negócio, um novo produto, um novo processo ou mesmo

⁴Tecnologias de propósito geral, ou *General Purpose Technologies*: estas se “espalham” para diversos setores da economia; são melhoradas ao longo do tempo, diminuindo continuamente o custo para seus usuários; e facilitam a invenção de novos produtos e processos.

um novo mercado para um produto ou processo existente. Já Frank Knight (1921) define que empreender é, na verdade, tomar riscos. O comportamento do empreendedor é o de uma pessoa disposta a por sua carreira e segurança financeira em jogo e tomar riscos em nome de uma ideia, gastando tempo e capital. O empreendedorismo é não só arriscado, como também altamente incerto, como as mudanças tecnológicas. Segundo o autor, a diferença entre incerteza e risco pode ser vista da seguinte forma:

“The practical difference between the two categories, risk and uncertainty, is that in the former the distribution of the outcome in a group of instances is known... While in the case of uncertainty that is not true, the reason being in general that it is impossible to form a group of instances, because the situation dealt with is in a high degree unique.”(KNIGHT, 1921, 12)

As inovações podem ser classificadas em três tipos, de acordo com Smith (2009): as incrementais, que são melhorias e difusão de tecnologias já estabelecidas; as disruptivas, que envolvem tecnologias com potencial tecnológico ainda não explorado; e as radicais, que provocam grandes mudanças no mundo e envolvem tecnologias relativamente imaturas. Esses diferentes tipos de inovação têm associados a si diferentes níveis de risco e incerteza. Freeman e Soete (2008) apresentam essa classificação de incerteza associada a diferentes tipos de inovação:

Quadro 1 – Graus de incerteza associados a vários tipos de inovação:

Graus de incerteza associados a vários tipos de inovação	
Incertezas verdadeiras	Pesquisa fundamental
	Inventos fundamentais
Níveis muito altos de incerteza	Inovações radicais de produtos
	Inovações radicais de processos realizadas fora da firma
Altos níveis de incerteza	Importantes inovações de produtos
	Inovações radicais de processos obtidas no próprio estabelecimento ou

	contexto da firma
Incertezas moderadas	Novas “gerações” de produtos já existentes
Pouca incerteza	Inovações licenciadas
	Imitação de inovações de produtos
	Modificação de produtos e processos
	Adoção antecipada de processos já existentes
Muito pouca incerteza	Novos “modelos”
	Diferenciação de produtos
	Providências para inovação de produtos já existentes
	Adoção tardia de inovações de processo já existentes e de operações franqueadas no próprio estabelecimento
	Melhorias técnicas menores

Fonte: Freeman e Soete, 2008

Todo o processo de mudanças tecnológicas é definido por uma situação única, pois não apenas investimentos em P&D levam anos para se tornarem produtos para o mercado, como também a maioria falha. A inovação não se baseia em sorte para dar certo, mas em estratégias de longo prazo e investimentos direcionados (MAZZUCATO, 2011). Contudo, os retornos de investimentos em inovações, em especial as radicais, são altamente incertos e não tem um “prazo”, e portanto, não se demonstram atrativos para a lógica do mercado de capitais, de interesses de curto prazo e retornos maximizados. Assim, o mercado de capitais se afasta desse tipo de investimento, mesmo nos níveis mais baixos de incerteza do quadro acima. O caráter de alto risco do processo inovativo é justamente uma das principais razões que empresas maximizadoras de lucro vão investir menos em pesquisa básica e mais em pesquisa aplicada: a pesquisa aplicada tem chances maiores de retornos mais rápidos e mais gordos (MAZZUCATO,

2011). Justamente devido à incerteza e ao risco do processo inovativo que o Estado se mostra fundamental no fomento ao processo inovativo. O Estado é capaz de mobilizar grandes recursos, atuar em longo prazo e assumir riscos maiores, dado que seu objetivo não é um retorno rápido, e sim o desenvolvimento econômico.

O papel do Estado na economia é debatido extensivamente por diversos autores. A noção da “mão invisível” de Adam Smith sugere que mercados capitalistas são auto regulados por mecanismos de preço, oferta e demanda e que o papel do Estado se limita a criar uma infraestrutura básica como escolas, hospitais e estradas, e garantir a proteção da propriedade privada e confiança, para que as empresas possam prosperar (SMITH, 1776). No processo inovativo, o papel do Estado se limita a oferecer condições para que o setor privado inove. Já Keynes identificou uma instabilidade inerente ao capitalismo, posto que o investimento privado é extremamente volátil. O Estado Keynesiano tem papel regulador, trazendo estabilidade e prevenindo crises. O papel do Estado, contudo, segue restrito à infraestrutura para permitir que as empresas privadas floresçam e tornem a economia mais competitiva, inovadora e empreendedora. Identifica-se um pressuposto de que empresas privadas são inerentemente mais produtivas e inovadoras do que iniciativas públicas (MAZZUCATO, 2011).

Na abordagem de Sistemas Nacionais de Inovação observa-se um processo constante de diferenciação entre firmas baseado em suas diferentes habilidades para inovar de acordo com suas diferentes rotinas internas e competências, que levam ao crescimento econômico. Nesse sentido, Mazzucato (2011) descreve:

”Competition in this perspective is about the co-evolution of those processes that create constant differences between firms and the processes of competitive selection that winnow in on those differences, allowing only some firms to survive and grow.”(MAZZUCATO, 2013, 35)

A partir desta perspectiva, é possível quebrar alguns mitos sobre inovação e crescimento econômico. O primeiro deles é que não há uma relação causal direta entre investimentos em P&D e inovação e entre inovação e crescimento econômico. Por exemplo, há indústrias em que a inovação não ocorre necessariamente através de esforços de P&D, como os serviços financeiros por exemplo. Mazzucato (2011) resume que há diversos estudos sobre essas correlações, contudo enquanto alguns mostram um impacto positivo da inovação no crescimento de uma empresa,

outros mostraram um impacto negativo entre investimentos em P&D e crescimento. Portanto, é necessário que as empresas possuam as condições específicas que permitam que gastos em inovação afetem positivamente o crescimento da empresa. Ou seja, não há “evidências empíricas micro” que suportem os modelos macro de inovação e crescimento.

Historicamente, o governo tem um papel de liderança no financiamento de tecnologias em estágio de pesquisa. Mazzucato (2011) defende que o financiamento público vai além, sendo também importante até o estágio de viabilidade comercial, pois muitas vezes o capital de risco se concentra em áreas de alto potencial de crescimento, baixa complexidade tecnológica e baixo investimento de capital⁵. O capital de risco privado também opera sob uma lógica de curto prazo. Os fundos tendem a ser estruturados para ter uma vida de em torno de 10 anos, se concentrando então em investimentos de rápido retorno. Cria-se uma situação em que os fundos são tendenciosos se investirem em projetos com viabilidade comercial num horizonte de até cinco anos. Isso exclui do interesse do capital de risco investimentos em pesquisa básica, onde a aplicabilidade ou o objetivo ainda não está claro. O capital de risco público se dispõe a investir em áreas com risco muito mais elevado e trabalha com horizontes de tempo de retorno mais longos.

Mazzucato (2011) analisa a importância do papel do estado em fazer avançar as fronteiras tecnológicas através do investimento em pesquisa básica. Como discutido anteriormente, a pesquisa básica apresenta alta incerteza e risco, que afasta o capital privado. Sob a lógica de falha de mercado, no estágio de pesquisa básica não há investimento privado suficiente produzido pelo mercado, e, portanto, o governo deve intervir. Já sob a lógica de sistemas de inovação, a intervenção estatal pode ir além: a pesquisa em P&D pode ser orientada a um objetivo, como um programa governamental, como a NASA nos EUA. Sistemas de inovação são capazes de compreender as dinâmicas específicas de cada setor e país, assim como cada missão é definida por incentivos, estruturas e instituições específicas (MOWERY *apud* MAZZUCATO, 2011).

Nos países desenvolvidos, o Estado tem se mostrado presente no financiamento não apenas das pesquisas mais arriscadas, como também no financiamento das inovações mais

⁵ Mazzucato (2011) analisa que o capital de risco não é tão propenso a risco quanto se pensa. O capital de risco se concentra em investimentos de retorno de relativo curto prazo e relativa certeza dada sua busca de maximização de lucros. Este não é o caso do processo de inovação.

radicais e pioneiras. Deve-se levar em conta que nem todas as inovações levam a um crescimento econômico generalizado. Isto ocorre apenas no caso de produtos e processos que tem um impacto em uma ampla variedade de setores da economia, como as tecnologias de propósito geral. A importância da presença do Estado não se limita, portanto, a investir em pesquisa básica, mas em criar visões de oportunidade de mercado para novas tecnologias e em investir em todas as demais pesquisas consideradas arriscadas e incertas pelo setor privado (MAZZUCATO, 2011). A pesquisa básica é fundamental para ocorrerem inovações, mas está longe de ser suficiente.

Em um Sistema Nacional de Inovação, o papel de Estado não está apenas, portanto, em criar conhecimento (através de pesquisa básica em laboratórios nacionais e universidades), ou em mobilizar recursos e permitir conhecimento e inovações se difundirem entre setores e na economia, seja através de redes já existentes ou facilitando o aparecimento de novas redes. Mesmo assim, a existência de um sistema nacional de inovação rico em redes horizontais e verticais não é suficiente para garantir a inovação e o crescimento econômico. Segundo Mazzucato (2011, 2013), o Estado também tem a capacidade de liderar o processo de desenvolvimento industrial, como no caso de países subdesenvolvidos que buscam o desenvolvimento econômico, desenvolvendo estratégias de avanço tecnológico em áreas consideradas prioritárias, e ter uma atitude empreendedora, tomadora de risco e criadora de mercado (Mazzucato, 2011).

O Estado pode ser muito mais proativo em estimular inovações nas áreas da vanguarda do conhecimento. Como a tecnologia não está disponível em nenhuma parte do mundo, um estado empreendedor não sabe os detalhes da inovação, mas tem conhecimento sobre uma área madura a ser desenvolvida, em que alcançar novos limites de conhecimento é desejável. Esse Estado empreendedor está além do Estado Keynesiano e do Estado Schumpeteriano no Sistema Nacional de Inovação. O Estado tem um papel de liderança proativa em modelar um novo mercado para incitar a inovação, formulando visões de um novo setor, investindo nos setores mais iniciais de pesquisa e desenvolvimento, identificando e apoiando novos caminhos e novas políticas para promover investimentos, assim como criando e financiando redes que unam empresas, acadêmicos e financiadores.

O Estado tem um papel inegável nas inovações radicais e pioneiras, que demandam a criação de mercados (MAZZUCATO, 2011). São inovações radicais que, tendo um impacto

sobre uma grande variedade de setores da economia, tem o poder de levar a um amplo crescimento econômico.

1.5 Conclusão

Este capítulo buscou apresentar como a inovação passou a ser um tema central na teoria econômica a partir de Joseph Schumpeter. Na teoria econômica evolucionária, abandonam-se as premissas neoclássicas de racionalidade maximizadora, de tendência de equilíbrio único dos mercados e de que o mecanismo de preço é o principal instrumento da concorrência entre firmas. A inovação é um determinante fundamental do crescimento e desenvolvimento de um sistema econômico, e a empresa privada, em busca do lucro, são propulsoras da inovação.

As primeiras interpretações desenvolvidas colocavam o processo inovativo como linear, com início no desenvolvimento científico e nos departamentos formais de P&D. À medida que as pesquisas empíricas sobre o processo inovativo avançaram, a inovação passa a ser percebida como um processo sistêmico e interativo, influenciado por diversos fatores além da P&D e da infraestrutura tecnológica. Essa visão sistêmica desenvolve-se a partir da concepção dos Sistemas Nacionais de Inovação, uma rede de interação entre diversos atores que permeia o processo de inovação.

Devido à incerteza presente em todo o processo inovativo, o Estado assume um papel chave. O Estado é capaz de promover e mesmo em guiar a inovação através de políticas públicas, de financiamento de atividades com alto grau de risco e incerteza. Além disso, o Estado é capaz de mobilizar sistemas essenciais para um Sistema Nacional de Inovação sólido, como o mercado de trabalho, o sistema educacional e condições macroeconômicas estáveis, essenciais para o crescimento da economia.

CAPÍTULO II – A SUSTENTABILIDADE NA AGENDA DA INOVAÇÃO E A NECESSIDADE DE ENERGIAS LIMPAS

O objetivo deste capítulo é expor um possível caminho para os novos esforços tecnológicos, o das tecnologias verdes.

Este capítulo está organizado da seguinte forma: a primeira seção, introdutória, descreve a crise ambiental e climática na qual vivemos atualmente e suas consequências. A segunda seção desenvolve como e porque o conceito de sustentabilidade entrou na agenda dos esforços inovativos, assim como as dificuldades encontradas. A terceira seção avança sobre importância do desenvolvimento do setor de energias limpas para o alcance do novo paradigma almejado. O capítulo é encerrado por uma conclusão.

2.1 Esgotamento do atual paradigma técnico-produtivo

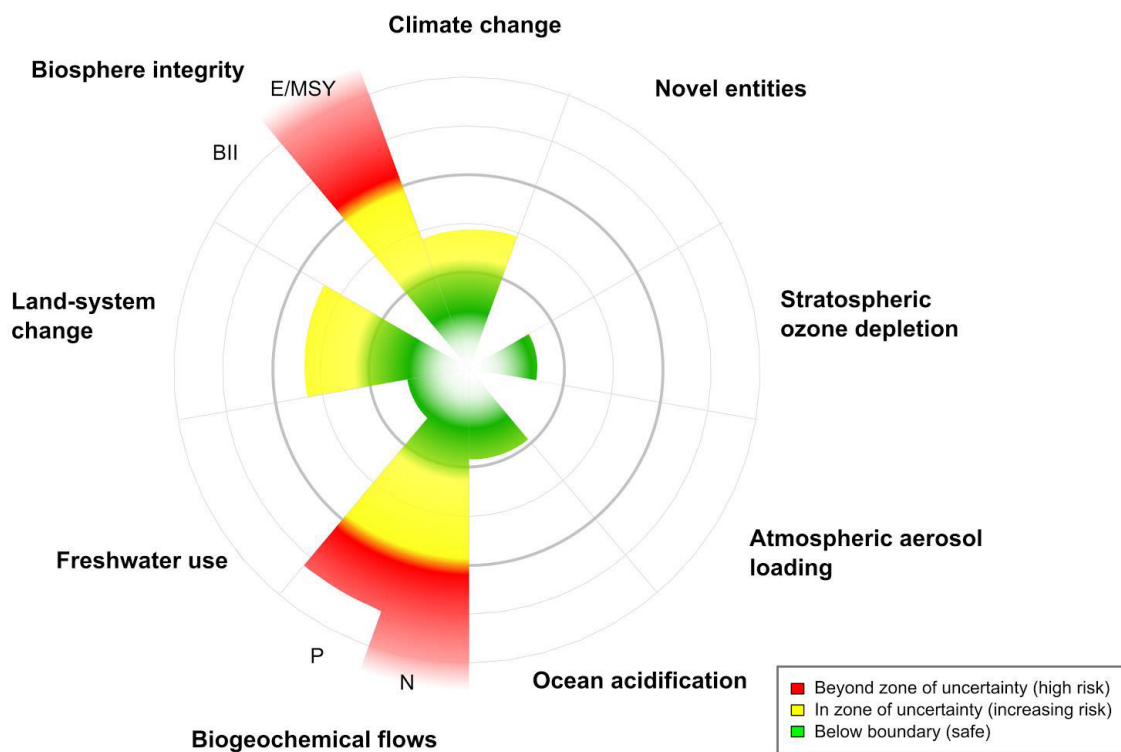
O meio ambiente entrou em pauta nos debates de desenvolvimento econômico nos anos 1960, quando movimentos político-sociais passaram a questionar o atual modelo de desenvolvimento pautado em degradação ambiental e ampliação da pobreza⁶. Com a crise do petróleo e o relatório “Limites do Crescimento Econômico”, nos anos 1970, ampliaram-se as discussões sobre o papel da tecnologia no cenário de industrialização e degradação ambiental. O principal argumento era de que os efeitos desastrosos ao meio ambiente eram produtos de atividades industriais que não internalizavam os custos ambientais, como poluição atmosférica, hídrica, resíduos sólidos, desmatamento etc. (TAHIM, 2007). Apenas em 1992, com a conferência Eco92, Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a discussão tomou um corpo mais prático e institucional, encaminhando-se para um modelo de desenvolvimento que procura harmonizar crescimento econômico, identidade sociocultural e a questão ambiental. Foi definido que o desenvolvimento sustentável é “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a necessidade das gerações futuras”.

A percepção da atividade econômica humana como causadora do aumento da temperatura global recente vem sendo cada vez mais aceita pelos pesquisadores. O aquecimento global é,

⁶ Questionamentos em relação à desigualdade social, exaustão dos recursos naturais e degradação ambiental já haviam sido levantados de forma isolada anteriormente, como Jevons em 1865 sobre a exaustão das minas de carvão, porém pode-se marcar que esses questionamentos começaram a ser organizados e debatidos em maior esfera a partir dos anos 1960 (LUSTOSA, 2002).

contudo, apenas um dos problemas ambientais com o qual estamos lidando. Desde a publicação Limites para o Crescimento Econômico (MEADOWS *et al.*, 1972), ficou evidente as consequências ambientais da atividade humana. O desenvolvimento sustentável é, além da definição acima, conseguir manter o impacto humano dentro dos limites da capacidade do planeta. As categorias de limites foram definidas na Conferência das Nações Unidas sobre mudanças climáticas de 2009. Esses nove limites definem um “espaço” de atividade humana seguro. A transgressão desses limites pode vir a causar danos ambientais irreversíveis. Abaixo, podemos observar uma imagem elaborada pelo Stockholm Resilience Center que esquematiza os limites planetários e as transgressões induzidas pela atividade humana:

Figura 4 – Limites Planetários



Fonte: Stockholm Resilience Center, 2015

Um fator que deve ser levado em consideração é a natureza interdependente destes problemas. Rockstrom *et al.* (2009) explica: “*because many of the boundaries are linked, exceeding one will have implications for others in ways that we do not as yet completely*

understand”. Ou seja, a atuação individual sobre cada um desses problemas pode vir às custas da transgressão de outros limites planetários sem o nosso conhecimento. Há inúmeros *trade-offs* e consequências não-intencionais que ainda não temos conhecimento.

O desenvolvimento sustentável envolve permitir a atividade humana dentro dos limites planetários. Atuar apenas sobre as mudanças climáticas induzidas pela atividade humana não é suficiente para alcançar o desenvolvimento sustentável, porém é uma das ações mais urgentes. O objetivo é manter o aquecimento global em até 2°C: num cenário sem esforços para contenção de emissão de gases de efeito estufa e aceleração da produção industrial nos ritmos atuais, o aumento de temperatura seria no grau de 3,6°C a 5,3°C até 2100 (LEMA *et al.*, 2014). As implicações de um aumento global da temperatura média são inúmeras: perda de terra produtiva, desertificação, aumento dos níveis dos mares, derretimento da calota polar, perda de biodiversidade, deslocamentos massivos de pessoas, entre outros (MAZZUCATO, 2011).

Esses dados apontam a necessidade de reavaliarmos o atual paradigma produtivo, baseado a extração intensiva de recursos não renováveis, e a necessidade de se buscar um novo paradigma que permita a vida na Terra sem comprometê-la. A preocupação por parte da população com a sustentabilidade social e ambiental está abrindo portas para revoluções tecnológicas que venham a sanar esses novos valores com um novo paradigma produtivo. (MAHARAJH, 2015).

O conceito de desenvolvimento com baixas emissões de carbono une, propositalmente, dois conceitos: mitigação das mudanças climáticas e o desenvolvimento de países de média e baixa renda. Esse conceito envolve, portanto, as dimensões sociais e políticas da sustentabilidade. O desenvolvimento com baixas emissões de carbono funciona como um mecanismo de foco, direcionando a atenção para uma das mais urgentes ameaças ambientais. Lema *et al.* (2014) definem o desenvolvimento com baixas emissões de carbono como uma mudança estrutural que simultaneamente melhora as condições de vida de países pobres e mitiga as mudanças climáticas, sem efeitos adversos sobre os demais limites do planeta. Isto não deve substituir o conceito de desenvolvimento sustentável.

O meio ambiente se transformou em um problema central para os próximos anos, e o impacto da atividade do homem no planeta terra vem se tornando objeto de crescente preocupação em diversos segmentos da sociedade. O padrão tecnológico vigente é intensivo no

uso de matéria-prima e energia, e o uso intensivo de recursos naturais resulta em significativos impactos ambientais. Esses impactos são de dimensões locais (enchentes), regionais (chuva ácida, desertificação) e globais (aquecimento global). As mudanças tendem a ser cumulativas, e, na maioria das vezes, irreversíveis.

Para refrear de forma eficiente as mudanças climáticas, esforços de desenvolvimento com baixa emissão de carbono devem ser implementados de forma global, tanto nos países desenvolvidos quanto os países em desenvolvimento. Na reestruturação de um sistema de produção e consumo socio-economicamente sustentável, é necessária a introdução de diversos tipos de inovações institucionais e técnicas. Nesse contexto, as tecnologias tornaram-se elemento chave para reverter o processo de degradação ambiental.

2.2 Tecnologias verdes: novo paradigma tecnológico

Dosi (1984) define tecnologia como um “conjunto de conhecimento, tanto diretamente práticos (relacionados com problemas e dispositivos concretos) quanto teóricos (aplicáveis à prática, mas que não necessariamente já são aplicados), know-how, métodos, procedimentos e experiência de sucesso ou fracassos e também, naturalmente, dispositivos e equipamentos físicos... [que] corporificam os avanços no desenvolvimento de uma tecnologia de uma determinada atividade de solução de problemas”. Segundo o autor, o paradigma tecnológico é caracterizado por esse conjunto relevante de conhecimentos relevantes: um modelo ou padrão de soluções de determinados problemas tecnológicos.

O autor analisa saltos tecnológicos afirmando que avanços tecnológicos ao longo de uma trajetória tecnológica, dentro de um mesmo paradigma tecnológico, são influenciados por impulsos originados no mercado, como alterações de demanda ou variações na lucratividade. Os futuros benefícios e riscos de uma tecnologia em desenvolvimento não podem ser previstos devido às incertezas que caracterizam qualquer mudança técnica (FREEMAN & SOETE, 2008). Já mudanças que buscam novas direções tecnológicas estão associadas a novas oportunidades, em função do desenvolvimento científico ou à crescente dificuldade tecnológica e/ou em prosseguir determinada direção tecnológica (SICSÚ & ROSENTHAL, 2001). Assim, um paradigma tecnológico dominante e o ambiente seletivo estabelecem o ritmo e a direção do progresso

técnico, que pode culminar em uma mudança lenta e gradual para um novo paradigma (LUSTOSA, 2002).

Revoluções tecnológicas abrem espaços para inovações e fornecem um novo conjunto de tecnologias, infraestrutura e princípios organizacionais associados. Esses saltos tecnológicos surgem da exaustão de possibilidades ao longo de determinada trajetória tecnológica, com produtividade e mercados próximos da exaustão (PEREZ, 2009), como indicado na seção anterior.

Perez (2009) define uma revolução tecnológica como um conjunto de inovações radicais, que juntas formam uma constelação de tecnologias interdependentes, “um cluster de clusters” (PEREZ, 2009, p. 7). Uma revolução tecnológica se difere de um conjunto aleatório de inovações pelas seguintes características: em primeiro lugar, uma forte interconectividade e interdependência dos sistemas participantes em suas tecnologias e mercados; em segundo a capacidade de transformar profundamente outras indústrias, e eventualmente, a sociedade. As novas indústrias criadas pela revolução se expandem a ponto de se tornarem um novo mecanismo de crescimento econômico, enquanto o paradigma tecno-econômico conduz uma reorganização e um aumento de produtividade na economia. Perez (2009) simplifica uma revolução tecnológica como uma importante revolta no potencial de criação de riqueza da economia, abrindo espaço para oportunidades de inovação e que estabelece um novo conjunto de tecnologias, infraestruturas e princípios organizacionais associados.

O processo de difusão de uma revolução tecnológica, capaz de trazer transformações para outras indústrias, tem seu impacto ampliado para as estruturas socioinstitucionais através da evolução do seu paradigma tecno-econômico associado (PEREZ, 2009). Os paradigmas técnico-econômicos moldam as trajetórias de tecnologias individuais, envolvendo não apenas a esfera de produção como também as instituições e a sociedade. A construção de um paradigma tecnológico se dá através de três pilares, simultaneamente (PEREZ, 2009). Em primeiro lugar, na estrutura de custos relativos. Novos elementos que diminuem o custo surgem e se tornam a mais atraente escolha para investimentos lucrativos. Em segundo lugar, surge uma percepção de espaços para a inovação, em que oportunidades empreendedoras surgem para o desenvolvimento adicional de novas tecnologias ou para seu uso em setores já existentes. Por último, em princípios e critérios

organizacionais, em que se prova um desempenho superior de métodos ou estruturas específicas de novas tecnologias, aumentando a eficiência e os lucros.

A emergência de um novo paradigma é uma função do ritmo de difusão de produtos, tecnologias e infraestruturas revolucionárias. Inicialmente o impacto é local e mínimo, mas cresce e engloba todo o resto da economia, trazendo mudanças também para o território, os comportamentos e as ideias (PEREZ, 2009). Nas palavras da autora: “É o paradigma, evoluindo à medida que novas tecnologias se difundem, que multiplica seu impacto através da economia, eventualmente modificando também as estruturas socioinstitucionais” (p. 14). No cenário da emergência de um paradigma de produção “verde”, o cenário político-institucional vem à tona como um elemento central para análise do papel da mudança tecnológica na crise financeira atual, que será abordada no próximo capítulo. (SOARES & CASSIOLATO, 2015).

Paradigmas tecnológicos contêm indicações de quais direções as mudanças tecnológicas devem tomar ou evitar (BEZERRA, 2010). Estes também definem as necessidades que devem ser sanadas, o conhecimento científico a ser utilizado na tarefa e o material tecnológico a ser empregado. Paradigmas tecnológicos definem, portanto, as oportunidades tecnológicas para inovações subsequentes, conduzindo os esforços para certas direções em detrimento de outras (DOSI *et al.*, 1988).

Essas trajetórias tecnológicas tendem a exibir uma continuidade ao longo do tempo (*path-dependent*), pois os agentes econômicos são condicionados pelas escolhas feitas no passado (PEREZ, 1983; BEZERRA, 2010). Os agentes tendem a continuar, portanto, em uma determinada direção de busca, aprimorando suas habilidades e conhecimentos específicos. O fenômeno de *path dependance* é intrínseco aos processos de inovação tecnológica, no qual as escolhas tecnológicas são condicionadas pelas escolhas feitas anteriormente. Economias de escala, externalidades de rede e acumulação de conhecimento são mecanismos que reforçam tal “dependência” tecnológica. Ou seja, quanto mais se investe e se aprofunda conhecimento num determinado padrão tecnológico, mais difícil se torna a passagem para um padrão alternativo. Os agentes econômicos tendem a ficar “presos” (*locked-in*) em uma trajetória dominante de tecnologia devido à natureza sistêmica e cumulativa da inovação, e sua interdependência econômica e tecnológica (ARTHUR, 1989).

Quando o rendimento da exploração das oportunidades no paradigma existente se torna decrescente, novos avanços na ciência e tecnologia trazem consigo o surgimento de novos paradigmas. Tal processo de transição de paradigma está carregado de incerteza, pois as consequências das atividades de inovação não são conhecidas com antecedência, como explorado no primeiro capítulo. Freeman e Soete (2008) já apontam como risco na difusão de um novo paradigma tecnológico a incerteza e os efeitos de dependência e *lock-in* da trajetória tecnológica. Perez (1983) pontua que uma estrutura social e institucional favorável para um grupo de tecnologias pode não ser tão adequada para uma tecnologia radicalmente nova. Inovações incrementais podem ser facilmente acomodadas, mas inovações radicais envolvem, por definição, um elemento de destruição criativa, engessando ainda mais o processo de mudança de paradigma. Nas palavras da autora:

“Tecnologias dominantes de um período específico de fato se transformam numa rede integrada já que passam a ser desenvolvidas em conjunto (...) À medida que um paradigma tecno-econômico se cristaliza e se desenvolve, as vantagens inter-relacionadas tornam-se cada vez mais aparentes, e a lógica do novo sistema passa a parecer auto-evidente. (...) Mas, nos estágios iniciais, existem grandes dificuldades e riscos na adoção dos novos equipamentos, porque eles ainda não configuram um sistema integrado e porque sua adoção envolve um gradativo processo de tentativas e erros e de aprendizado pela experiência e uso”. (PEREZ, 1983, [PAGINA](#))

Na difusão global de inovações radicais, fundamentais para a difusão de um novo paradigma econômico, as empresas multinacionais têm um papel de extrema importância. Estas empresas estão numa posição que as permite transferir equipamentos e talentos especializados para novas localidades se assim o desejarem e de organizar os processos de aprendizagem necessários. As multinacionais também podem realizar acordos de troca de tecnologia com empresas competidoras ou mesmo organizar *joint ventures* em qualquer parte do mundo (FREEMAN, 1995).

O desenvolvimento econômico verde, como mencionado na primeira seção deste capítulo, se mostra necessário devido às crises climáticas e ambientais globais. Contudo, a atual trajetória tecnológica está altamente centrada em torno de na extração e uso intensivo de recursos não renováveis (Lema et al., 2014). Freeman (1996) explica que empenhar-se em desenvolvimento com baixas emissões de carbono significa que a inovação deve tomar um novo rumo, que suporte a mudança para um “paradigma técnico-econômico verde”. Isto seria um processo de destruição

criativa no sentido dado por Schumpeter: os sistemas econômicos vigentes não de ser superados e destruídos por sistemas ambientalmente seguros. Isso se aplica à mudança de paradigma na direção de tecnologias mais limpas. Tal redirecionamento requer, além de um estudo sobre o processo de inovação, uma análise sobre as especificidades das questões ambientais, como fatores que influenciam a oferta e demanda por inovações ambientais e fatores que inibem ou induzem a difusão de tecnologias ambientais.

Como toda nova tecnologia, as tecnologias verdes não possuem um mercado consolidado. Dessa forma, se faz necessário que O Estado se empenhem na formação do mercado, seja através do estabelecimento de padrões técnicos, contratações públicas, incentivos financeiros ou o uso requerido por lei de determinada tecnologia. Iniciativas como essas podem ajudar a reduzir a incerteza do consumidor e a assegurar uma demanda inicial, que pode facilitar processos de aprendizagem na prática e os efeitos de economia de escala (LEMA et al, 2014). Freeman e Soete (2008) defendem que o papel do Estado é não só incentivar o desenvolvimento de tecnologias verdes, como também encorajar seu rápido desenvolvimento e difusão.

As inovações ambientais podem ser realizadas de forma espontânea ou por pressão, seja dos consumidores, de grupos de investidores ou das políticas de Estado. Uma firma realizará inovações verdes se ela julgar como importante questões ambientais na sua estratégia de competição. Tigre (1994), entre outros autores, revela que o principal incentivo para as indústrias gerarem e adotarem inovações são as exigências da política ambiental. Políticas ambientais são definidas como um conjunto de metas e instrumentos cujo objetivo é reduzir os impactos ambientais das tecnologias adotadas pelas firmas (TAHIM, 2007).

A regulamentação direta se dá por meio de padrões de qualidade ou limitações nas condições de uso de determinado produto, poluente ou nocivo. De acordo com Podcameni (2007), a regulamentação direta modifica as decisões dos agentes, e, se clara e objetiva, proporciona maior estabilidade à demanda de inovações ambientais e favorece sua difusão. Uma crítica a esse instrumento é a homogeneidade, que não leva em conta as especificidades da empresa e também por não apresentar incentivos na adoção de novas tecnologias depois que a empresa atinge o padrão exigido. Instrumentos de mercado, como taxas, tarifas e subsídios também podem influenciar as decisões de firma em inovar. A relação entre regulamentações ambientais e o processo de inovação é, contudo, complexo, e não é possível afirmar *a priori* se

estas inibirão ou induzirão o processo inovador da firma (PODCAMENI, 2007). Porter e Van der Linde (1995) argumentam que apenas as regulamentações que induzem à inovação trarão ganhos de competitividade a uma empresa. Para isso, é necessário, por parte do governo, 1) um estudo das cadeias produtivas sob as quais as regulamentações teriam impactos, levando em consideração a concorrência setorial e intersetorial, para verificar a que nível a questão ambiental é relevante para a competitividade; 2) uma compreensão do ambiente institucional envolvido, dado que este influencia diretamente o comportamento dos agentes econômicos; e 3) que as políticas públicas sejam coordenadas para que os esforços diretamente voltados ao aprimoramento das competências das empresas de geração e difusão de tecnologias verdes não sejam anulados por outras políticas em vigor. Ou seja, as regulamentações ambientais devem ser bem estudadas para que esse novo paradigma verde seja alcançado.

Outro mecanismo de pressão para inovações verdes são instrumentos econômicos como permissões de emissões comercializáveis, a taxação de emissões ou subsídios. Tais instrumentos não estabelecem padrões para emissões, mas sim estimam o custo da externalidade ao poluidor. A crítica a esse mecanismo são as deficiências das práticas contábeis de estimação e custos ambientais e das tecnologias de avaliação de emissões de forma precisa. Uma terceira forma de estimular inovações são as compras governamentais, seja por investimentos diretos em P&D ou subsídio para o uso e desenvolvimento de tecnologias verdes. Esse mecanismo é defendido por Freeman e Soete (2008) como o mais adequado para o desenvolvimento de novas tecnologias em sistemas de infraestrutura, como energia, transporte e descarte de resíduos. Por último, pode-se estimular as inovações em tecnologias limpas por vínculos sociais (FREEMAN & SOETE, 2008), incutidos por programas educacionais para engenheiros e gerentes e mesmo para crianças. Assim, aumenta-se a pressão por tais inovações por parte da população e por parte das empresas.

Soete e Arundel (1983) chamam a atenção de que o desenvolvimento e as inovações das tecnologias “verdes” terão que ocorrer por um esforço comum, dado que o principal interesse por trás dessa nova direção tecnológica é um objetivo público/comum. A maior parte dos países incentiva esse novo direcionamento através de uma combinação de incentivos econômicos e sistemas legais de regulação. Contudo, como visto no capítulo anterior, é importante que exista todo um sistema de políticas públicas que apoiem essas regulações e incentivos e que incentive inovações. Nesta perspectiva, para obter êxito nesse direcionamento, os autores remetem,

superficialmente, a nova fase de direcionamento tecnológico aos anos 1950 e 1960, em que os esforços inovativos eram “direcionados” a uma missão, considerada de interesse público, como a energia nuclear e o programa aeroespacial americano. Porém, o direcionamento para um paradigma verde tem algumas diferenças, pontuadas pelos autores no quadro abaixo:

Quadro 2 - Características dos velhos e novos projetos “orientados a missão”

Tabela 3	
Características de Projetos “Orientados a Missão” Antigos e Novos	
Antigos: Tecnologias para as indústrias de defesa, nuclear e aeroespacial	Novos: Tecnologias ambientais
A missão é definida em termos do número de realizações técnicas com pouca atenção a sua viabilidade econômica	A missão é definida em termos de soluções técnicas economicamente viáveis para problemas ambientais específicos
As metas e a direção do desenvolvimento tecnológico são desenvolvidas antecipadamente por um pequeno grupo de especialistas	A direção da mudança técnica é influenciada por uma grande gama de atores incluindo o governo, empresas privadas e grupos de consumidores
Controle centralizado dentro de uma administração governamental	Controle descentralizado com um grande número de agentes envolvidos
A difusão de resultados para fora do núcleo de participantes é uma atividade de menor importância ou ativamente desencorajada	A difusão dos resultados é uma meta central e é altamente incentivada
Limitada a um pequeno grupo de empresas que podem participar devido à ênfase em um pequeno número de tecnologias radicais	Ênfase no desenvolvimento incrementalista de inovações tanto radicais como incrementais de modo a permitir a participação de um grande número de empresas
Projetos independentes com pouca necessidade de políticas complementares e com pouca atenção dada à coerência	Políticas complementares são vitais para o sucesso com minuciosa atenção dada à coerência com outras metas

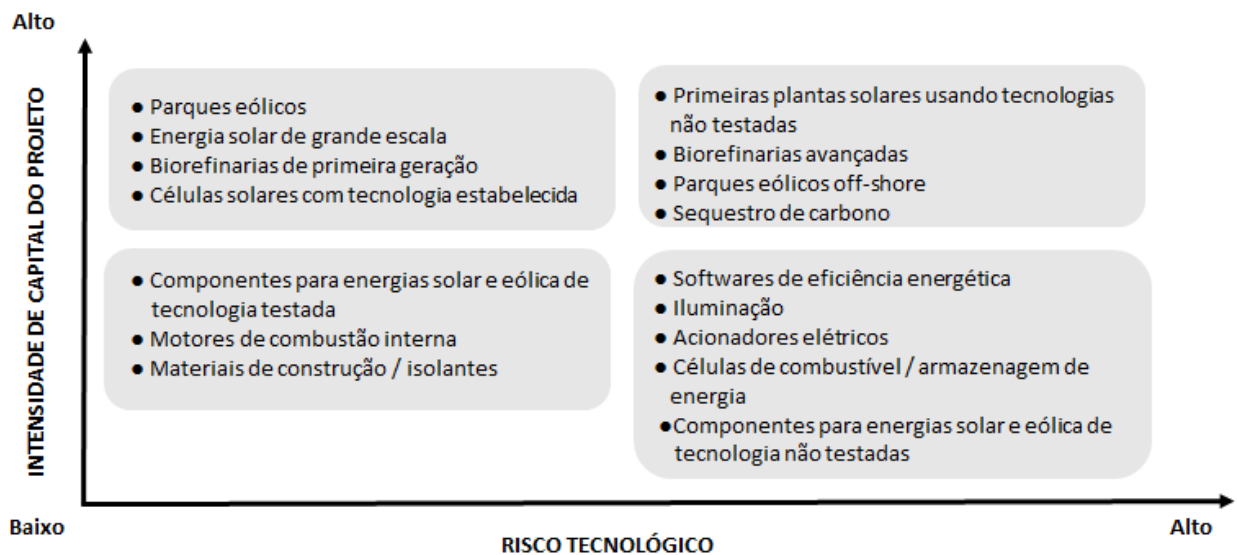
Fonte: Traduzido de Soete e Arundel, 1983

No projeto de desenvolvimento de tecnologias ambientais, vemos que a principal diferença para os projetos aeroespaciais ou nucleares é a complexidade e necessidade de envolvimento de todo um sistema: o projeto é descentralizado, com diversos agentes envolvidos, como governo, firmas privadas e consumidores, o objetivo é a difusão das tecnologias, e políticas complementares se fazem vitais para manter a coesão do projeto pulverizado.

Ou seja, o projeto de desenvolvimento sustentável através de inovações tecnológicas verdes deve ser muito mais conectado ao resto da economia, para que seus resultados sejam eficientes, duradouros e se difundam rapidamente por toda a estrutura produtiva. Isso traz a necessidade de uma visão sistêmica das políticas a serem implementadas (SOETE & ARUNDEL, 1983).

Como apontado no capítulo anterior, Mazzucato (2011) defende que o Estado tem um papel de extrema importância no incentivo e financiamento a pesquisa básica e aplicada em tecnologias de setores emergentes. Este seria o caso da tecnologia verde, que, assim como a biotecnologia, toda a base de conhecimento ainda está numa fase de exploração e ainda apresenta muitos riscos como também uma necessidade de investimentos de longo prazo e mais propensos a risco. Existe uma corrida global em relação à liderança em tecnologias verdes. As tecnologias verdes, em geral, ainda estão em um estado incipiente de desenvolvimento, onde a incerteza ainda domina o cenário. O capital de risco, portanto, evita tais investimentos e foca em apostas mais seguras que inovações radicais. Ghosh e Nanda (2010) defendem que atualmente, apenas fundos públicos estão financiando os projetos mais arriscados e intensivos capital no setor de tecnologias limpas. Os autores resumem na figura abaixo:

Figura 5- Risco tecnológico versus intensidade de capital



Fonte: Adaptado de Ghosh e Nanda, 2010

Como mostra o quadro acima, o capital de risco tende a se concentrar em inovações incrementais em tecnologias já estabelecidas no mercado, como energia solar e eólica para melhorar a eficiência energética, mas se afasta de formas mais radicais de inovação para a produção de energia. Mazzucato (2011) defende que, para alcançar-se a liderança em tecnologias verdes o Estado precisa ir além de incentivar a inovação. Pela análise histórica de autora, o mercado privado não é capaz de guiar a revolução verde, assim como não foi o caso de nenhuma revolução tecnológica. No contexto de crise econômica, que será mencionado na seção 3.1,

muitos Estados têm investido em novas tecnologias verde como forma de impulsionar o crescimento econômico.

Freeman e Soete (2008) defendem que, além de incentivar tecnologias para o desenvolvimento sustentável, é também do interesse do Estado encorajar a rápida difusão de tecnologias verdes. As políticas de incentivo ao desenvolvimento e difusão de inovações verdes devem ser projetadas de modo a influenciar os incentivos que as firmas têm e de apoiar programas de pesquisas relativos à enorme diversidade das fontes e aplicações de inovações, e não definir soluções tecnológicas. Essas políticas de incentivo também devem incluir um grande número de firmas potencialmente capazes de se beneficiarem delas, a fim de garantir uma ampla gama de aplicações potenciais a ser explorada.

2.3 A importância de energias limpas no novo paradigma

Para atingir as metas de desenvolvimento sustentável, é essencial a atuação no setor de energia. A geração de energia, e, portanto, todo o sistema industrial global, é predominantemente baseado em combustíveis fósseis, que, em sua combustão, geram a emissão de gases do efeito estufa, contribuindo para o aumento da temperatura média global. Alterar o padrão de consumo de energia, diminuindo a dependência de combustíveis fósseis e até mesmo eliminá-los, é de extrema importância para uma redução rápida da emissão de gases de efeito estufa. A sustentabilidade exige essa transição energética para tecnologias de energia limpas não poluentes (MAZZUCATO, 2011).

É possível organizar as inovações ambientais em dois grupos de soluções tecnológicas, as de controle de poluição, *end-of-pipe* (EOP), que geralmente representam um aumento de custos, e tecnologias limpas ou de prevenção de poluição, *pollution prevention* (PP), geralmente mais complexas e que necessitam de alterações significativas nos processos produtivos e organizacionais da empresa, com menor pressão sobre custos (TAHIM, 2007). Soluções de prevenção de poluição permitem empresas, ou, numa escala macro, países, reduzirem seu impacto ambiental e melhorarem seu desempenho competitivo. A busca por fontes alternativas de energia configuram como tecnologias de prevenção da poluição.

Há uma concordância que as economias desenvolvidas estão *locked-in* em um sistema de energia baseados em combustíveis fósseis e que as economias em desenvolvimento estão seguindo uma trajetória similar (UNRUH, 2000). Lema *et al.* (2014) identifica quatro principais fatores para *lock-in* do nosso atual sistema produtivo ao carbono. Em primeiro lugar, tecnologias de energia estão inseridas em sistemas tecnológicos e, portanto, não podem ser modificados de forma independente. Em segundo lugar, como todos os sistemas tecnológicos, tecnologias de energia estão sujeitas a *path dependence*, como explicado por Bezerra (2010) na seção anterior. Em terceiro lugar, as empresas encontram dificuldades para reorientar suas principais atividades para o desenvolvimento sustentável devido à incerteza. Por último, atores incumbentes possuem recursos financeiros, humanos e influência política muito superior aos novos atores verdes. Esses mecanismos levam ao *lock-in*, que são apoiados por instituições formais e informais.

O processo de substituição de fontes de energia fósseis por fontes renováveis envolve não apenas a produção e a distribuição como também o estoque e o uso de energias. Muitas inovações na geração de energias renováveis já foram observadas, porém os principais gargalos para a substituição por energias renováveis são o estoque, a rede de distribuição e conexão entre redes de produção e distribuição. A infraestrutura também é um elemento crucial na influência da direção da inovação, em especial para a emergência e disseminação de inovações radicais e disruptivas. A transição para fontes de energia renováveis vai além de políticas de inovação na produção de energias limpas, mas também em toda a infraestrutura na qual a geração de energia está instalada (LEMA *et al.*, 2014).

Para uma transição para sistemas de energia de baixa emissão de carbono (LEMA *et al.*, 2014), é necessário políticas de incentivo à inovação nas seguintes linhas: oferta e acesso à energia; demanda e eficiência energética; desenvolvimento e disseminação de infraestruturas de baixo carbono para facilitar mudanças na oferta e na demanda de energia; e o desmantelamento de sistemas de energia intensivos em carbono.

O mercado para inovações ambientais é caracterizado pela instabilidade da demanda, influenciada pela natureza das políticas ambientais, que podem ser alteradas em função de diversos fatores, como, por exemplo, pressões políticas e desdobramentos científicos. Essa demanda de natureza instável afeta negativamente a oferta de tecnologias verdes (PODCAMENI, 2007). Existe também o interesse público na rápida difusão de inovações ambientais, provocando

uma pressão por parte das regulamentações governamentais para limitar o tempo de apropriabilidade dessas inovações, representando um desestímulo ao investimento nas mesmas.

As energias renováveis ainda não alcançaram um preço competitivo, afastando investidores privados. Isso se explica que o mecanismo de precificação do mercado não inclui externalidades, como o custo de danos ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis. A ausência de grades de transmissão, assim como o alto custo de conexão a essas grades também encarecem a energia de fontes renováveis, contribuindo ainda mais para a competição desigual das tecnologias intensivas em carbono e de baixa emissão de carbono (LEMA *et al*, 2014).

A indústria “verde” como um todo ainda está em seu estágio inicial, trazendo consigo uma incerteza tanto tecnológica quanto de mercado. Dado o risco e a incerteza envolvidos no investimento em energias limpas, assim como a complexidade da transição para essas fontes de energias, Mazzucato (2013) identifica o governo como ator capaz de absorver riscos e de mobilizar grandes quantias de recurso para assumir as transformações de infraestrutura necessárias. O Estado deve ir além de liderar a transformação do sistema energético, mas deve manter o apoio a tecnologias novas e transitórias até que a indústria possa amadurecer, ou seja, até o custo e o desempenho de energias limpas apresentarem vantagens sobre as tecnologias de energia já existentes. A autora aponta que, para essa transformação, não devemos contar com o setor privado, pois historicamente o mesmo só “entra em jogo” depois que iniciativas governamentais de sucesso absorveram a maior parcela de incerteza, como ocorreu com a biotecnologia, nanotecnologia e TI no fim do século passado. O setor privado precisa de sinais claros e fortes para justificar seu envolvimento no desenvolvimento de tecnologias limpas.

O Estado é capaz de fomentar inovações em energias limpas através de políticas voltadas para o lado da demanda, como normas ambientais, que vão influenciar no padrão de consumo de energia, e para o lado da oferta, que focam em como a energia é gerada e distribuída, como créditos fiscais, subsídios, empréstimos e concessões. As políticas voltadas para o lado da demanda ajudam a estabelecer uma direção tecnológica, e são cruciais para sinalizar o potencial de crescimento do mercado. Já as políticas voltadas para o lado da oferta influenciam na difusão da tecnologia, mas são vulneráveis a mudanças políticas. (MAZZUCATO, 2011).

Para que ocorra uma explosão verde, é necessário que o Estado dê um “empurrão”, se sobrepondo às atividades empresariais, ao invés de acabar por importar tecnologias limpas de outros países (MAZZUCATO, 2011). Negócios de tecnologia limpa estão propensos a requerer subsídios e P&D realizados pelo governo, assim como a maioria dos novos negócios e tecnologias. Devido à aversão ao risco do setor empresarial, os governos devem manter o financiamento de pesquisa por ideias radicais que levem à revolução verde até a estabilização de um mercado saudável, com uma margem de risco relativamente baixa e lucro razoável para que as empresas levem o setor adiante.

2.4 Conclusão

Devido à atividade humana, o equilíbrio natural do planeta foi alterado. Atualmente, estamos lidando com prognósticos de mudanças climáticas em ordem superior a até 5°C. Para evitar um aumento da temperatura média global acima de 2°C, devemos atuar em busca de um novo paradigma tecnológico, menos intensivo em carbono e recursos finitos.

Historicamente, países desenvolvidos concentram crescimento econômico e atividade industrial, e, por consequência, maior emissão de gases de carbono no mundo. Países em desenvolvimento estão perseguindo os níveis de atividade industrial e desenvolvimento desses países, aumentando a pressão ambiental. Os países em desenvolvimento importam, juntamente com os ideais de desenvolvimento econômico, padrões de consumo de energia, de tecnologia e de consumo intensivos em recursos não-renováveis e que obedecem uma lógica linear de extração-produção-uso-descarte.

As evidências crescentes de limites ambientais apontam para o esgotamento do atual paradigma produtivo baseado na exploração intensiva de recursos naturais não-renováveis, denunciando sua não sustentabilidade. Essa tendência reforça a necessidade de uma transição para um paradigma produtivo centrado numa economia de baixo carbono e em recursos energéticos renováveis, ou melhor, uma economia verde. O atual paradigma de produção, contudo, permanece preso (*locked-in*) à forte dependência de combustíveis fósseis, apresentando um conflito para adotar ações concretas no controle de emissões de carbono (CASSIOLATO et. al., 2015).

Nessa busca de desse novo paradigma tecnológico mais verde, de desenvolvimento sustentável, a importância da tecnologia e do Estado se mostra fundamental. Nas palavras de Freeman e Soete (2008):

“O desenvolvimento sustentável representa um objetivo político de longo prazo que precisa adquirir com urgência maior prioridade nas agendas dos ministérios da ciência e tecnologia, das agências governamentais e outras entidades formuladoras de política. Isso requer uma ampla gama de inovações e a gradativa mudança das instituições e das tecnologias de produção e consumo. O objetivo da sustentabilidade ambiental é primordialmente público, embora não possa ser alcançado sem envolver o setor privado, justificando da atenção política ao assunto.” (FREEMAN E SOETE, 2008, PÁGINA)

Contudo, o caráter multinacional dos problemas ambientais significa que os esforços de desenvolvimento sustentável devem ser perseguidos ativamente também por instituições em todas as esferas: desde empresas locais até órgãos supranacionais. Ou seja, não adianta apenas um determinado bloco de países ou determinado setor da economia investir em inovações verdes.

O desafio para a instalação de um novo paradigma tecnológico “verde” é a criação, manutenção e financiamento de um arcabouço político de longo prazo que se sustente. Sem esse compromisso de longo prazo, é provável que tecnologias limpas, incluindo tecnologias de energia, se tornem oportunidades perdidas. Os desafios enfrentados pelas tecnologias limpas são muito mais de ordem política e social do que técnica, e incluem a necessidade de comprometimento do investimento público e do setor privado no longo prazo. Empresas novas precisam de apoio e subsídios de longo prazo para a produção e para a inclusão no mercado.

Nesse cenário, podemos identificar a importância do desenvolvimento do setor de energias verdes, que, por ser a base de todo processo produtivo, vem a impactar toda a economia. Contudo, a transição para energias verdes é ainda mais dependente da proatividade do Estado, que é o único ator capaz de mobilizar recursos de tal tamanho, assim como determinar políticas para fomentar esse setor e de investir em infraestrutura para incluir fontes alternativas de energia. O esforço do Estado a ser perseguido atualmente é comparável ao desenvolvimento de tecnologia americano dos anos 50-60, quando objetivos públicos eram alcançados por meio de projetos orientados por uma missão (MAZZUCATO, 2013). A diferença está que o projeto de desenvolvimento sustentável não pode estar isolado do resto da economia, através de compras governamentais, mas precisará combinar compras governamentais com muitas outras políticas a

fim de gerar efeitos abrangentes em toda a estrutura de produção e consumo da economia, e assim, transformar o paradigma tecnológico.

CAPÍTULO III - SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA BRASIL E CHINA

Este capítulo está estruturado em quatro partes. A primeira parte, introdutória, descreve a escolha de usar os sistemas nacionais de inovação de aerogeradores do Brasil e da China como enfoque. A segunda parte descreve o SNI da China, partindo de seu potencial e concluindo o Estado atual da indústria chinesa de aerogeradores. A terceira parte descreve da mesma forma o SNI brasileiro. O capítulo é encerrado com uma análise sobre o papel de ambos os Estados nacionais em fomentar o desenvolvimento tecnológico verde.

3.1 Recorte: Brasil, China e Energia Eólica

Foram escolhidos os mercados de aerogeradores do Brasil e a da China para uma análise de direcionamento tecnológico verde por parte dos Estados. A escolha dos países, assim como do setor, foi feita devido a certas semelhanças, relacionadas abaixo.

Economicamente, ambos os países parte dos BRIC, grupo de países apontado pelo banco Goldman Sachs em 2001 como países que até 2050 se tornariam as mais importantes economias do mundo, superando o G6 (EUA, Japão, Reino Unido, Alemanha França e Itália), os países mais industrializados do mundo. Mais tarde, a África do Sul foi admitida como membro integral, e o grupo passou a se chamar BRICS. O grupo de países possui semelhanças consideráveis, como grande expansão territorial, expressiva população e mercado consumidor e histórico recente de transformações socioeconômicas. O grupo, porém, apresenta discrepâncias no que tange o estágio de desenvolvimento tecnológico.

Em relação às mudanças climáticas, ambos os países estão em posição de vulnerabilidade. Países mais pobres, assim como segmentos mais pobres da população mesmo em países desenvolvidos, são primeiramente afetados pelos desequilíbrios ecológicos provocados pelo esgotamento da natureza. Regiões mais pobres tendem a sofrer mais com as consequências das catástrofes naturais através das múltiplas vulnerabilidades existentes, reforçando a desigualdade social e o descontentamento da população (MAHARAJH, 2015).

Países em desenvolvimento como o Brasil e a China têm diversas oportunidades para percorrer trajetórias de tecnologias distintas e reduzir a intensidade do uso de carbono. Porém, há

alguns pontos que se posicionam contra essa “autonomia”. Primeiramente, a maior parte das tecnologias verdes é relativamente imatura e apresenta elevado risco e incerteza, pois tecnologias verdes tendem a desfazer sistemas elétricos e sistemas de combustíveis e dependem de mudanças custosas a nível de sistemas. Em segundo lugar, tecnologias de energia estão majoritariamente nas mãos de grandes empresas multinacionais, ou seja, a capacidade local de domínio uma direção de desenvolvimento tecnológico fica a desejar. Em terceiro lugar, a expansão de fontes de energia renováveis é cara, e a maioria dos países em desenvolvimento depende de fontes de financiamento internacionais, que respondem a sinais de mercado. Por último, há significativos subsídios para produtos petrolíferos, eletricidade, gás natural e carvão (LEMA et. al., 2014), afastando o investimento em fontes alternativas de energia de maior risco.

Paralelamente, sistemas de inovação e capacidades de inovação tendem a ser mais fragmentados em países em desenvolvimento. De acordo com Lema *et al.* (2014) a inovação em países em desenvolvimento é uma atividade que ocorre em partes específicas e, algumas vezes, isoladas da economia. Processos de inovação são tipicamente de imitação e de adaptação de tecnologias existentes, e não de introdução de inovações, como nos países desenvolvidos.

Além das semelhanças mencionadas acima, chama atenção o que tange o nível de desenvolvimento de tecnologias de energia eólica em ambos os países. Pode-se afirmar que tanto o Brasil quanto a China são classificados como *latecomers* no mercado de aerogeradores (CAMILLO, 2013), ou seja, são países que começaram a investir nessa fonte de energia depois de outros países já terem alcançado elevado grau de desenvolvimento e mercantilização da tecnologia, a partir dos anos 2000. O mercado já era percebido como fechado a novos players. Países *latecomers*, quando comparados aos pioneiros em desenvolvimento de tecnologia de energia eólica, percorreram um caminho próprio, tanto em termos de desenvolvimento tecnológico quanto em termos de políticas de inovação. *Latecomers* investem esforços principalmente em importação da tecnologia, inovações incrementais e de adaptação, puxando o desenvolvimento tecnológico do setor (CAMILLO, 2013) Porém a China trouxe uma nova dinâmica para o setor com a sua trajetória, alavancada pela crise financeira de 2008, conforme será visto na próxima seção.

Como mencionado, ambos os países foram afetados positivamente pela crise financeira global de 2008. Com a recessão, a estratégia de investir em tecnologias verdes através de

políticas econômicas e industriais direcionadas a moldar o novo paradigma técnico-produtivo, orientadas para uma mudança de estrutura produtiva tem sido amplamente adotada pelos Estados como forma de recuperação econômica, como mencionada no capítulo 2. Paralelamente, empresas de diversos segmentos, inclusive o de aerogeradores eólicos, buscaram mercados alternativos aos países desenvolvidos – mais afetados pela crise - para manterem suas atividades depois da crise de 2008. Os países emergentes, como Brasil e China, não foram tão afetados pela crise, cujo epicentro foi nos EUA e Europa Ocidental, atraindo assim, a atenção de multinacionais para esses mercados (PODCAMENI, 2014, PODCAMENI E CASSIOLATO, 2015).

A escolha do setor de aerogeradores se deu pelos seguintes motivos: em primeiro lugar, o desenvolvimento de fontes de energia alternativas e renováveis, mesmo que parcial, representa um avanço do ponto de vista ecológico para ambos os países. A energia eólica, assim como a solar, não emitem poluentes durante a sua operação. Ambas são tecnologias que oferecem amplas oportunidades para o setor de TI, dominante no atual paradigma tecnológico (PEREZ, 2009), que se beneficia com essa nova “direção” tecnológica. Como são a energia eólica e a solar são fontes classificadas como “difusas e intermitentes” (MADRIGAL 2011 *apud* MAZZUCATO, 2013), o setor de TI entra aumentando a produtividade e a confiabilidade dos projetos de eólica e solar com modelagem computacional avançada, gestão de produção de energia e monitoramento remoto, as *smart grids*. Ou seja, a geração de energia eólica é uma oportunidade para o setor dominante da economia.

A energia eólica é a fonte renovável que vem crescendo de forma mais acelerada dentre as energias renováveis (CAMILLO, 2013), e teve seu crescimento alimentado pela crise recente de 2008, pois os governos viram esse mercado como uma forma de estímulo econômico para enfrentar a crise mundial. Apenas em 2008 foram destinados US\$194 milhões de dólares para o desenvolvimento de tecnologias limpas em todo o mundo, enquanto em 2014, bateu-se o marco de US\$270 bilhões, um aumento de 17% em relação ao ano anterior. Deve-se levar em conta que esse aumento ocorreu em um cenário de queda do preço do petróleo, em torno de 50% no mesmo período. Apenas em energia eólica, o investimento global foi de US\$99.5 bilhões no ano de 2014, e seu custo não para de diminuir, apresentando uma queda de 11,95% de 2013 para 2014. Isto

implica que cada dólar investido em energia eólica se torna mais capacidade de geração do que anteriormente.

3.2 O Sistema Nacional de Inovação de turbinas eólicas chinês

A China é um caso ímpar no mercado de energia eólica. Primeiramente, por ser um país emergente, diferentemente dos demais países líderes nesta energia (Dinamarca, Alemanha, EUA, Espanha) (CAMILLO, 2013). A China começou a investir em energia eólica apenas na década de 1980 de forma tímida e se posicionou na fronteira tecnológica a partir dos anos 2000 (IRENA, 2012; LEWIS, 2009). O país se tornou líder em capacidade instalada e suas empresas se tornaram líderes globais em um curto espaço de tempo, além de sofrer um efeito positivo causado pela crise global de 2008. Em 6 anos, as empresas chinesas passaram de nenhuma representatividade no mercado global para 35% da produção mundial de aerogeradores em 2011 (BTM CONSULT, 2011). A China foi o país que mais investiu em energia renovável em 2014, com o recorde de US\$83.3 bilhões de dólares, um crescimento de 39% comparado com o ano anterior, 2013 e representando 31% do total do investimento global em energias limpas. (FRANKFURT SCHOOL OF FINANCE AND MANAGEMENT, 2015). A China bateu também o recorde de instalação global no ano de 2014, com 21 GW novos instalados.

3.2.1 Contexto

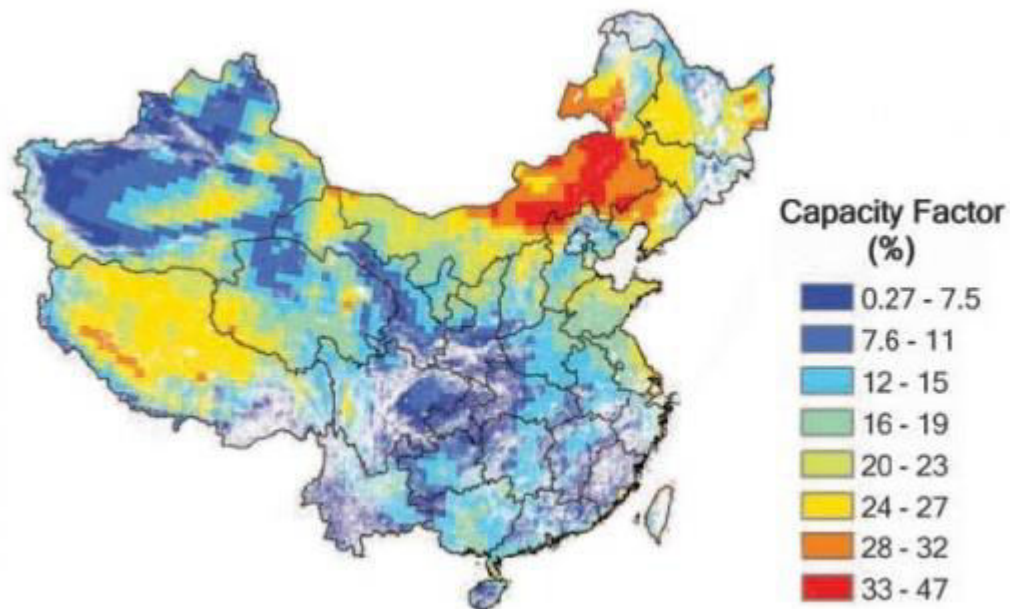
A China, com seu recente boom econômico, encara alguns desafios de infraestrutura sem paralelos. A demanda por energia na China cresce a um ritmo médio de 8% ao ano há mais de 30 anos (LI, 2015). Em média, a cada semana é inaugurada uma usina para acompanhar a demanda por energia.

O carvão é a base da matriz energética chinesa, que não possui em seu território gás ou petróleo. As minas de carvão se encontram, contudo, no interior do país, quando seu centro econômico se localiza na costa do país. O carvão responde por cerca de 73% da matriz energética, e para atender a demanda energética do país, a China é dependente de importações de petróleo, carvão e gás (LI, 2015). Usinas nucleares respondem por 2% da geração de energia no país, marco recentemente ultrapassado pela energia eólica, com também em torno de 2% (GWEC, 2012). Mesmo recursos hidrelétricos são escassos, e a China conta apenas com poucas

hidrelétricas de grande capacidade, como a Usina de Três Gargantas, inaugurada em 2012. A energia eólica se mostra, assim, essencial para garantir a segurança energética do país, que continua crescendo a taxas anuais elevadas (LI, 2015; IEA, 2011).

A Agência Internacional de Energia (IEA) aponta um potencial tecnicamente explorável de aproveitamento de energia eólica em terra entre 2.900 GW e 4.000 GW para torres de 50m e 100m de altura, respectivamente, e de 500 GW *offshore*, com torres de 100m de altura em lâmina d'água de até 25m. A extensa região norte da China apresenta o maior potencial eólico, assim como as costas leste e sudeste, o maior potencial para energia eólica *offshore*. Estima-se que em 2015 a capacidade instalada de energia eólica alcançará 100 GW (LI et al., 2012).

Figura 6 – Potencial Eólico Chinês



Fonte: LI, 2010

Os danos que a economia chinesa sofre por causa de seus altos índices de poluição já foram comprovados por diversos estudos. O Banco Mundial (2007) estimou que a poluição provocava prejuízos anuais equivalentes a 5,8%/.Já o relatório The New Climate Economy (2014) estimou que a China obteve perdas de US\$600 bilhões em 2010, o equivalente a quase 13% do PIB, devido a mortes prematuras causadas apenas pela exposição ao ar poluído, faltas ao trabalho, custos de doenças, etc (STERN et al., 2014). Mais da metade das cidades chinesas

sofrem com chuva ácida, mais de 40% dos rios, além do declínio da área agriculturável que o país enfrenta (CASSIOLATO, *no prelo*). Deve-se levar em conta que já havia sido realizado um grande esforço nessa área como preparação dos jogos Olímpicos de 2008. Isto justifica o interesse da China em “limpar” sua economia..

Já nos anos 1970, Deng Xiaoping tomou como projeto de desenvolvimento do país a modernização através do progresso científico e tecnológico. Para isso foram definidos setores estratégicos nos quais a China reuniria esforços para desenvolver uma capacidade de autodependência (CASSIOLATO *et al*, 2013), dentre eles, o setor energético. Em 2006, sob a liderança de Hu Jintao foi elaborado o Plano de Desenvolvimento de Médio-Longo Prazo para o Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia (Penct) para tornar a China um país orientado para a inovação, com o objetivo de alcançar a liderança global em 2020 em tecnologias nas áreas consideradas chaves. O plano enfatizou que o mercado local seria o condutor da construção da tecnologia chinesa. Isso significou que as capacitações tecnológicas e científicas seriam voltadas para a superação dos problemas específicos da sociedade chinesa, como déficit energético, segurança alimentar e controle de poluição. O Penct determinava, como um dos oito objetivos gerais de “metas para o desenvolvimento nacional”, em segundo lugar a liderança no desenvolvimento de tecnologias de energia, energia limpa, conservação de energia e tecnologias de otimização de energia, englobando assim, a energia eólica (CASSIOLATO *et al.*, 2013). O Décimo Segundo Plano Quinquenal (2012-2016) reforça esse compromisso de liderança em tecnologias ambientais e destaca, em seu capítulo sobre controle e prevenção da poluição atmosférica, a necessidade de acelerar o desenvolvimento de gás natural e energias renováveis de modo a aumentar o fornecimento de energias limpas e a diversificar a matriz energética. No tocante a energia eólica, a diretriz é de desenvolvê-la e utilizá-la “agressivamente”. Para tal, a construção de usinas de energia eólica nas três regiões setentrionais do país ao longo de toda a costa da China (LEWIS, 2011). O Décimo Segundo Plano Quinquenal (2011-2015), reforçando a prevenção da poluição, estabelece limites regionais de longo prazo para consumo de carvão. Vale também lembrar o compromisso internacional do governo chinês para diminuir suas emissões de gases de efeito estufa ao ratificar o Protocolo de Kyoto em 2002.

Em termos de pacotes e fundos voltados para a recuperação da crise de 2008, a China direcionou em torno de 38% dos seus recursos a programas direcionados a temas ambientais, com

U\$221 bilhões de dólares (ROBINS *et al.*, 2009), incluindo o investimento em *smart grids*, para uma maior inclusão de fontes renováveis (CASSIOLATO *et al.*, 2013), usando o novo paradigma tecnológico como motor de crescimento econômico, alinhado às estratégia de desenvolvimento mencionada previamente. O desenvolvimento rápido de tecnologias de energia eólica está, portanto, atrelado não só a um plano de desenvolvimento tecnológico nacional de longo prazo que vai além da geração de energias limpas, como também a uma percepção do atual paradigma tecnológico.

3.2.2 Políticas Públicas

Conforme defende Mazzucato (2013), a atuação do Estado no desenvolvimento e sucesso de novas tecnologias é fundamental. O Estado deve ter uma postura proativa e tomadora de riscos, além de criar e manter uma rede interligada de atores para criação de conhecimento e uma estabilidade econômica. O sucesso das empresas chinesas no mercado de aerogeradores se deve em grande parte à atuação do Estado, que articulou uma gama de incentivos diversos para a introdução da energia eólica como fonte de energia, e para o desenvolvimento nacional de tecnologia de aerogeradores. A liderança alcançada em tecnologia de turbinas eólicas está inserida no projeto do Estado chinês de desenvolvimento tecnológico e econômico. (LEWIS & WISER, 2007). A liderança em energia eólica é, portanto, reflexo da estratégia chinesa de dominar as tecnologias do próximo paradigma, o paradigma verde (CASSIOLATO *et al.*, 2013; PODCAMENI, 2014).

A China começou a investir em energia eólica na década de 1980 de forma tímida e se tornou líder global de tecnologia nos anos 2000 (LEWIS, 2009). Até a década de 90, os esforços políticos se concentraram na construção de pequenos parques eólicos de demonstração, financiados pelo governo chinês ou por países estrangeiros (LEMA *et al.*, 2011). Em 1994, o Ministério da Energia Elétrica propôs um programa de industrialização do setor de energia eólica, estabelecendo que as empresas de distribuição de energia seriam responsáveis por comprar 100% da energia eólica gerada pelos parques e por conectá-los à rede elétrica nacional. Garantiu-se assim a segurança dos investidores, impulsionando os financiamentos a projetos de desenvolvimento de parques eólicos (LEWIS, 2011). Paralelamente, o imposto sobre valor agregado em projetos de energia eólica foi diminuído. Em 1997 foram instaurados programas de incentivo à importação de tecnologia através de transferência ou licenciamento. O Riding Wind

Program formalizou a estratégia de construção de uma indústria doméstica a partir da incorporação e absorção de tecnologia estrangeira.

Para empresas nacionais terem acesso ao mercado chinês, o Estado estabeleceu a condição de criação de *joint ventures* (LEMA *et al.*, 2011). **O Estado chinês usou o tamanho do seu mercado interno para atrair empresas internacionais e induzi-las a realizar atividades tecnológicas no solo chinês (CASSIOLATO, *no prelo*).** As primeiras empresas de aerogeradores eram, portanto, subsidiárias de transnacionais associadas a empresas locais. Essa associação permitiu que as empresas locais passassem por um processo de aprendizagem, e começaram a surgir os primeiros fabricantes de aerogeradores chineses. O Governo chinês introduziu também o Décimo Plano Quinquenal (2001-2005), que contemplava uma ampla reforma no mercado de eletricidade chinês. Ficou definido que projetos domésticos de energia eólica seriam implementados por meio de processos de licitação, cujo critério de elegibilidade era apresentar no mínimo 70% de conteúdo nacional nas turbinas eólicas. Perseguiu-se o objetivo de expandir a taxa de capacidade instalada e a capacidade de produção nacional de equipamentos eólicos, assim como a redução dos custos de geração de energia eólica (WANG *et al.*, 2010).

Em 2006, a Lei de Energia Renovável estipulou como prioridade nacional o desenvolvimento de fontes renováveis, canalizando recursos para projetos de P&D em energia eólica e a projetos de fabricação de equipamentos eólicos (LI *et al.*, 2010). O apoio estatal para P&D básico foi fornecido pela criação de Laboratórios-Chave Estatais (State-Key-Laboratories). A Lei manteve-se em vigor pelos dois seguintes planos quinquenais. No caso do setor de energia eólica, estes laboratórios foram instalados nas empresas líderes (Goldwing, Sinovel, United Power, XEMC e Windy), que também receberam recursos do Programa Nacional de P&D de Alta Tecnologia de 2012, o Programa 863 (ZHANG, 2015).

Em 2007 foi lançado o Plano de Médio e Longo Prazo para as Energias Renováveis, que impactou diretamente todas as tecnologias verdes. O Plano estabelecia como meta alcançar 1% de energia renovável na matriz energética chinesa até 2010, excluindo a energia hidrelétrica, com um pacote de incentivos fiscais, favorecendo fabricantes domésticos de turbinas. O quociente mínimo de 70% de conteúdo local foi mantido, impulsionando o desenvolvimento de toda a cadeia produtiva nacional de equipamentos eólicos, mas também de outras tecnologias verdes (MARTINOT & LI, 2010). Em 2008, a energia eólica ganhou o primeiro plano de

desenvolvimento voltado exclusivamente para essa fonte, o Wind Base Program (CAMILLO, 2013), estabelecendo metas de capacidade instalada para o setor para até 2020. Em 2009, foi introduzida a tarifa prêmio (*feed-in tariff*) para geração de energia eólica na revisão da Lei de Energia Renovável, que garantiu retorno de longo prazo para os investidores e impulsionou a implementação de parques eólicos (MARTINOT & LI, 2010). A revisão da Lei reiterou a obrigação de absorção de toda a energia renovável por parte das empresas de distribuição. Como resultado, observa-se que de 2004 a 2009, empresas de aerogeradores chinesas passaram a ser responsáveis por quase 90% dos equipamentos eólicos produzidos na China.

Em 2011, foi aprovado o Décimo Segundo Plano Quinquenal (2011-2015). O primeiro objetivo desse plano foi o desenvolvimento de energias limpas, com a meta de que as energias renováveis alcançassem 11,4% da matriz energética em 2015, chegando a 20% em 2030. O governo chinês passou a atuar de forma mais direta para promover a fabricação e o desenvolvimento de tecnologia nacional, constituindo grandes empresas estatais como a Goldwind e investindo na atração de empresas estrangeiras para a criação de subsidiárias nacionais, como mencionado anteriormente. O capital estrangeiro contribuiu não apenas na construção de uma base local de manufatura de turbinas como também no processo de capacitação das empresas locais.

À medida que a rede de fornecedores se consolidava, a dependência da importação de componentes essenciais, especialmente os de maior valor agregado, foi diminuindo. Atualmente, as empresas chinesas expandiram sua produção para itens de maior complexidade tecnológica, assim como o desenho de projeto de turbinas eólicas e a elaboração de parques eólicos. O desenvolvimento no mercado doméstico foi essencial para a estruturação das empresas chinesas de aerogeradores e para sua competitividade no mercado externo.

Além de políticas de mercado, o desenvolvimento tecnológico do setor de energia eólica se deu por uma atuação do Estado coerente, de acordo com a estratégia de domínio das tecnologias verdes, conforme mencionado anteriormente. Por exemplo, o processo de transferência tecnológica, não apenas de tecnologias verdes, foi incentivado pela Lei de Patentes e pela Lei dos Contratos de Tecnologia, favorecendo a capacitação e a proteção de empresas locais (CASSIOLATO *et al*, 2013). Assim, esse desenvolvimento não foi unicamente apoiado por políticas de desenvolvimento de mercado, mas também uma vasta gama de outros

instrumentos, como política tarifária, tributária, cambial, de exportação, de patentes, de educação e científica, fazendo parte de uma visão sistêmica sobre estratégia de desenvolvimento de capacidades produtivas em setores chaves, o de energia verde (PODCAMENI, 2014).

3.2.3 Panorama Atual da Estrutura Produtiva

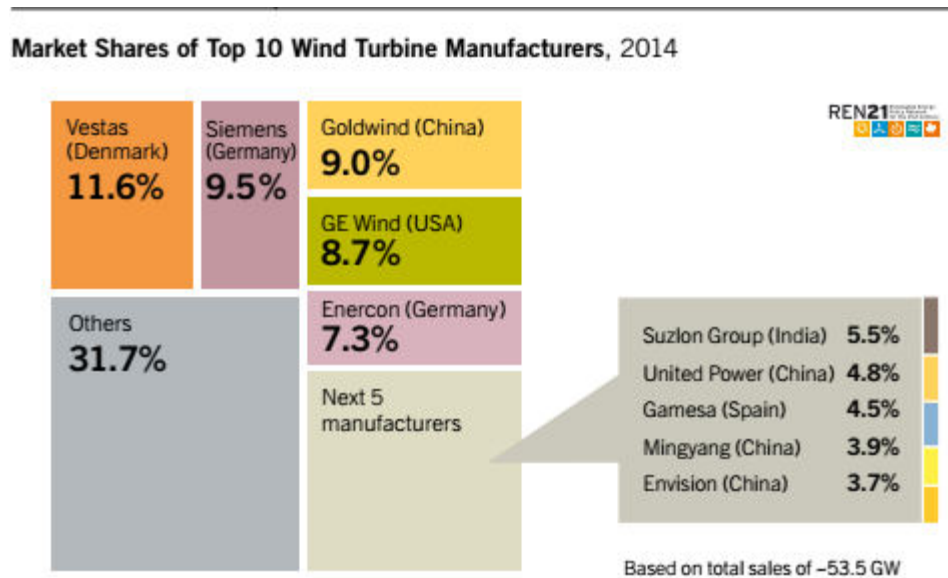
A China é classificada por Camillo (2013) como um país *late-comer* no mercado de produção de aerogeradores. As empresas chinesas entraram no mercado internacional com um modelo de produção de aerogeradores padrões, montando assim uma cadeia produtiva local de turbinas relativamente padronizada, cortando custos. Lema *et al.* (2011) descreve o modelo de produção chinesa de aerogeradores como um modelo modular padronizado e de desintegração vertical, barateando o preço médio praticado pelas empresas chinesas. Em 2011, o mercado chinês era dominado por empresas chinesas: Sinovel com 12.977 MW de capacidade instalada (20.8% do mercado doméstico); Goldwind com 12678.9 MW (20.3%); Dongfang Turbine 6898 MW (11.1%); United Power 5282MW (8.5%) e a dinamarquesa Vestas com 3565.5 MW (5.7%). A entrada da China no mercado internacional de aerogeradores foi um importante fator para a redução dos preços das turbinas eólicas e transformar a energia eólica em competitiva com as fontes tradicionais de energia.

Entre 2007 e 2008, o número de fabricantes de turbinas domésticos na China subiu de 40 para 70. Em 2004, as empresas nacionais atendiam a apenas um quarto da produção de aerogeradores. Dentro de 5 anos, essa taxa alcançou quase 90%. Outra demonstração do avanço tecnológico chinês em energia eólica é a capacidade de geração das turbinas produzidas por empresas chinesas: no início dos anos 2000, a produção chinesa se concentrava em modelos inferiores a 1 MW, enquanto em 2010 as empresas já produziam turbinas com capacidade de 1,5-2,0 MW. Em 2010, a China ultrapassou os EUA como o maior mercado de energia eólica.

O governo chinês também já sinalizou o interesse em desenvolver um sistema próprio de padronização e certificação para fontes renováveis, previsto para 2015 (Wallace *et al.*, 2012). Segundo o relatório do Global Wind Energy Council, já se observa uma redução na taxa de incremento da capacidade de energia eólica na China, de apenas 12,9 GW em 2012, menor do que a média dos últimos três anos. Analistas já interpretam essa desaceleração como um sinal de maturidade do mercado local (PODCAMENI, 2014).

As empresas chinesas atualmente já atuam voltadas para a exportação. As empresas chinesas de aerogeradores já são capazes de produzir turbinas capazes de gerar 40 GW anualmente, porém o governo chinês tem como objetivo instalar apenas 20 GW em nova capacidade por ano entre 2015 e 2020. Isso sugere que as empresas chinesas vão concentrar seus esforços na exportação e na adaptação das turbinas para diferentes contextos para não saírem do mercado (CCM REVIEW, 2015). De acordo com a figura abaixo, é possível verificar a representatividade das empresas chinesas no mercado global:

Figura 7 – Market-share global dos principais fabricantes de aerogeradores



Fonte: REN21, 2015

Devido ao pacote de estímulos do governo à crise financeira global de 2008, a sobrecapacidade de produção tornou-se um problema grave para várias indústrias, inclusive para a de aerogeradores. Como consequência, em 2009, o governo publicou a “Notificação sobre Limitação de Sobrecapacidade e Construção Redundante de vários Setores e Promoção do Desenvolvimento Saudável dos Setores”, que estabelecia que “a internacionalização e o aumento de escala da indústria de aerogeradores devem ser promovidos proativamente” (ZHANG, 2015). Como consequência, em 2011, o Ministério do Comércio publicou a “Opiniões para a Promoção do Desenvolvimento da Internacionalização de Indústrias Emergentes Estratégicas”, que

estabeleceu que “a internacionalização é um caminho inevitável para incentivar e desenvolver indústrias emergentes e estratégicas”, **uma vez que a tecnologia está consolidada internamente. O desenvolvimento e a consolidação do mercado local, assim como seu processo de aprendizagem, foram a base para a colocação no mercado internacional.**

3.2.4 Conclusão

A crise de 2008 provocou uma reconfiguração do setor eólico internacional, alterando os eixos de crescimento produtivo da economia global. O dinamismo no investimento, na produção e no consumo se realocou nos países emergentes. Esse redirecionamento do capital favoreceu mercados emergentes, como o de energia eólica na China. Em 2010, a China concentrou quase metade dos investimentos mundiais em capacidade adicional, ultrapassou os EUA em capacidade total instalada e alcançou a liderança global tanto em capacidade instalada quanto em fabricação de aerogeradores.

Podemos afirmar que o caso chinês é extremamente bem sucedido. Em menos de uma década, o país passou por um forte processo de endogeneização da tecnologia e se tornou importante produtor de equipamentos eólicos, além de alcançar liderança na capacidade instalada de energia eólica. A liderança é fruto de uma política sistêmica de incentivo, que contou com uma vasta gama de instrumentos, desde subsídios para empreendedores como disponibilidade de financiamento e tarifas prêmio, assim como a constituição de empresas estatais e requerimento de formação de *joint-ventures*. Política tarifária, industrial, de tecnologia foram atualizadas constantemente de acordo com o nível de desenvolvimento da tecnologia e capacidade produtiva nacional do setor de forma coesa. Como apontado por Podcameni (2014), “a experiência chinesa revela uma reforma estrutural apoiada numa ampla gama de instrumentos onde os diferentes contextos, sistemas cognitivos e formas de articulação, cooperação e de aprendizado interativo entre agentes foram incorporados às políticas”. O boom do setor eólico chinês também está atrelado à crise de 2008, que enfraqueceu os mercados tradicionais de energia eólica e favoreceu a expansão dos mercados emergentes, como a China e o Brasil, como apontado. Para Mazzucato (2013), o diferencial do cenário chinês é um sistema de financiamento público que não abandona as empresas chinesas do setor de aerogeradores, apesar delas enfrentarem as mesmas condições do mercado global.

Vale lembrar que o esforço adotado para as fontes eólicas não é apenas uma política setorial. O desenvolvimento deste setor está atrelado a uma estratégia de desenvolvimento mais ampla, estabelecido nos anos 1990, que tinha como meta alcançar a liderança nas principais tecnologias ambientais (PODCAMENI, 2014).

3.3 O Sistema Nacional de Inovação em turbinas eólicas brasileiro

Esta seção está estruturada em cinco subseções. Primeiramente, o contexto brasileiro para o desenvolvimento da energia eólica será apresentado. Em segundo lugar, o subsistema político e as principais políticas que afetaram o desenvolvimento tecnológico de energia eólica, seja direta ou indiretamente. Em terceiro lugar, uma observação sobre o subsistema científico e as interações entre este setor e o setor produtivo, seguido por uma seção que descreve o atual panorama do setor produtivo. Por fim, esta seção encerra com uma conclusão sobre o Sistema Nacional de Inovação de turbinas eólicas no Brasil.

O Brasil é, por vez, é destaque em energia eólica na América Latina. A produção de aerogeradores é dominada por grandes empresas transnacionais, as OEMs (Original Equipment Manufacturers). A geração de energia eólica é a que mais vem crescendo desde 2009 em capacidade instalada, com mais de 10 GW contratados para entrar em operação até 2015, quando, há dez anos atrás, havia apenas 246 MW instalados. A energia eólica tem importância crescente na segurança energética do país, tópico salientado em 2014 pela iminência de uma crise energética no Brasil devido ao nível de chuvas insuficiente. O investimento do Brasil em energias limpas, em 2014, aumentou em 93% em relação ao ano anterior, somando US\$7,6 bilhões. Desse total, US\$6,2 bilhões foram investidos apenas em eólica, ou seja, 84% do total e representando 3% do investimento global em energias limpas. Atualmente, o Brasil concentra 7,9% de sua matriz energética em fontes renováveis excluindo a hidrelétrica (eólica, solar e biomassa, entre outros).

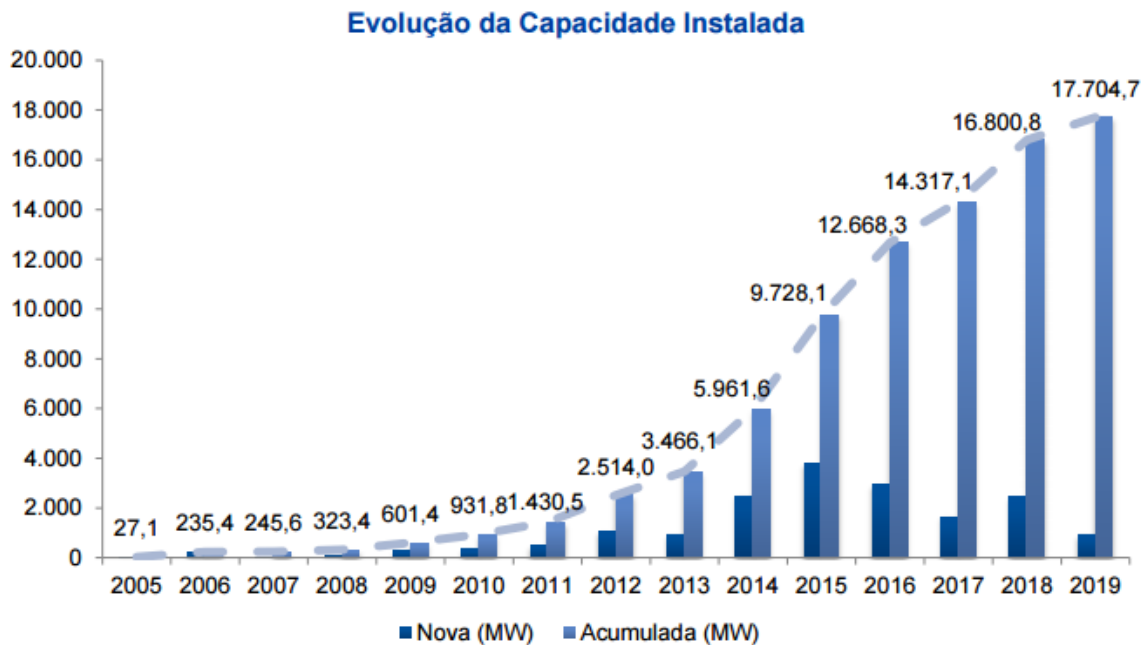
3.3.1 Contexto

A matriz energética brasileira é historicamente baseada em hidroeletricidade, uma fonte renovável, que não é considerada “verde”, devido a seu alto impacto socioambiental. Em 2001, 82% da matriz energética brasileira era de fonte hídrica. A energia eólica representa um papel importante na segurança energética brasileira, posto que o potencial hidrelétrico do país

remanescente se concentra na região Norte, onde exigências socioambientais permitem apenas a construção e hidrelétricas de capacidade reduzida (PODCAMENI, 2014). Em 2013, a fonte hidrelétrica representava quase 70% da matriz elétrica brasileira, enquanto a eólica alcançou quase 1,5%. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estima que a energia eólica será responsável por 7% da matriz energética brasileira até 2020 (CASSIOLATO et. al., 2015).

Em 2015, o Brasil alcançou a marca de 6 GW eólicos instalados, o correspondente a 4,5% na matriz energética brasileira (BRASIL ENERGIA, 2015). Considerando que em 2005 havia apenas 27,1 MW de energia eólica instalados, vê-se que nos últimos dez anos houve uma rápida expansão da capacidade instalada dessa fonte. A ABEEólica estima que em 2018 ultrapassaremos o marco de 15 GW instalados, conforme a figura abaixo.

Figura 8 – Evolução da Capacidade Instalada de energia eólica no Brasil



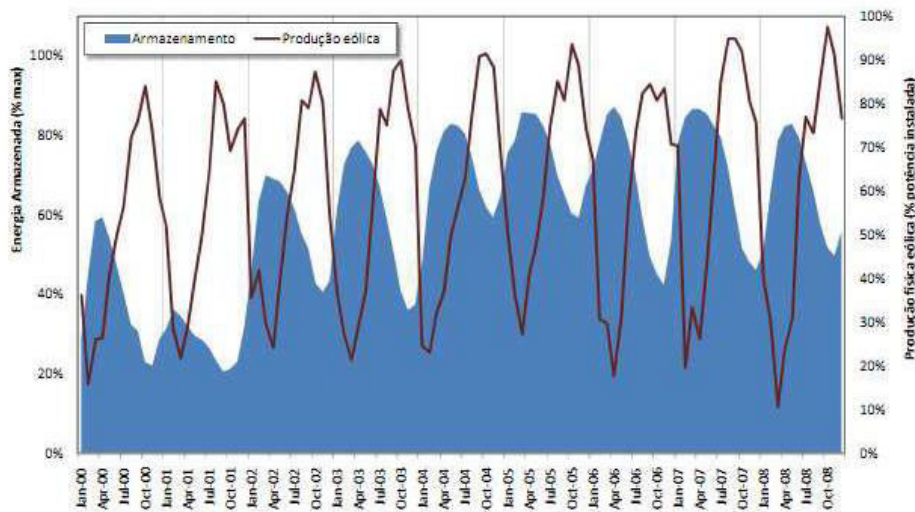
Fonte: ABEEÓLICA, 2015

O Brasil possui enormes potencialidades para contar com a energia eólica em sua matriz energética, em especial no Nordeste no País, com o regime de ventos mais bem avaliado para o aproveitamento eólico. Em 2001, Atlas do Potencial Eólico Brasileiro estimou Nordeste

concentra o maior potencial eólico do país, com 75 GW, mais de 50% do total do país. O potencial eólico nacional foi estimado superior à necessidade energética do país, de 120 GW.

Primeiramente, foi identificado um padrão de complementaridade entre os regimes de chuvas e de ventos em diversas regiões do Brasil, principalmente no Nordeste. Ou seja, períodos com menos chuvas são períodos com mais ventos. Levando em conta que a matriz energética brasileira está concentrada em usinas hidrelétricas, quando seus reservatórios estão mais vazios, consegue-se uma fonte de energia alternativa em seu poder máximo. Em diversos países, os ventos coincidem com períodos de chuva. **Esse regime de complementaridade pode ser observado na imagem abaixo:**

Figura 9 – Complementaridade entre armazenamento de energia nas hidrelétricas e geração eólica no Nordeste



Fonte: Simões apud Podcameni, 2014

Em segundo lugar, uma característica dos ventos brasileiros é o padrão com baixa variância de velocidade e direção, aumentando o aproveitamento eólico.

O Brasil vem firmando compromissos internacionais com fontes alternativas de energia. Mais recentemente, o país apresentará na COP-21 o compromisso de alcançar a participação de

28% a 33% de fontes renováveis (eletricidade e biocombustíveis) em sua matriz energética até 2030, em conjunto com os EUA.

3.3.2 Políticas Públicas

Os primeiros investimentos brasileiros em energia eólica ocorreram como uma resposta à oscilação do petróleo nos anos 1970. O governo militar empreendeu uma série de iniciativas voltadas para o desenvolvimento de capacitações científicas e tecnológicas em fontes alternativas aos combustíveis fósseis. O Centro Tecnológico da Aeronáutica chegou a criar o Centro de Energia Eólico, porém os esforços do governo militar foram reduzidos ou mesmo interrompidos com a normalização da oferta de petróleo (PODCAMENI, 2014).

Em 2001, o racionamento de energia se fez necessário devido a um longo período de secas assim como à falta de investimentos em novos reservatórios. Neste momento retoma-se o esforço governamental para diversificação das fontes de geração de energia no Brasil, que será detalhado abaixo.

Pela abordagem de Sistemas Nacionais de Inovação, compreende-se o processo de inovação como sistêmico, influenciado inúmeros fatores como a estrutura produtiva e científica, assim como por políticas tributária, educacional e mesmo a cultura. Pode-se atuar nos diferentes subsistemas por **políticas explícitas, aquelas que atuam diretamente sobre tecnologia e inovação, e implícitas, que atuam sobre os demais subsistemas.**

Serão apresentadas as principais políticas que influenciaram o desenvolvimento tecnológico de energia eólica no Brasil Primeiramente, serão abordadas as principais políticas - **implícitas para o desenvolvimento tecnológico** - para a constituição do mercado eólico no Brasil. Em segundo lugar, serão abordados os principais mecanismos de incentivo a um parque industrial nacional: **as políticas industriais, também implícitas ao desenvolvimento tecnológico.** Estas, apesar de implícitas, tiveram importante papel no desenvolvimento tecnológico. Por último, serão levantadas as principais políticas de CTI, **que apesar de explícitas ao desenvolvimento tecnológico do setor, não tiveram tanto impacto, como será demonstrado.**

a) Políticas de Estruturação de Mercado

No contexto de crise energética, foi lançado o primeiro programa de incentivo à energia eólica. Em 2001, Programa Emergencial de Energia Eólica, o Proeólica, tinha como meta a implantação de 1050 MW de potência interligada ao sistema de energia até dezembro de 2003. O programa garantia a compra da energia gerada pela Eletrobrás por pelo menos 15 anos por um valor definido pela ANEEL. O programa falhou por diversas razões. Aponta-se que o valor de compra adotado pelo programa era muito baixo, que os prazos de realizações eram muito curtos e que o Programa não tinha uma regulamentação apropriada (WACHSMANN & TOLMASQUIM apud PODCAMENI, 2014).

Com a mudança de governo, foi lançado em 2003 o PROINFA, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. O PROINFA usou em sua base uma metodologia híbrida, com o estabelecimento de tarifa-prêmio⁷, de cotas de contratação, de contratos de venda de energia de longo prazo e criação de condições favoráveis de financiamento do BNDES. O Programa teve êxito na introdução da energia eólica na matriz energética de forma sistematizada, com 54 projetos de energia eólica contratados com potência de 1423 MW (PODCAMENI, 2014). Porém, alguns autores apontam uma desconexão do programa com o contexto brasileiro: as metas do PROINFA, só foram alcançadas cinco anos depois do previsto. Os atrasos foram causados pela infraestrutura brasileira insuficiente e também pelas dificuldades financeiras que grande parte dos projetos contratados enfrentou, assim como dificuldades em cumprir as garantias exigidas pelo BNDES, consideradas muito distantes da realidade e prazo (CAMILLO, 2013; DUTRA, 2007, PODCAMENI, 2014). O PROINFA tampouco estabeleceu incentivos específicos para garantir a conexão da energia eólica ao sistema de distribuição de eletricidade.

A partir de 2004, os leilões de energia se tornaram o principal mecanismo do governo de incentivo às fontes de energia alternativas. Esse modelo, porém, não afetou diretamente a energia eólica (NOGUEIRA, 2011), pois o leilão estimula a competição via preço, dado o nível de desenvolvimento da tecnologia pouco avançado. Já o PROINFA, com a inserção da tarifa prêmio, tem como princípio a garantia uma remuneração acima do custo de geração da fonte eólica. Essa

⁷ Tarifas-prêmio é um mecanismo comum para incentivar o investimento em tecnologias de energia renovável. Tarifas-prêmio pagam ao produtor de energia um valor acima do do mercado, atreladas a um contrato de longo prazo. Ver Podcameni (2014).

disparidade levou à suspensão do PROINFA em 2007 (PODCAMENI, 2014). No mesmo ano, foi lançado o Leilão de Fontes Alternativas (LFA) com o intuito de diversificar a matriz energética brasileira, livrando as fontes alternativas de energia da concorrência com as fontes tradicionais (NOGUEIRA, 2011). Porém, dado que a energia eólica no país ainda era incipiente, o preço ainda não era baixo o suficiente nem para competir com outras fontes alternativas, como biomassa e pequenas centrais hidrelétricas. Podcameni (2014) avalia que “o uso do leilão como instrumento de inserção da energia eólica na matriz energética em 2007 foi uma opção incoerente com o contexto desta fonte de energia no Brasil e no mundo” (p. 148).

Em 2009, foi realizado o primeiro leilão exclusivo para a fonte eólica, que foi extremamente bem sucedido, com o contrato de 71 empreendimentos e 1806 MW de potência. Em 2010, a energia eólica voltou a concorrer com demais fontes de energia alternativa. O leilão deste ano teve um resultado surpreendente: a energia eólica foi a fonte energética com o maior volume de contratação e menor preço. Observa-se a partir de 2009 que a fonte eólica passou a ser inserida na matriz energética brasileira em volumes significativos e com quedas progressivas de preço médio até 2012. Essa alteração a partir de 2009 pode ser explicada por diversos motivos (PODCAMENI, 2014). A alteração da conjuntura global com a crise de 2008 afetou a estratégia dos fornecedores globais de aerogeradores, que deslocaram sua atenção dos mercados tradicionais devido à queda na demanda de energia, para os países emergentes, menos afetados pela crise. A crise internacional também influenciou o nível de preços: com o acúmulo de estoque de equipamentos, o preço foi puxado para baixo, caindo 15% no caso das turbinas (GWEC, 2012 ABEEÓLICA, 2011). Dentre os fatores nacionais, o financiamento subsidiado pelo BNDES num cenário internacional de escassez de capital aumentou a atratividade do Brasil. Paralelamente, este período teve uma baixa do dólar frente ao real, barateando a importação dos equipamentos ainda mais (NOGUEIRA, 2011).

Podcameni (2014) reconhece que o mercado brasileiro de energia eólica foi impulsionado por uma janela de oportunidade. Em 2010 o Brasil foi eleito o nono melhor país do mundo para receber investimentos eólicos e, em 2011, alcançou um dos níveis mais baratos de energia eólica do mundo (SIMAS, 2013). O sucesso da expansão da fonte eólica está mais associado a fatores conjunturais do que aos resultados da política implementada. Uma importante limitação da política é a falta de planejamento e articulação entre a geração e a transmissão

b) Políticas Industriais Específicas

O Brasil, como muitos países *latecomers*, usou como política de desenvolvimento de capacidade interna de produção de aerogeradores e seus componentes a atração de investimento direto estrangeiro (IDE). Linhas de crédito específicas para empreendimentos eólicos com condições favoráveis foram um fator importante para a atração de IDE. Aliado à linha de financiamento preferencial, a metodologia contava também com um índice mínimo de nacionalização como primeiro passo para o desenvolvimento tecnológico local. O PROINFA já estabeleceu um índice de nacionalização mínimo de 60%. Porém, só havia um fabricante de turbinas eólicas no Brasil. Essa oferta reduzida de equipamentos nacionais significou um atraso no cronograma do programa e a exigência de conteúdo local mínimo foi abandonada, possibilitando a importação de componentes de aerogeradores. A política de desenvolvimento industrial do setor se subordinou às necessidades do setor energético (Podcameni, 2014). Após um período sem política industrial voltada para o setor, em 2009, com os primeiros leilões, os empreendimentos eólicos vencedores com um IN mínimo tinham acesso a linhas de crédito preferenciais, porém foi uma política tímida.

A partir de 2010, algumas OEMs como Gamesa e Alstom começaram a instalar subsidiárias no Brasil, motivadas pela existência de financiamento do BNDES e a perspectiva de crescimento do mercado eólico. Ou seja, perante a mudança no contexto global e nacional, a política industrial se tornou eficiente. Podcameni (2014) demonstra que todas as OEMs que se instalaram no Brasil pós-2010 concordam que “a linha de financiamento do BNDES não teria forças suficientes para estimular investimentos se não fosse o aumento da demanda nacional por equipamentos eólicos fruto da expansão da participação da geração eólica nos leilões” (p. 155). Porém, a regra de conteúdo local era baseada em peso e valor agregado dos componentes. Essa regra criou um incentivo que não representaria ganhos tecnológicos para o país, uma vez que as OEMs poderiam preencher os requisitos para o financiamento nacionalizando componentes já produzidos nacionalmente, como torres e pás, de baixa intensidade tecnológica e baixo valor agregado.

Em 2012, o BNDES alterou as regras do índice de nacionalização associado ao financiamento de parques eólicos, ciente da limitação da metodologia anterior. Essa nova metodologia prevê uma ampliação progressiva da quantidade de componentes nacionais nos

equipamentos num cronograma previamente estabelecido, e incluía critérios de nacionalização de itens de maior complexidade tecnológica de forma mais rígida. É justamente essa alteração na metodologia de cálculo do índice de nacionalização que teve o maior impacto nas estratégias produtivas e de inovação das OEMs presentes no Brasil, desencadeando no desenvolvimento de uma rede de fornecedores nacionais de componentes de maior intensidade tecnológica (Podcameni, 2014).

O sucesso destes instrumentos a partir de 2010 se deve à mudança do contexto internacional. Com a crise afetando gravemente os países desenvolvidos, as OEMs buscaram mercados alternativos para suas operações, e com linhas de crédito disponíveis num cenário de capital escasso, o Brasil se tornou atraente para IDE. Assim, o País foi capaz de construir uma indústria local de turbinas através da exigência do IN das subsidiárias de produtores globais de aerogeradores, porém não essa estratégia não trouxe consigo um aumento de capacidade tecnológica nacional. Com a alteração de 2012, rompeu-se a tendência de especialização em componentes de baixa intensidade tecnológica, impactando positivamente a cadeia de fornecedores e aproximando a política industrial aos processos de capacitação tecnológica local (Podcameni, 2014).

c) Políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação

Em geral, políticas de CTI começaram a ganhar força no Brasil após o ajuste macroeconômico da década de 90. De maneira geral, foram tomadas diversas medidas para fortalecer a política de CTI brasileira, como a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) de 2004, a Lei da Inovação de 2004, a Lei do Bem de 2005 e a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) em 2008 (Podcameni, 2014)

Especificamente ao setor de energia, alguns programas tiveram êxito em fomentar os processos de inovação. O mais importante foi o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor de Energia Elétrica, em 2000, que obrigava uma aplicação mínima por parte das empresas de distribuição, transmissão e geração de energia no programa. O investimento desses recursos cabe à ANEEL. Outro programa importante para o desenvolvimento tecnológico do setor foi programa de Subvenção Econômica à Inovação Nacional. Este apoiava o desenvolvimento de produtos, processos e serviços inovadores por empresas brasileiras, visando o desenvolvimento

de áreas consideradas estratégicas pelo governo federal (FINEP, 2010). Entre 2006 e 2010 foram lançados cinco editais, todos incluindo o setor energético. Porém apenas o edital de 2009 incluiu a energia eólica como prioritária, ou seja, quando a energia eólica já tinha alcançado certa competitividade no mercado. Podcameni (2014) observa que a política de subvenção econômica não teve o papel de anteceder o desenvolvimento do mercado, como geralmente é colocada. A energia eólica foi retirada do edital de 2010, contraditoriamente, apontando uma desconexão com a conjuntura brasileira, dado que o sucesso dos leilões de 2009 indicaram uma expansão da energia eólica na matriz energética brasileira. Outro fator apontado pela autora é a desconexão dos projetos escolhidos pelo programa de Subvenção Econômica. O Programa apoiou, dentre os projetos de energia eólica, um terço de projetos de aerogeradores de pequeno porte, desalinhado com o sucesso dos leilões de energia eólica de 2009. Por último, a autora aponta como a maior parte dos recursos foi destinada às regiões Sul e Sudeste, quando a região com maior potencial eólico do país é o Nordeste. Isso pode ser visto como uma fraqueza, pois a logística do setor eólico exige fábricas de equipamentos eólicos próximas aos parques devido ao porte das pás e torres.

Os fundos setoriais, criados a partir de 1999 até 2009 tinham o intuito de promover a inovação em áreas estratégicas. A condição de financiamento era o envolvimento, necessariamente, de empresas e instituições científicas e tecnológicas. A única seleção que tinha como objetivo central as fontes de energias renováveis e as fontes eólica e solar como prioritárias foi a do ano de 2006. Dos 15 projetos em energia eólica, 10 eram voltados para aerogeradores de pequeno porte, 1 para aerogeradores de grande porte, 2 para controle e conexão de rede e 2 para o desenvolvimento de parametrização e modelagem de sistemas fluviais e eólicos. Ou seja, as interações provocadas pelos fundos setoriais voltaram-se basicamente para o segmento de fabricantes de aerogeradores de pequeno porte, fabricantes de dispositivos de controle e grupos de pesquisa do setor elétrico (PODCAMENI, 2014). Novamente, é possível observar um descompasso entre as políticas científica e tecnológica e demais políticas. “A falta de uma visão sistêmica que coordenasse as políticas de estruturação de mercado e as tecnológicas e direcionasse os instrumentos de política aos gargalos” do país se mostram evidentes, como afirma Podcameni (2014).

A experiência brasileira mostra, portanto, uma desarticulação entre as políticas de industrialização e de ciência e tecnologia, descontínuas. A estratégia de CTI não acompanhou a estratégia produtiva das OEMs nem os objetivos da política de estruturação de mercado, e os projetos financiados não coincidiam com os desafios da indústria eólica nacional (PODCAMENI, 2014). O crescimento do setor eólico no Brasil recentemente se deve à mudança no cenário internacional com a instalação de subsidiárias de transnacionais. A indústria local de turbinas formada no país não contou com nenhum instrumento que promovesse um processo de transferência de tecnologia de êxito.

3.3.3 Estrutura Científica e Interações

Como mencionado no primeiro capítulo, a inovação - assim como seu processo - é sistêmica, e depende de mais itens além das políticas públicas ou do estoque de P&D. Podcameni (2014) desenha o Sistema brasileiro de Inovação em seu trabalho, levantando as empresas, as instituições científicas e políticas do Estado, assim como suas interações.

Em relação à estrutura científica, a autora identifica a existência de 387 linhas de pesquisa que estudam energia eólica diretamente ou que estudam uma base tecnológica aplicável em eólica. Destas, 128 linhas de pesquisa são de desenvolvimento de tecnologias para turbinas eólicas. Estas são em grande parte grupos de pesquisa de média e alta intensidade tecnológica e desenvolvem tecnologias consideradas de ponta (Podcameni, 2014). Porém, a autora aponta em sua pesquisa uma falta de interação entre as empresas da cadeia produtiva de turbinas eólicas e a produção científica, apesar da capacitação científica acumulada⁸. Outro setor de pesquisa que conta com um alto número de núcleos é o de conexão à rede. As empresas deste setor apresentaram maior interação com os grupos de pesquisa segundo a autora.

Um exemplo de iniciativa isolada de troca de conhecimento foi a criação do Núcleo de Estruturas Leves (LEL) no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), vinculado à Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado de São Paulo, que, no caso de energia eólica, procura parceiros para desenvolver a fabricação de turbinas

⁸ Apenas uma empresa atuante no Brasil identificou ter interações com universidades locais, a Impsa com a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). A Tecsis, do segmento de pás, também interage com universidades (PODCAMENI, 2014).

em fibras de carbono. A evolução da estrutura científica e tecnológica não ocorreu de forma integrada com a estrutura produtiva.

Em seu trabalho de 2014, a autora aponta a inexistência de troca de conhecimento no setor de energia eólica. Primeiramente, a maior parte das empresas possui seu centro de P&D em suas matrizes, fora do país, e não tem interesse em construção de conhecimento no Brasil. Os projetos de aerogeradores possuem um desenho genérico e as inovações feitas no Brasil são apenas de adaptação do modelo desenhado na matriz para a realidade brasileira, como por exemplo, maior resistência à salinização. Diferentemente dos grupos das empresas fabricantes de equipamentos eólicos, as empresas do setor elétrico apresentaram maior nível de interação com os grupos de pesquisa de conexão à rede.

Esse cenário recebeu mais uma iniciativa no final de 2014. A ABEEólica lançou um portal que funcionará para incentivar a inovação, a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias para o segmento. Dentre as instituições que já têm convênio firmado para a criação dessa rede estão o Instituto Alberto Luiz Coimbra (Coppe-UFRJ), a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), o Laboratório de Aplicações de Eletrônica de Potência e Integração a Sistemas de Energia (Lapis) e o Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia (Cerne), e a PUC-Rio. Em um primeiro momento a ABEEólica vai facilitar a firmação de acordos de cooperação com centros de pesquisa e empresas do ramo. Vale ressaltar que apenas criar uma rede oficial de troca de conhecimentos não é suficiente para criar um sistema nacional de inovação de êxito.

Outra perspectiva positiva é o estudo encomendado pelo Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE), ligado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, para a construção de um centro de pesquisa ligada à geração de energia eólica no País. O centro de pesquisa tem como objetivo o teste de equipamentos, inclusive para o desenvolvimento de componentes para um aerogerador de 5 MW e pretende aproximar a indústria de centros de pesquisa. Na visão do Ministério, este “é um projeto estruturante vital para o desenvolvimento da cadeia produtiva local” (BRASIL ENERGIA, 2015).

3.3.4 Panorama Atual da Estrutura Produtiva

O mercado de energia eólica brasileiro é marcado por um único comprador, o Estado, através de leilões. A produção de aerogeradores no Brasil está concentrada na mão de grandes OEMs (*Original Equipment Manufacturers*), em sua grande maioria subsidiárias de empresas transnacionais, como a GE, Wobben, Alstom, Gamesa, Acciona, Vestas e Siemens, as fabricantes de pás Wobben, Tecsis, Aeris e LM; e algumas fabricantes de torres como Inneo Energia. e outras brasileiras. Abaixo, o quadro apresenta as fornecedoras de aerogeradores, torres e pás, assim como a data de início de operação e a origem de matriz:

Quadro 3- Principais Produtores de Equipamentos Eólicos no Brasil

Principais Produtores de Equipamentos Eólicos no Brasil em 2013	Empresa	Ano de Início de Operação no Brasil	Matriz
Produtores de Aerogeradores	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
	Aeris	2013	Brasil
	Tecsis	1995	Brasil

Produtores de pás eólicas	Wobben/Enercon	2002	Alemanha
	LM	2013	Dinamarca
Produtores de Torres ⁹	Wobben/Enercon	2011	Alemanha
	Inneo Torres	2011	Espanha
	Engebasa	2009	Brasil
	Piratinga Máquinas	2010	Brasil
	Tecnomaq	2006	Brasil
	Intecnial	2008	Brasil
	RM Eólica	2010	Brasil

Fonte: Podcameni, 2014

Podcameni (2014) categoriza as OEMs presentes no Brasil em três de acordo com suas estratégias de produção e inovação. No primeiro bloco encontram-se subsidiárias de empresas transnacionais, como GE, Wobben e Siemens. Estas atuam em diversos países e têm como mercado mais importante os EUA e a Europa. Elas tem um papel dominante no sistema de produção de equipamentos eólicos no País. Estas costumam não ter interações com universidades e institutos de pesquisas locais e tampouco desenvolver esforços de inovação localmente, estas atividades são desenvolvidas em sua matriz e o produto é apenas adaptado para a realidade brasileira. O Brasil, apesar da demanda crescente, é secundário em suas estratégias. No segundo bloco temos a argentina Impsa, que tem no Brasil o mercado mais relevante para seu segmento de eólica. O terceiro grupo é composto apenas pela brasileira WEG, que atua unicamente no Brasil e aqui concentra seus esforços. Tanto a Impsa quanto a WEG desenvolvem esforços inovativos no Brasil e demonstraram interesse em desenvolver um aerogerador desenhado para as características locais.

⁹ Apenas uma seleção das principais empresas.

É importante também a diferença de estratégia entre as fabricantes de pás. A Wobben e a LM produzem pás modelos e o cliente escolhe a mais adequada, enquanto algumas pequenas adaptações são permitidas. Já a Aeris e a Tecsis produzem pás apenas sob encomenda, de acordo com as especificações do aerogerador. O setor de pás possui elevadas barreiras à entrada devido à sofisticação do design. O setor de torres, intensivo em recursos naturais e com baixa intensidade tecnológica, é composto majoritariamente por empresas brasileiras integradas às fabricantes de aerogeradores (PODCAMENI, 2014).

A maior parte de aerogeradores - que concentra maior intensidade tecnológica - é, na verdade, desenvolvido em outra localidade. Cassiolato e Lastres (2005) argumentam que, contudo, o uso de tecnologias desenvolvidas externamente não é suficiente para **promover a endogeneização do progresso técnico** e conduzir um país ao desenvolvimento. Para uma inovação repercutir sobre a economia é necessário que um País tenha conhecimento interno suficiente para interpretar, utilizar, copiar e internalizar essa tecnologia. **Neste exemplo, temos no Brasil turbinas eólicas que aguentam 40°C negativos, ou seja, inadequadas à realidade local (PODCAMENI, 2014)**

De acordo com a ABEEólica, o setor de energia eólica cresceu 1300%¹⁰ no ano de 2013. As empresas **transnacionais** presentes no Brasil exportam aerogeradores para alguns países da América Latina. Contudo, sem uma política de apoio à exportação, o preço das turbinas eólicas chinesas destaca-se como extremamente competitivo, ocupando este espaço tanto mundialmente quanto na América Latina.

3.3.5 Conclusão

A partir desta leitura sobre Sistema Nacional de Inovação do setor de energia eólica, observa-se potencialidades e fraquezas.

Em relação às políticas de mercado, Podcameni (2014) avalia que estas foram instituídas de forma desarticulada, dado que tanto o PROINFA quanto os contratos de energia eólica via

¹⁰ Entrevista ao Estadão, acessado em 01/07/2015:
<http://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,brasil-e-o-setimo-maior-investidor-em-energia-renovavel-diz-estudo,1661745>

leilão tiveram dificuldades de serem implementados, em seu contexto nacional. Os leilões só passaram a ter sucesso com a alteração do cenário global em 2008.

Quanto às políticas industriais, pode-se apenas considerar a adoção de um índice de nacionalização e as linhas preferenciais de financiamento aos parques eólicos, o que mostra uma limitação ao apoio do desenvolvimento da estrutura produtiva. **O índice de nacionalização, contudo, em sua antiga formulação, levaria uma especialização da cadeia produtiva brasileira em componentes de baixa intensidade tecnológica.** A alteração na metodologia de cálculo do índice de nacionalização para o setor eólico do BNDES estimulou o desenvolvimento da cadeia produtiva nacional de aerogeradores e, conseqüentemente, processos produtivos novos para as firmas e para o País, assim como foi capaz de reverter uma tendência de especialização da produção nacional em equipamentos de menor intensidade tecnológica (CASSIOLATO et al, 2015). A nova metodologia demonstra também um processo de aprendizagem institucional no BNDES, que identificou a mudança do cenário global assim como as especificidades do setor. Podcameni (2014) identifica as principais mudanças provocadas pela mudança de regra do BNDES para o financiamento de empreendimentos de energia eólica: i) eliminação gradativa das diferenças entre as estruturas industriais dos diferentes 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 os de alto valor agregado e conteúdo tecnológico; iv) geração de empregos qualificados, direta ou indiretamente. Essas duas medidas são, contudo, consideradas como pontuais.

Os programas de CTI mostram que o processo de inovação ainda é percebido como linear, ou seja, um investimento em P&D leva necessariamente a inovações. Os programas de CTI tendem a focar no lado da oferta, com financiamentos e investimentos em atividades de P&D das empresas e de infraestrutura, além de serem desconectados com as demais políticas para o setor, como mencionado anteriormente. Outro fator é que as políticas de CTI não acompanham o desenvolvimento tecnológico no setor, apoiando segmentos pouco relevantes do ponto de vista de evolução da estrutura produtiva do setor. Os resultados almejados pela política de CTI podem não ser alcançados devido às políticas cambial, tributária, fiscal e educacional brasileiras. Outro fator importante destacado por Podcameni (2014) é que os programas de CTI pouco impactaram as estratégias de inovação das fabricantes de equipamentos atuantes no Brasil.

Conforme mencionado no primeiro capítulo, as relações de interação ao longo de uma cadeia produtiva favorecem o desenvolvimento de inovações. Na ausência de interações ao longo da cadeia, as inovações tendem a se restringir às empresas e são, em geral, de redução de custo. Como as empresas de aerogeradores presentes no Brasil são em sua grande parte subsidiárias de empresas multinacionais, seus esforços de inovação e pesquisa não se concentram no Brasil. As empresas que veem o Brasil como mercado principal mostraram maior nível de interação com outras instituições ao longo da cadeia produtiva. Podcameni (2014) percebe como fundamental estabelecer um apoio estatal às empresas de aerogeradores nacionais como forma de incentivar um ciclo virtuoso de investimento no setor.

No entanto, há sinais recentes de uma tentativa de articulação dos setores envolvidos na cadeia produtiva de aerogeradores eólicos. Além do mais, com os recentes compromissos¹¹ ambientais assinados, o governo demonstra estar criando mercado para fontes renováveis de geração de energia elétrica. Esses esforços, contudo, não são suficientes se não houver paralelamente uma articulação das políticas do Estado, um investimento na infraestrutura para distribuição, assim como uma postura empreendedora.

3.4 Conclusão BRASIL vs CHINA

De acordo com a abordagem de sistema de inovação, conforme o primeiro capítulo, a inovação é vista como um processo não linear, cumulativo, territorialmente específico e conformado institucionalmente. Ou seja, cada país tem o seu próprio sistema de inovação, definido por um arcabouço institucional próprio e um sistema produtivo específico. A abordagem também considera que o desempenho inovativo depende não apenas do desempenho de empresas e organizações de ensino e pesquisa, mas também de como esses elementos do sistema interagem entre si com ou outros atores da economia. Incorpora-se também nesta leitura como as políticas afetam o desenvolvimento dos sistemas. Como consequência, não necessariamente a trajetória perseguida e as políticas desenhadas por um país são ótimas para outro.

O Brasil, apesar de investir em fontes de energia alternativas antes da China, perdeu a janela de oportunidade, segundo Camillo (2013) e Podcameni (2014). O planejamento estratégico do Estado chinês para a economia do país, calcado no desenvolvimento tecnológico e voltado para

¹¹ Comunicado em conjunto de Dilma Rousseff e Barack Obama em 30 de junho de 2015.

o mercado local, inclui um ganho de independência de combustíveis fósseis, e com isso viu na energia eólica e solar uma alternativa viável. A China aparece como líder no investimento em tecnologias verdes e no desenvolvimento de infraestrutura necessária para a transição a um paradigma sustentável, com um pacote de estímulo fiscal de US\$221 bilhões, usado principalmente na busca de um setor energético mais sustentável. **A China apostou na atração de Investimento Externo Direto, usando o tamanho do seu mercado consumidor como atrativo e ao mesmo tempo submetendo as empresas estrangeiras aos interesses locais. As empresas transnacionais se submeteram às regras chinesas e foram reguladas. Sua atuação no mercado chinês exigia a formação de parcerias com empresas locais e a transferência de tecnologia, assim como o desenvolvimento de produtos específicos para as necessidades chinesas. O Estado chinês teve um papel fundamental no direcionamento dos esforços voltados para a transformação produtiva, desenvolvendo capacitações inovativas e produtivas e articulando todas as suas ferramentas de política de forma coesa, a garantir proteção à indústria incipiente no país e a garantir transferência de tecnologia para o país. Isso demonstra uma visão sistêmica em relação ao processo de inovação. Atualmente, as empresas chinesas possuem importante colocação no mercado internacional assim como detém tecnologia e patentes.**

Já o caso brasileiro, apesar do enorme potencial para a energia eólica, como o conhecimento baseado em aeronáutica e não em naval, e os ventos ótimos **mostra uma ausência de coordenação de políticas, tanto industriais como tecnológicas. A primeira estratégia de desenvolvimento do setor é de atração de IDE e com a obrigação de um índice de nacionalização, apesar de não haver uma estrutura produtiva que pudesse atender essa demanda. No ano seguinte ao leilão de sucesso para energia eólica, o apoio financeiro é retirado. Quando há uma alteração no cenário internacional, o financiamento a projetos eólicos é retirado. Os financiamentos para P&D são voltados para pequenos aerogeradores, quando o mercado mostrava expansão dos grandes aerogeradores. Podcameni (2014) mostra interações entre os setores acadêmico, privado e público pouco desenvolvidas, ou seja não há uma rede consolidada. Há uma perspectiva de que esse cenário evolua, com a criação para a Rede de Inovação em Energia Eólica da ABEEólica e o parque industrial estudado pelo CGEE e o Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação. Mesmo assim, o sistema produtivo é dominado por empresas que não têm no Brasil seu mercado principal, e, portanto, não concentram no País seus esforços de inovação e nem almejam desenvolver produtos de acordo com as especificidades do cenário brasileiro. A atração de IDE**

sem uma contrapartida de transferência de tecnologia, com horizontes de 20 anos de contrato não promoveu uma endogeneização da tecnologia. Os esforços de desenvolvimento tecnológico do setor eólico são subjugados às políticas de energia.

Observa-se, portanto, uma grande diferença entre as estratégias de desenvolvimento tecnológico nos dois países, a China apresentando uma articulação política e uma visão sistêmica sobre desenvolvimento tecnológico, usando as especificidades locais como indutoras de inovação, enquanto o Brasil mostra esforços deslocados e descoordenados, se limitando a importar a adaptar inovações. Essa falta de articulação entre os subsistemas não é exclusiva ao setor de aerogeradores, e se replica em diversos setores da economia brasileira, de acordo diversos autores, como Szapiro (2005), Cassiolato *et al.* (2015) e Rapini (2010).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar o desenvolvimento produtivo e tecnológico e os processos de inovação relacionados à energia eólica no Brasil nem um contexto de mudança de paradigma tecnológico a partir do referencial teórico neo-schumpeteriano de Sistema Nacional de Inovação. A análise buscou considerar o alinhamento entre as políticas que impactaram o desenvolvimento do setor eólico brasileiro e os demais elementos que compõe o sistema nacional de inovação do setor, assim como o esforço do Estado brasileiro em abrir caminhos para uma nova direção tecnológica.

No primeiro capítulo, marca-se o referencial teórico de Sistemas Nacionais de Inovação, delineando-se como a inovação vem sido compreendida pelos economistas que se concentraram no estudo da relação entre inovação e desenvolvimento econômico, de que forma este processo era realizado e os seus mecanismos de funcionamento. Atualmente, trabalha-se com a visão de que a inovação - ou o processo inovativo - é um processo sistêmico e que envolve a interação entre os atores envolvidos no processo. A corrente evolucionista defende que, dadas as possibilidades do Estado de financiar investimentos de longo prazo com alto grau de incerteza associado, ele é capaz de criar novos mercados, de usar o seu poder de compra em favor de determinada estratégia de desenvolvimento, e, portanto, possui papel de destaque em relação à inovação.

No segundo capítulo, é estabelecida a necessidade de uma transição de paradigma tecnológico devido à iminência de uma crise ambiental de escala global, sem reversão. A emergência de uma nova trajetória tecnológica calcada na sustentabilidade social e ambiental apresenta seus desafios, e, mais uma vez, a presença do Estado se faz necessária no processo de viabilizar o desenvolvimento de formas menos nocivas ao meio ambiente. Dentre as tecnologias para o desenvolvimento sustentável, destacam-se as de produção de energia mais limpas, como a eólica, que será utilizada como estudo de caso.

O terceiro capítulo apresenta uma descrição e das estratégias e dos principais instrumentos que os governos chinês e brasileiro utilizaram para apoiar o desenvolvimento da indústria eólica em seus países. Conclui-se que a experiência virtuosa, alcançada pela China, está associada a um Estado que utiliza de forma coordenada grande variedade de políticas, como

educacional, tributária, de CTI e fiscal, e que as submete a constantes revisões, de acordo com o nível de desenvolvimento tecnológico do país, ou seja, ligado com o contexto sócio institucional do país. A visão do Estado chinês não está restrita ao setor, e sim a uma missão nacional de desenvolvimento tecnológico sustentável. *A China, atualmente, é percebida como um símbolo de liderança e estratégia do Estado no esforço de transição tecnológica.*

O caso brasileiro observa um desenvolvimento do mercado eólico lento até 2009, quando as OEMs viraram suas atenções para mercados não tradicionais devido à queda de rendimento nos seus mercados originais por causa da crise internacional de 2008. O mercado brasileiro, dominado por subsidiárias que concentram seus esforços inovativos em suas sedes, não gera conhecimento interno suficiente para que a tecnologia seja interpretada, utilizada, copiada e internalizada para que as inovações tenham efeitos amplos sobre a economia nacional, conduzindo-a para o desenvolvimento. O SNI de energia eólica brasileiro é caracterizado como frágil em função da desarticulação e fragmentação das instituições políticas, científicas e produtivas, apesar de ter potencialidades reconhecidas associadas ao sistema.

Em relação à mudança de paradigma produtivo e tecnológico, a tendência de potências globais investirem no desenvolvimento de tecnologias relacionadas à sustentabilidade pode sugerir o surgimento de um novo paradigma produtivo. Contudo, deve-se levar em conta que a maior parte dos avanços tecnológicos a caminho de uma “economia verde”, possíveis evidências de uma mudança para um paradigma sustentável, é, por enquanto, motivada pelos ganhos de eficiência, adiando a exaustão dos recursos naturais finitos. Da mesma forma, a entrada de OEMs internacionais no Brasil se deu por um esforço de manter a rentabilidade num cenário de crise global. Outra limitação é que o processo produtivo dos aerogeradores de energia eólica, apesar de associada a uma imagem verde, de nenhuma emissão de gases do efeito estufa na geração de energia, ainda é intensivo em recursos naturais, mantendo-se no paradigma tecnológico não-sustentável.

Os problemas ambientais, contudo, não serão resolvidos apenas com inovações ambientais. A tecnologia deve ser vista como um fator que facilite a transição para um novo paradigma, cujas mudanças centrais estão na organização social, como pontuado no segundo capítulo. Para aproveitar o potencial do progresso tecnológico que vem se delineando rumo a uma trajetória mais sustentável, é preciso buscar outras formas de relações entre a humanidade e a

natureza, de forma mais cooperativa e solidária. Os esforços tecnológicos devem ser orientados para servir o bem público, o meio ambiente. É possível observar o surgimento em grandes centros urbanos - no mundo e no Brasil - de movimentos que defendem novas formas de consumo, como a “economia colaborativa¹²” e a “economia circular¹³”. Isso talvez demonstre o início de uma transformação social, necessária para embasar a próxima revolução tecnológica e seu paradigma.

¹²Empresas como AirBnb, Uber e a plataforma “Tem Açúcar?” são exemplos de economia colaborativa, em que o acesso a determinado serviço é mais importante do que a posse do produto.

¹³ Conceito de produção em que não há geração de resíduo em nenhuma etapa do processo de produção e de consumo, tudo é reaproveitado.

BIBLIOGRAFIA

ABEEÓLICA, Comunicado Oral, 2011.

ABEEÓLICA, **Boletim de Dados Julho/2015**, ABEEólica, 2015.

ARTHUR, W.B. **Competing technologies, increasing returns and lock-in by historical events**. Economics Journal, v.99, p.116-31, 1989.

BANCO MUNDIAL, **Cost of Pollution in China: economic estimates of physical damages**, World Bank, 2007.

BEZERRA, C., **Inovações tecnológicas e a complexidade do sistema econômico**, São Paulo: Cultura Acadêmica, 2010.

BRASIL ENERGIA, **Energia Eólica Anuário 2014/2015**, *Cenários Energia Eólica*, 2015

BTM Consult, **International Wind Energy Development: World Market Update 2010: Forecast 2011-2015**. BTM Consult ApS, 2011.

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

CASSIOLATO, J.; LASTRES, H. **Sistema de inovação e desenvolvimento: as implicações de política**. São Paulo em Perspectiva. V.19, n.1, Jan./Mar., 2005.

CASSIOLATO, J. E.; SZAPIRO, M.; MAXNUCK, E.; PODCAMENI, M. G.; HAUSSMAN, J. M., MATOS, M.; FONTAINE, P. Fronteiras tecnológicas subordinadas a estratégias nacionais de desenvolvimento: as experiências dos Estados Unidos da América, da China, do Japão e da Alemanha. *in: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Dimensões estratégicas do desenvolvimento brasileiro*, vol. 2. As fronteiras do conhecimento e da inovação: oportunidades, restrições e alternativas estratégicas para o Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. 2013

CASSIOLATO, J.; PODCAMENI, G.; SOARES, M. C.; **Sustentabilidade socioambiental em um contexto de crise**, RedeSist, UFRJ, 2015

CCM, **Market and Future Prospects of Renewable Energies in China**, CCM Review, 2015.

DOSI, G., **Technical change and economic performance**, London, Macmillan. 1984

DOSI, G., **Some notes on national systems of innovation and production and their implication for economic analysis**, in Archibugi, D., Howells, J. and Michie, J. (eds.), *Innovation policy in a global economy*, Cambridge, Cambridge University Press. 1999.

DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R.R., SILVERBERG, G. and SOETE, L., (eds.) **Technology and economic theory**, London, Pinter Publishers. 1988.

DUTRA, R. M. **Propostas de políticas específicas para energia eólica no Brasil após a primeira fase do PROINFA**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2007

- FINEP. **Relatório de Avaliação do Programa de Subvenção Econômica** - 2º Seminário - Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), 2010. – NÃO ESTA NO TEXTO
- FRANKFURT SCHOOL OF FINANCE AND MANAGEMENT/UNEP Centre, **Global Trends in Renewable Energy Investment 2015**, 2015.
- FREEMAN, C. **Innovation and long cycles of economic development**. Paper presented at the international seminar on innovation and development at the industrial sector. Campinas, 1982.
- FREEMAN, C. **The National System of Innovation in Historical Perspective**, Cambridge Journal of Economics 19, .n1, 1995.
- FREEMAN, C., **A Schumpeterian Renaissance?** Paper No. 102, SPRU, 2003.
- FREEMAN, C., **The greening of technology and models of innovation**. Technological Forecasting and Social Change, 53 (1). pp. 27-39, 1996
- FREEMAN, C.; SOETE, L. **A economia da inovação industrial**. Campinas: Editora Unicamp, 2008.
- GHOSH, S. e NANDA, R., **Venture Capital Investment in the Clean Energy Sector**, Harvard Business School Entrepreneurial Management Working Paper No. 11-020, 2010.
- IEA, International Energy Agency, **China Wind Energy Development Roadmap 2050**, 2011.
- IRENA **30 Years of policies for wind energy**. Lessons from 12 Wind Energy Markets. International Renewable Energy Agency, 2012
- KLINE, S. J. e ROSENBERG, N., **An overview of innovation**, in Landau, R. and Rosenberg, N. (eds.), *The positive sum game*, Washington D.C., National Academy Press, 1986.
- KNIGHT, F. **Risk, Uncertainty, and Profit**. Library of Economics and Liberty, 1921.
- KLEVORICK, A., *et al.* **On the sources and significance of interindustry differences in technological opportunities**. Research policy 24.2, p. 185-205, 1995.
- LEMA, R., *et al.* **Competition and cooperation between Europe and China in the wind power sector**. IDS Working Papers 2011.377, 1-45, 2011.
- LEMA, R. et al., **Low-Carbon Innovation and Development**, Globelics Thematic Review, Aalborg University Press, Aalborg, 2014.
- LEWIS, J. I., e WISER, R. H.; **Fostering a renewable energy technology industry: An international comparison of wind industry policy support mechanisms**. *Energy Policy* 35.3, 2007
- LEWIS, J.I. **Climate change and security: examining China's challenges in a warming world** *International Affairs* 85.6, 2009
- LEWIS, J. I. **Energy and climate goals of China's 12th five-year plan**. *Center for Climate and Energy Solutions*. 2011
- LI, J., PENGFEI, S. e HI, G. **China Wind Power Outlook 2010**, GWEC 2010.LI, J. et al, **China Wind Energy Outlook 2012**, GWEC 2012.
- LI, X. **Decarbonizing China's power system with wind power: the past and the future**. 2015
- LUNDEVALL, B.-Å. (ed.), **National Innovation Systems: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning**, London, Pinter Publishers, 1992.

- LUNDEVALL, B.-Å., **Post Script: Innovation System Research, Where it came from and where it might go**, National Innovation Systems: Towards a theory of innovation and interactive learning. 2. ed. London: Pinter Publishers, 2007.
- LUSTOSA, M. C. J. **Meio ambiente, inovação e competitividade na indústria brasileira: a cadeia produtiva do petróleo**. Dissertação, Tese de Doutorado, Rio de Janeiro: IE/UFRJ, 2002.
- MAHARAJH, R. Desenvolvendo sustentabilidade e a emergência de um novo paradigma científico *in: Sustentabilidade socioambiental em um contexto de crise*, CASSIOLATO, J.; PODCAMENI, G.; Soares, M. C.; (Orgs), RedeSist, UFRJ, 2015
- MARTINOT, E. e LI, J. **Renewable energy policy update for China** *Renewable Energy World* 21, 2010
- MAZZUCATO, M.; **The Entrepreneurial State**, London: Demos, 2011
- MAZZUCATO, M., **The Entrepreneurial State: Debunking public vs. private sector myths**. Vol. 1. Anthem Press, 2013
- MEADOWS, D. H., MEADOWS, D. L., RANDERS, J., & BEHRENS, W.H. (1972) **The limits to growth: report for the Club of Rome's project on the Predicament of Mankind**. New York: Potomac Associates, 1972
- MELO, L. M., **O financiamento da inovação industrial**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1994.
- NELSON, R. R. e WINTER, S. G., **An Evolutionary Theory of Economic Change**, Cambridge, Mass., The Belknap Press of Harvard University Press. 1982.
- 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.
- PEREZ, C., **Structural change and assimilation of new technologies in the economic and social systems**, *Futures*, Volume 15, Issue 5, p. 357-375, October 1983.
- PEREZ, C. **Technological revolutions and techno-economic paradigms**. *Cambridge Journal of Economics*, 2009.
- PODCAMENI, M. G. **Meio ambiente, inovação e competitividade: uma análise da indústria de transformação brasileira com ênfase no setor de combustível**. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: IE/UFRJ, 2007.
- PODCAMENI, M. G. **Sistemas de Inovação e a Energia Eólica: a experiência brasileira** Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: IE/UFRJ, 2014.
- PODCAMENI, M. G.; CASSIOLATO, J.: Ventos da Inovação *in: Sustentabilidade socioambiental em um contexto de crise*, CASSIOLATO, J.; PODCAMENI, G.; SOARES, M. C.; (Orgs), RedeSist, UFRJ, 2015
- PORTER, M. E., e VAN DER LINDE, C. **Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship**. *The journal of economic perspectives*, p. 97-118 1995.
- RAPINI, M. S. **O financiamento aos investimentos em inovação no Brasil**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

- REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, **Renewables 2015 Global Status Report**, 2015
- REVISTA BRASIL ENERGIA, nº 412, março 2015
- ROBINS, N., CLOVER, R. e SINGH, C. **More green money on the table.** *HSBC Global Research* 2009.
- ROCKSTROM, J., STEFFEN, W., PERSSON, A., CHAPIN, F.S., LAMBIN, E. F., FOLEY, J. A., **A safe operating space for humanity.** *Nature*, 461, 2009.
- ROTHWELL, R., **Factors for Success in Industrial Innovations: Project SAPPHO – Comparative Study of Success and Failure in Industrial Innovation**, Science Policy Research Unit, University of Sussex, Brighton. 1972.
- ROTHWELL, R. **Towards the fifth-generation innovation process.** *International marketing Review*. v. 11, n. 1, p. 7-31, 1994.
- SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, Socialismo e Democracia.** Rio de Janeiro: ZAHAR Editores, 1978 [1942].
- SCHUMPETER, J. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico.** São Paulo: Abril Cultural, 1982.
- SCHUMPETER, J. **Capitalism, Socialism and Democracy**, Cambridge 1994 [1942]
- SIMAS, M., e PACCA. S. **Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável** *Estudos Avançados* 27.77, 2013.
- SMITH, A. **An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations**, E Cannan ed, 5th ed, Methuen and co Ltds, 1904 [1776]
- SMITH, K..**Climate change and radical energy innovation: the policy issues.** Working Papers on Innovation Studies, 2009.
- SOARES, M. C.; CASSIOLATO, J.; Crise, sustentabilidade e mudança tecnológica *in: Sustentabilidade socioambiental em um contexto de crise*, CASSIOLATO, J.; PODCAMENI, G.; Soares, M. C.; (Orgs), RedeSist, UFRJ, 2015
- SOETE, L., e ARUNDEL, A. **An integrated approach to european innovation and technology diffusion policy** (a Maastricht memorandum). *EUR (Luxembourg)* 1983
- STERN, N. et al, **Better Growth, Better Climate report**, The New Climate Economy, 2014
- SZMRECSÁNYI, T. **A herança schumpeteriana.** In: PELAEZ, V.; SZMRECSÁNYI, T. (Orgs). *Economia da inovação tecnológica.* São Paulo: Editora Hucitec: Ordem dos economistas do Brasil, 2006.
- TAHIM, E., **Meio Ambiente, Inovação e Competitividade.** Texto para Discussão, RedeSist. 2007.
- TIGRE, P. B., *et al.* **Tecnologia e meio ambiente: oportunidades para a indústria.** Instituto de Economia Industrial-UFRJ, 1994.
- UNRUH, G. C. **Understanding carbon lock-in.** *Energy policy*, 817-830, 28.12, 2000.
- WALLACE, W., KURTZ, S. and LIN, W. **Collaboration on Renewable Energy Standards, Testing, and Certification under the US China Renewable Energy Partnership**, 2012

WANG, Q. et al, **Effective policies for renewable energy—the example of China's wind power—lessons for China's photovoltaic power** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14.2, p. 702-712, 2010.

ZHANG, S., et al. **Review of China's wind power firms internationalization: Status quo, determinants, prospects and policy implications** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* vol. 43 2015.