

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS**

**NICOLLAS BORTOLOTTO CICHELERO**

**TECNOLOGIA, ESTADO E MERCADO:  
UM ESTUDO SOBRE A ENERGIA EÓLICA NO BRASIL**

**Porto Alegre**

**2019**

**NICOLLAS BORTOLOTTO CICHELERO**

**TECNOLOGIA, ESTADO E MERCADO:  
UM ESTUDO SOBRE A ENERGIA EÓLICA NO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Economia.

Orientador(a): Dr. Glaison Augusto Guerrero

**Porto Alegre**

**2019**

### CIP - Catalogação na Publicação

Bortolotto Cichelero, Nicollas  
Tecnologia, Estado e Mercado: Um Estudo Sobre a  
Energia Eólica no Brasil / Nicollas Bortolotto  
Cichelero. -- 2019.  
86 f.  
Orientador: Glaison Augusto Guerrero.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade  
de Ciências Econômicas, Curso de Ciências Econômicas,  
Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. Energia Eólica. 2. Estratégia do Estado. 3.  
Inovação Tecnológica. 4. Competitividade. 5.  
Desenvolvimento Sustentável. I. Guerrero, Glaison  
Augusto, orient. II. Título.

**NICOLLAS BORTOLOTTO CICHELERO**

**TECNOLOGIA, ESTADO E MERCADO:  
UM ESTUDO SOBRE A ENERGIA EÓLICA NO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Economia.

Aprovada em: Porto Alegre, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2019

---

Prof. Dr. Glaison Augusto Guerrero – Orientador

UFRGS

---

Prof. Dr. Stefano Florissi

UFRGS

---

Prof. Dr. Júlio César de Oliveira

UFRGS

Aos meus pais, Estevão e Jaqueline

## **AGRADECIMENTOS**

Muitas pessoas contribuíram para a realização dessa monografia, desde a concepção do projeto até sua finalização.

Agradeço especialmente ao meu orientador Glaison Augusto Guerrero pelo suporte e motivação ao longo do trabalho. Obrigado pelas leituras e pela confiança em mim depositada, decisivas para conclusão dessa monografia.

Aos meus pais Estevão Cichelero e Jaqueline Bortolotto Cichelero e minha irmã Michelle Cichelero pelo carinho e apoio que sempre foram fundamentais em todos momentos da minha vida.

Aos meus amigos e colegas que sempre acreditaram na conclusão desse trabalho. Pela força e encorajamento nos momentos de fraqueza e pelo carinho e amizade sempre presentes na hora certa.

## RESUMO

O desenvolvimento da energia eólica no mundo mostra-se como uma das tecnologias mais importantes e promissoras para a geração de energia renovável. O presente trabalho tem como objetivo analisar a evolução da trajetória tecnológica da energia eólica, não somente pelo viés energético, mas sobretudo enfatizando a importância do Estado com agente indutor da inovação e criação da demanda. A base conceitual é a concepção neo-schumpeteriana da inovação como fator fundamental. Por compreender o processo inovativo como a interação entre os agentes, a análise se expande a um conjunto amplo de instituições e políticas que impactam no processo de acumulação de aprendizado. A evolução da trajetória tecnológica só fora possível devido a grandes projetos de incentivo a pesquisa e desenvolvimento, impulsionados pelo Estado em cooperação com agentes privados. A preocupação dos países com a redução do hiato entre combustíveis fósseis e fontes limpas para o combate ao aquecimento global também evidenciam o caráter positivo da energia eólica. Seu potencial em solo brasileiro fez com que o Estado contribuísse efetivamente para a criação e financiamento desse mercado. Como resultado do trabalho, reitera-se que, de maneira geral a estratégia de desenvolvimento de longo prazo do Estado é fundamental para a consolidação e criação de grandes avanços tecnológicos no setor eólico, sendo compatíveis com o desenvolvimento sustentável e preocupação com o avanço do efeito estufa.

Palavras-chave: Energia Eólica. Trajetória Tecnológica. Estratégia do Estado. Sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

The development of wind energy in the world is one of the most important and promising technologies for the generation of renewable energy. The present work aims to analyze the evolution of the technological path of wind energy, not only by the energy bias, but above all emphasizing the importance of the state with agent inducing innovation and creation of demand. The conceptual basis is the neo-schumpeterian conception of innovation as a fundamental factor. By understanding the innovative process as the interaction between agents, the analysis expands to a broad set of institutions and policies that impact on the process of accumulation of learning. The evolution of the technological trajectory was only possible due to large projects to stimulate research and development, driven by the state in cooperation with private agents. The concern of countries to reduce the gap between fossil fuels and clean sources to combat global warming also highlights the positive character of wind energy. Its potential in Brazilian soil has made the state contribute effectively to the creation and financing of this market. As a result of the work, it is reiterated that, in general, the long-term development strategy of the state is fundamental for the consolidation and creation of great technological advances in the wind sector, being compatible with sustainable development and concern with the advance of the greenhouse effect.

**Keywords:** Wind Energy. Technological Trajectory. State Strategy. Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclos Inovativos (1785 – 2020) .....	22
Figura 2 – Mapa do Sistema Brasileiro de Inovação .....	28
Figura 3 – Moinho de Vento Típico da Holanda .....	39
Figura 4 – Turbina Produzida por Brush nos EUA .....	40
Figura 5 – Aerogerador Jacobs Utilizado na Década de 30 .....	41
Figura 6 – Turbina Eólica Smith-Putnam .....	42
Figura 7 – Turbina Eólica de Eixo Vertical – Modelo Darrieus .....	44
Figura 8 – Cronologia da Evolução da Energia Eólica .....	45
Figura 9 – Principais Componentes do Aerogerador .....	47
Figura 10 – Evolução do Paradigma Tecnológico – Modelo Dominante .....	49
Figura 11 – Evolução do Capacidade de Geração Eólica .....	51
Figura 12 – Formação dos Ventos e Deslocamento das Massas de Ar .....	52
Figura 13 – Evoluções da Energia Eólica <i>Offshore</i> : Desafios Futuros .....	56
Figura 14 – Potencial Eólico Brasileiro Estimado .....	61
Figura 15 – Evolução Capacidade Instalada no Brasil .....	62
Figura 16 – Cadeia de Valor dos Bens e Serviços Envolto ao Setor Eólico .....	76

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação do PIB e Variação do Consumo de Energia (1998 – 2007) .....	33
Gráfico 2 – Matriz Elétrica Mundial 2016 .....	35
Gráfico 3 – Matriz Elétrica Brasileira 2017 .....	35
Gráfico 4 – Matriz Elétrica Brasileira Versus Matriz Elétrica Mundial 2016 .....	36
Gráfico 5 – Evolução Capacidade Instalada Global .....	57
Gráfico 6 – Perspectiva Global para os Próximos 5 anos .....	59
Gráfico 7 – Potência Instalada por Estado Brasileiro – fevereiro/2019 .....	63
Gráfico 8 – Número de Residências Brasileiras Abastecidas por Energia Eólica – 2018 .....	64
Gráfico 9 – Evolução da Capacidade Instalada Produtiva – Principais Montadoras .....	73
Gráfico 10 – Evolução da Capacidade Produtiva dos Principais Componentes .....	74

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Graus de Incerteza das Atividades Inovativas .....	31
Quadro 2 – Áreas de Melhoria da Tecnologia Potencial .....	54
Quadro 3 – Tópicos da Energia Eólica no Brasil .....	70
Quadro 4 – Principais Materiais para Construção do Aerogerador .....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução Capacidade Onshore .....	58
Tabela 2 – Evolução Capacidade Offshore .....	58
Tabela 3 – Estados Participantes e Respective Índices no Primeiro Leilão Eólico .....	67
Tabela 3 – Resultado do Primeiro Leilão de Energia Eólica – 2009 .....	68

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABEEÓLICA	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANPEI	Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento das Empresas Inovadoras
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CELPE	Companhia Energética de Pernambuco
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
CO2	Dióxido de Carbono
CTA	Centro de Tecnologia Aeroespacial
DS	Desenvolvimento Sustentável
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
FINAME	Agência Especial de Financiamento Industrial
GW	Gigawatt
GWEC	Global Wind Energy Council
IDE	Investimento Direto Estrangeiro
IEA	Internacional Energy Agency
IN	Índice de Nacionalização
KW	Kilowatt
m/s	Metros por Segundo
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Megawatt
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PHC	Pequenas Centrais Hidroelétricas
PIB	Produto Interno Bruto
PNP	Planos de Nacionalização Progressiva
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RBPEE	Rede Brasileira de Pesquisa em Energia Eólica
S&T	Science and Technology

SNI	Sistema Nacional de Inovação
TWh	Terawatt-hora
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>17</b>
2.1	INOVAÇÃO COMO MOTOR DA ECONOMIA .....	17
2.2	SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO.....	25
2.3	O PAPEL DO ESTADO EMPREENDEDOR .....	29
2.4	ENERGIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	32
<b>3</b>	<b>EVOLUÇÃO DO PADRÃO TECNOLÓGICO .....</b>	<b>38</b>
3.1	ENERGIA EÓLICA: CONCEITOS E HISTÓRIA .....	38
3.2	CARACTERÍSTICAS DO PADRÃO ATUAL .....	46
3.3	TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA DOS AEROGERADORES.....	47
3.4	CAPACIDADE INSTALADA NO MUNDO.....	56
<b>4</b>	<b>EVOLUÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL .....</b>	<b>61</b>
4.1	POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO.....	61
4.2	CRIAÇÃO E EVOLUÇÃO NO BRASIL.....	64
4.3	ANÁLISE DA CADEIA PRODUTIVA BRASILEIRA.....	71
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>82</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo busca apresentar um breve panorama geral do trabalho, além dos principais objetivos, objetivos secundários e a forma como a monografia fora estruturada.

Nas últimas décadas, a humanidade voltou a atenção para os impactos negativos que o meio ambiente vem sofrendo e o desafio de minimizar o avanço do aquecimento global. A energia advinda de fontes convencionais como carvão e petróleo não são renováveis, liberam quantidades enormes de CO<sub>2</sub> e poluem o planeta. Esse gás é responsável pelo processo de efeito estufa, que leva a alteração das temperaturas no mundo. Devido a essa preocupação, surgiu o interesse dos países em desenvolver suas matrizes energéticas da maneira mais sustentável possível pois a energia é um dos setores essenciais para o desenvolvimento econômico, por ser ligado a produção e bem-estar da sociedade. Partindo da questão da inovação, o desenvolvimento de novas tecnologias para o combate desse problema se faz necessário. A energia eólica, nesse quesito, ganhou notoriedade mundial e vem sendo cada vez mais utilizada, principalmente pelas boas experiências tidas nos países europeus como Dinamarca e Alemanha.

O uso mais intensivo da energia eólica só começou na década de 80, com a instalação de grandes parques eólicos. Contudo, a difusão e criação de um novo mercado tem um caráter sistêmico, que envolve riscos e elevada incerteza no processo de criação e evolução da tecnologia associada, e se faz necessária a atuação do Estado em conjunto com a iniciativa privada para desenvolver o setor. O sistema nacional de inovação é um elemento fundamental para transpor esse desafio. Cabe ao Estado organizar e estruturar ações na intenção de criar um ambiente favorável para o desenvolvimento tecnológico. A evolução de processos, materiais e potência dos aerogeradores é reflexo de grandes e voltuosos investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

No Brasil, o uso da energia eólica em grande escala é muito recente. O vasto potencial e as condições favoráveis de produção de ventos fazem com que seja interessante a disseminação dessa fonte em solo nacional, mesmo que nossa matriz já seja predominantemente sustentável. A criação do Proinfa e do sistema de leilões trouxe competitividade ao setor e a redução nos custos de geração postularam o setor eólico como um dos mais viáveis para o país.

Conjuntamente com outras fontes renováveis, a energia eólica pode suprir a demanda energética que hoje prejudica o meio ambiente. A expansão mundial das fontes verdes produz mínimas desvantagens comparadas ao grande retorno potencial que elas podem oferecer, em aspectos socioeconômicos.

Os países desenvolvidos, como alguns países europeus e os Estados Unidos, foram os pioneiros e impulsionadores da evolução da trajetória tecnológica dentro do setor eólico, com grandes investimentos públicos e políticas direcionais. Os países em desenvolvimento, com destaque ao Brasil, vêm crescendo exponencialmente na produção e geração da energia eólica. Nesse sentido, a escolha do estudo da evolução dos aerogeradores foi definida através da visualização da importância que essa fonte renovável vem ganhando ao redor do globo. O setor eólico foi o que mais se destacou na última década dentre as tecnologias verdes, e sua expansão está diretamente associada a preocupações ambientais. A crescente utilização de energias renováveis frente a queima de derivados fósseis contribuiu para uma diminuição da agressão a camada de ozônio, corroborando o impacto positivo para a diminuição do efeito estufa e aquecimento global, peça chave para a manutenção do meio ambiente e sobrevivência do ecossistema do planeta.

O trabalho tem por objetivo central analisar a evolução do paradigma e trajetória tecnológica dentro do setor eólico. O projeto busca demonstrar a importância das inovações nesse contexto, e o apoio fundamental do Estado como propulsor da demanda. Objetiva-se, paralelamente, demonstrar a criação e evolução do setor eólico dentro do espectro brasileiro, com a análise da cadeia produtiva. Também busca traçar um paralelo entre os impactos positivos ao meio ambiente assim como os desafios para a evolução desse setor.

As ideias expostas serão organizadas em 5 partes. Este primeiro capítulo introduz o assunto e contextualiza sobre a intensa busca global por fontes alternativas de geração de energia, com atenção especial às fontes renováveis, assim como apresenta a justificativa e objetivos desse projeto.

O segundo capítulo apresenta o referencial teórico que embasa a monografia. A concepção schumpeteriana e neo-schumpeteriana são os pilares da teoria inovativa, sendo fundamental para o desenvolvimento endógeno da economia. As inovações entram nesse processo e são peça-chave para o avanço do paradigma tecnológico e sua trajetória, com o apoio do Estado e seus sistemas de inovação e interação entre os agentes públicos e privados. Paralelamente, é demonstrado a importância da utilização das energias limpas frente aos impactos negativos ao meio ambiente e as definições de desenvolvimento sustentável.

O terceiro capítulo apresenta brevemente a evolução histórica da energia eólica, sua trajetória tecnológica no mundo assim como seus principais conceitos. São expostas as características do padrão atual, os principais desafios (como a evolução do mercado offshore) e os principais indicadores de crescimento da capacidade instalada, segundo dados GWEC, demonstrando a preocupação dos países em utilizar fontes de energia sustentável.

O quarto capítulo está focado na avaliação e construção do setor eólico no Brasil. São apresentados o potencial de geração de energia e sua constante evolução ao longo dos anos. A criação e apoio do Estado, criando incentivos e demanda através do Proinfa e sistema de leilões assim como linhas de financiamento pelo BNDES. Nesse capítulo também é mostrado a análise da cadeia produtiva, a concentração dos principais polos produtivos em solo nacional e as principais evoluções com base no mapeamento realizado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial.

O quinto capítulo contempla as conclusões da monografia.

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O capítulo visa apresentar a evolução do entendimento sobre o processo de inovação com base na literatura econômica. Será esmiuçada a abordagem de Joseph Schumpeter, para compreensão da dinâmica da economia, e discutida a formulação do conceito de sistema nacional de inovação e o papel fundamental do Estado como indutor desse processo. Não menos importante, serão comentados os conceitos de desenvolvimento sustentável e energias limpas.

### 2.1 INOVAÇÃO COMO MOTOR DA ECONOMIA

Com os avanços dos mercados globais e a redução das barreiras entre os países, muitas empresas são obrigadas a buscar um diferencial competitivo, uma linha tênue entre sua sobrevivência e a falência. A ampliação da competitividade e as buscas por inovações estão transformando os mercados nas quais estão situadas essas empresas. A competitividade de uma nação depende da capacidade inovadora de sua indústria, “sendo a inovação uma habilidade que se desenvolve a passos gradativos”. (HEIJS 2004 <sup>1</sup>*apud* ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 2012, p.2).

A importância da inovação ganhou notoriedade com os escritos do economista austríaco Joseph Schumpeter. Em seu livro *Teoria do Desenvolvimento Econômico*, publicado em 1912, o autor identifica a inovação como o principal mecanismo por trás do desenvolvimento econômico, atribuindo ao empresário individual o papel de ator fundamental para realização da inovação. Schumpeter conclui que apenas com a inovação é que as nações podem dar os grandes saltos de crescimento e desenvolvimento, permitindo, assim, sua diferenciação e desequilíbrio estrutural frente aos demais países.

A mudança inovativa, em grande medida, não é induzida por pressões dos consumidores, segundo suas necessidades e costumes. O produtor, empresário inovador, desempenhando o papel principal da inovação implementa novos produtos e os consumidores são ensinados por ele a criarem novos hábitos e consumirem novos produtos.

A inovação, segundo Schumpeter, é definida como a junção de novos fatores de produção, os quais são difundidos pelo empresário individual, com o auxílio do crédito bancário. “Mas é completamente eclipsado pelo fato de que o desenvolvimento consiste

---

<sup>1</sup> HEIJS, J. **Innovation capabilities and learning**: a vicious circle. *International Journal of Innovation and Learning*, v. 1, n. 3, pp. 263 – 278, 2004

primariamente em empregar recursos diferentes de uma maneira diferente, em fazer coisas novas com eles” (SCHUMPETER, 1997, p.78).

As realizações de inovações são subdivididas em 5 casos, segundo esse autor:

1) Introdução de um novo bem — ou seja, um bem com que os consumidores ainda não estiverem familiarizados — ou de uma nova qualidade de um bem. 2) Introdução de um novo método de produção, ou seja, um método que ainda não tenha sido testado pela experiência no ramo próprio da indústria de transformação, que de modo algum precisa ser baseada numa descoberta cientificamente nova, e pode consistir também em nova maneira de manejar comercialmente uma mercadoria. 3) Abertura de um novo mercado, ou seja, de um mercado em que o ramo particular da indústria de transformação do país em questão não tenha ainda entrado, quer esse mercado tenha existido antes, quer não. 4) Conquista de uma nova fonte de oferta de matérias-primas ou de bens semimanufaturados, mais uma vez independentemente do fato de que essa fonte já existia ou teve que ser criada. 5) Estabelecimento de uma nova organização de qualquer indústria, como a criação de uma posição de monopólio (por exemplo, pela trustificação) ou a fragmentação de uma posição de monopólio. (SCHUMPETER, 1997, p.76).

Portanto, o desenvolvimento econômico foi associado à criação e difusão de inovações, sendo focadas no âmbito tecnológico e institucional.

O primeiro ponto é a ideia de que quando o empresário combina de uma nova forma os fatores de produção, ou muda a organização da firma, há a ruptura do equilíbrio estacionário. Schumpeter argumenta que o sistema econômico, na ausência de inovações, se encontraria num estado estacionário, no qual prevalecem as condições de equilíbrio Walrasiano. A característica do estado Walrasiano a que se deve destaque é a forma de processo de contínua repetição das mesmas coisas, seja no consumo ou na produção, quando de um aumento populacional, por exemplo. Nesse sentido, seria reafirmada, continuamente, uma configuração do fluxo circular da renda que se repete indefinidamente em um ciclo sempre idêntico a si mesmo.

A ruptura do estado estacionário e a inicialização do processo de desenvolvimento é induzida pela introdução de novos bens, processos, nova organização e abertura de novos mercados, e sua difusão no sistema econômico.

A inovação garante à empresa que toma risco lucros extraordinários, oriundos do monopólio de determinada técnica, novo produto ou de nova fonte de matéria prima. O tema central de Schumpeter é, portanto, que a inovação é uma forma de competição, desenvolvimento e mudanças da sociedade.

O empresário schumpeteriano é o elemento central da transformação do sistema capitalista. Orientado pela necessidade de sobreviver ao processo de concorrência, ou pelo lucro extraordinário ou posições monopolistas, ele muda sua rotina de tomada de decisões e inova, abrindo novos caminhos no capitalismo, nunca antes percorridos. Por outro lado, acaba atraindo grande número de imitadores, a ponto da concorrência destes ir diminuindo e até fazer desaparecer os lucros dos frutos de suas inovações. (GUERRERO, 2013, p.31).

Esse processo de difusão cria uma corrente de novos bens e processos que promove o desenvolvimento. O ciclo se inicia “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 <sup>2</sup>apud REGO 2015 p.10). No segundo momento, a difusão da inovação, os administradores das firmas copiam a inovação que fora lançada fazendo com que novos competidores entrem no circuito e reduzindo as taxas de lucro. Após o boom desse ciclo, o mercado começa a se rearranjar e entra em recessão até o início de um novo ciclo. O capitalismo é assim caracterizado por rupturas e desequilíbrios associando o desenvolvimento à instabilidade e, portanto, acaba por assumir uma forma cíclica. Essa forma cíclica é espelho das pressões provocadas pela reorganização e desorganização das estruturas que estão sendo induzidas pela inovação. Porém, essas inovações não são distribuídas de forma uniforme no tempo, dado que o desenvolvimento schumpeteriano dá-se de forma progressiva, pois elas ocorrem de forma mais intensa em certos períodos do ciclo econômico. É com elas que novos empresários entram no jogo e inovações são lançadas.

Inovações tecnológicas tem importante função para o surgimento dos ciclos econômicos. Inovações tecnológicas radicais como causa fundamental do processo de “destruição criativa”, a essência do motor de crescimento capitalista.

Por que é que o desenvolvimento econômico [...] não avança uniformemente como cresce uma árvore, mas por assim dizer, espasmodicamente: por que apresenta ele esses altos e baixos que lhe são característicos?” (SCHUMPETER, 1997, p.210-211). A resposta do autor é curta e precisa: “porque as combinações novas não são [...] distribuídas uniformemente através do tempo [...], mas aparecem, se é que o fazem, descontinuamente, em grupos ou bandos (grifo do autor, p.211).

---

<sup>2</sup> FREEMAN, C., **A Schumpeterian Renaissance?** Paper n°. 102, SPRU, 2003

A natureza descontínua, o agrupamento e a concentração das inovações no tempo e espaço econômico constituem o cerne de sua teoria do ciclo econômico.

Novas empresas e empresários = novos ramos da indústria, lucros monopolistas, aumento da renda real e do fluxo monetário, que atrai imitadores, com a difusão das inovações vem a prosperidade econômica e a diminuição dos lucros das inovações no tempo.

Em *Capitalismo, Socialismo e Democracia* (1978), Schumpeter faz uma crítica severa ao modelo neoclássico que olha o processo de concorrência apenas através dos preços:

[...] 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).

Em geral, evoluções inovativas envolvem a resolução de problemas, seja produzindo certos componentes como a utilização de novos materiais. “Este padrão de solução de problemas tecnológicos (e a inovação como sua solução) é denominado paradigma tecnológico” (GUERRERO 2013, p.42). O conceito de Paradigma tecnológico pode ser definido por Dosi como:

*A “technological paradigm” defines contextually the needs that are meant to be fulfilled, the scientific principles utilized for the task, the material technology to be used. In other words, a technological paradigm can be defined as a “pattern” of solution of selected technoeconomic problems base on highly selected principles derived from the natural sciences, jointly with specific rules aimed to acquire new knowledge and safeguard it, whenever possible, against rapid diffusion to the competitors. (DOSI, 1988a, p.1127).*

Nesse sentido, a trajetória tecnológica implica na evolução, seleção de soluções e os materiais a serem levados em conta, além das interações com o mercado.

[...]um paradigma tecnológico é um agrupamento de inovações técnicas, organizacionais e administrativas inter-relacionadas cujas vantagens devem ser descobertas não apenas em uma nova gama de produtos e sistemas, mas sobretudo na dinâmica da estrutura dos custos relativos de todos os possíveis insumos para a produção. Em cada novo paradigma, um insumo específico ou conjunto de insumos pode ser descrito como o 'fator chave' desse paradigma caracterizado pela queda dos custos relativos e pela disponibilidade universal. (FREEMAN 1988<sup>3</sup> *apud* CASTELLS 2000, p.77).

As inovações são peça chave para o avanço do paradigma tecnológico frente a sua trajetória. Nesse cenário, existem dois tipos de inovação: radical ou incremental. A incremental:

A inovação incremental reflete as melhorias em produtos ou em linhas de produtos. Geralmente, representa avanços nos benefícios percebidos pelo consumidor e não modifica de forma expressiva a forma como o produto é consumido ou o modelo de negócio, mas traz um impacto mensurável nos negócios. (ABGI, 2018).

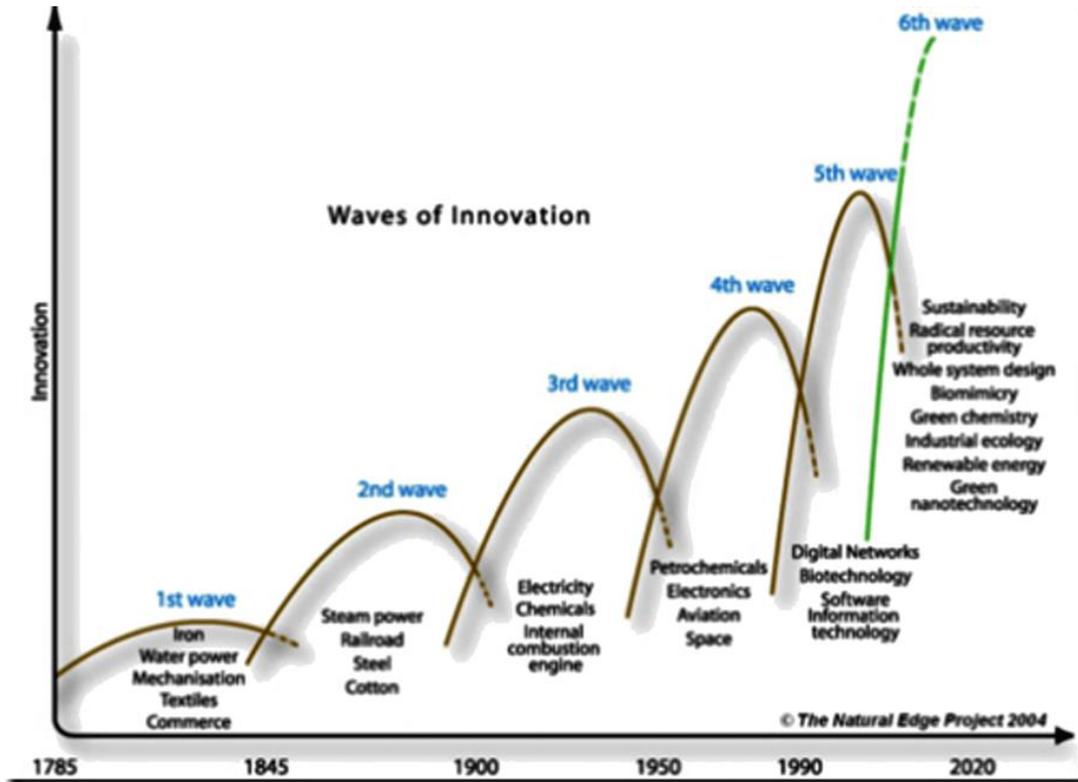
A radical: apresenta mudanças drásticas nas características de desempenho ou custo, criam mercados ou transformam mercados existentes. Esse tipo de inovação tem como característica principal a interrupção do modelo tecnológico anterior, ou destruição criativa, correlacionada com a teoria dos “ciclos de Kondratieff”<sup>4</sup>. Na figura a seguir pode-se concluir que as inovações radicais têm um período de aproximadamente 40-60 anos onde a economia sofre um ciclo de prosperidade e recesso.

---

<sup>3</sup> C. Freeman **Prefácio da parte II**. In: Dosi et al (orgs.) *Technical change and economic theory*. London: Pinter, 1988

<sup>4</sup> As ondas de inovação são defendidas por Schumpeter a partir dos escritos de Nikolai Kondratieff. Um novo ciclo surge a cada 40-60 anos, onde a economia sofre com fases de prosperidade e recesso a partir da quebra do equilíbrio econômico devido as inovações.

Figura 1 – Ciclos Inovativos (1785 – 2020)



Fonte: (PERITA,2015).

Portanto, a única forma das empresas sobreviverem nesse cenário é adaptando-se e inovando ininterruptamente na busca de vantagem competitiva. A inovação como processo de destruição criativa, num contexto de rupturas nas ciências e na tecnologia, novos ramos industriais e serviços, grandes empresas que institucionalizaram seus departamentos de P&D, mutação industrial a partir de dentro do sistema (endógeno), um processo evolucionário.

A abordagem neo-shumpeteriana, por conseguinte, defende que a inovação é foco fundamental para que haja um processo dinâmico endógeno na economia, e conseqüentemente o desenvolvimento capitalista. Essa abordagem faz contraponto à teoria convencional neoclássica, que é pautada pelo progresso técnico resultante das inovações como uma variável exógena. A teoria econômica neoclássica utiliza como alicerce de sua defesa a análise estática comparativa, atemporal e sujeita a situações hipotéticas de equilíbrio, lidando com o critério de racionalidade otimizador de todos os agentes. As teorias de *science-push* e *demand-pull* buscavam esmiuçar a dinâmica competitiva, porém não incorporaram aos modelos as interações multidisciplinares entre fatores do mercado e não mercado do processo inovativo tornando-se insuficiente para dar entendimento do sistema econômico.

Para Rosenberg, o processo de inovação deveria ser visto como sistêmico, como postulado em seu modelo “*The chain-linked Model*” onde o ciclo de feedbacks com os agentes constrói a base de conhecimento, identificando as falhas e gerando aprimoramento continuado.

As teorias evolucionárias ou neo-schumpeterianas, rejeitam o equilíbrio de mercado diante do ambiente coletivo de mudanças proporcionadas por agentes individuais. Apontam para a necessidade de desenvolver uma visão dos agentes, constituída de indivíduos e firmas distintas com características cognitivas próprias. Criticam as hipóteses de racionalidade substantiva, que predefine o comportamento dos agentes econômicos segundo o princípio da maximização. O conceito de maximização não é considerado útil, pois supõe, um perfeito conhecimento do mercado pelos agentes econômicos (VIEIRA, 2010 p.37).

O enfoque neo-schumpeteriano incorpora o aprendizado que a firma realiza, e é através dele que ocorre o processo inovativo. A difusão e seus impactos com a dinâmica industrial e abordagem multidisciplinar dos efeitos social, institucional e o cultural) e determinantes (ciência, demanda, lógicas internas dos paradigmas e trajetórias tecnológicas) são grandes diferenciais frente à escola clássica. A abordagem apresentada por Nelson e Winter (2005) se afasta das suposições tradicionais e discorre sobre um modelo evolucionista das estruturas produtivas com foco nas condições da mudança técnica com um processo de evolução, muito semelhante à teoria de Charles Darwin na qual a evolução das espécies é submetida a seleção natural do meio ambiente. Entre as características desses modelos estão:

- 1 – As firmas empreendem atividade de inovação/imitação em função do seu tamanho e da sua posição face às empresas situadas “na fronteira” (por quaisquer dadas características tecnológicas)
- 2 – As estruturas de mercado (quantidades, tamanho e concentração das empresas) são endógenas
- 3 – Para cada firma, as probabilidades de sucesso na inovação estão sequencialmente correlacionadas através do tempo, e o mesmo se dá com suas taxas de crescimento.
- 4 – As firmas bem-sucedidas podem desfrutar margens unitárias (e lucros) “acima do normal”
- 5 – A concentração constitui uma função positiva das oportunidades tecnológicas e das dificuldades de inovações imitativas
- 6 – Um firme exercício do poder de mercado pelas empresas líderes tende, de fato, a limitar o aumento da concentração (DOSI, 2006 p.145-146).

Nelson e Winter (2005) criticam os pressupostos ortodoxos como a hipótese do equilíbrio estático e a racionalidade ilimitada dos agentes baseado nos critérios de maximização. Segundo os autores, os desequilíbrios e assimetrias são fatores essenciais da mudança estrutural. Os movimentos dos agentes ganham um fator de incerteza e são permeadas em relação a um futuro imprevisível, que é dependente não apenas de decisões da firma, mas sim de todo o mercado.

As assimetrias entre as firmas como capacidade tecnológica, rapidez imitativa e aptidão tecnológica representam um fato crucial na alteração das estruturas de mercado. A realização de tarefas de forma contínua em suas rotinas acumula ganhos em habilidade, experiência e acima de tudo capacidades de explorar novas oportunidades tecnológicas. As consequências da trajetória assumem um caráter cumulativo de “*Patch dependency*”. Os principais processos de aprendizagem das empresas, são: *learning by doing*, *learning by using*, *learning by interacting*, *learning by research e learning by from advances in S&T*.

- *Learning by doing*: “Ocorre como um resultado da atividade produtiva, e é uma fonte importante de inovação tecnológica, pois muitos tipos de melhoramentos que aumentam a produtividade são pequenos individualmente, mas muito grande cumulativamente” (ROSENBERG, 2006<sup>5</sup> apud GUERRERO, 2013 p.40). O “*learning-by-doing*” tem o efeito de reduzir o custo real do trabalho por unidade de produção. Sua “ação gera um conjunto máximo de trajetórias tecnológicas avançadas e não simplesmente apenas reduções de custo médio” (MALERBA, 1992<sup>6</sup>, p.845 apud GUERRERO 2013 p.40).
- *Learning by using*: refere-se ao uso contínuo de um produto ou inovação. Cabe a empresa aproveitar esse conhecimento para melhorar processos e avanços na qualidade das rotinas. Esse tipo de aprendizado tem utilização em sistema complexos e que geram dois tipos de conhecimentos: embodied (incorporado/personificado) e disembodied (desincorporado/despersonificado). No primeiro conceito, o processo de aprendizado permite uma melhor compreensão das características específicas da manufatura, que permite melhorias no próprio produto. O segundo, por sua vez, gera conhecimento que induz modificações na utilização que requisitam de alterações no produto.

---

<sup>5</sup> ROSENBERG, N. **Por dentro da caixa-preta**: tecnologia e economia. Campinas: Editora da UNICAMP, 2006. (Clássicos da Inovação).

<sup>6</sup> MALERBA, F. Learning by firms and incremental technical change. The **Economic Journal**, p. 845-859, July, 1992

- *Learning by interacting*: emerge dos relacionamentos e interações entre os diversos atores, tais como fornecedores e prestadores de serviço em atividades correlatas e complementares, ou mesmo gerados com clientes externos. “Igualmente, o *learning by from advances in S&T* depende da absorção pela firma de conhecimentos externos e diz respeito à sua interação com o sistema de ciência e tecnologia (C&T)” (CASSIOLATO, 1992<sup>7</sup> *apud* GUERRERO 2013 p.41).

Os aprendizados organizacionais e as interações entre as firmas, no processo incorporação de conhecimento demonstra a importância das redes na capacidade de geração das inovações. Os fatores que influenciam o sucesso do processo inovativo envolvem a realização de esforços conjuntos em P&D, fazendo com que os agentes troquem sinergias assim facilitando a troca de informações e integrações de competências.

Uma análise da complexidade dos sistemas tecnológicos sugere que as condições ou configurações de um ambiente propício à mudança tecnológica dependem fortemente das condições macroeconômicas, sistêmicas e das capacidades tecnológicas acumuladas na firma através de aprendizados tecnológicos em diversas instâncias, seja com clientes e fornecedores, nos departamentos de pesquisa e desenvolvimento, através da cooperação e de interações institucionais com os sistemas nacionais de pesquisa científica e de tecnologia que, por sua vez, conformam os sistemas setoriais e nacionais de inovação. (GUERRERO, 2013, p.41-42).

Em suma, o enfoque evolucionista buscou explicar a análise da firma em termos dinâmicos, gerados por fatores endógenos ao sistema, notadamente as inovações. A firma é tomada como centro de análise, onde os agentes tomam suas decisões num ambiente de incerteza e racionalidade limitada.

## 2.2 SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO

Atualmente, os países vivem o desafio de se desenvolverem envolvidos de um ambiente econômico bastante desafiador, com mercados dinâmicos (inovativo) e competitivos. “Um dos elementos-chave para transpor esse desafio é sem dúvida a busca pela inovação constante”

---

<sup>7</sup> CASSIOLATO, J. E. The role of user-producer relations in innovation and diffusion of new technologies: lessons from Brazil. Tese (Doutorado em Economia) - Science Policy Research Unit, University of Sussex. 1992

(FREEMAN; SOETE, 2008 p.502). Assim, “um ambiente nacional favorável pode ser crucial na influência para estimular, retardar ou impedir atividades inovativa das firmas” (FREEMAN & SOETE, 2008, p.503). Nesse cenário, “em busca da inovação, cada país deve planejar seu crescimento, organizar e estruturar ações, ou seja, os países devem construir ambientes favoráveis ao seu crescimento e seu desenvolvimento inovativo e tecnológico, instituindo seus Sistemas Nacionais de Inovação - SNI.” (VILLELA, 2009, p.3).

O precursor ao conceito de SNI fora o economista alemão Friedrich List que em seu livro “The Nacional System of Political Economy (1824) defendia que o Estado deveria proteger a indústria nascente, mas também formular uma ampla variedade de políticas destinadas a acelerar ou a tornar possível a industrialização e o crescimento econômico (FREEMAN;SOETE, 2008, p.504) da Alemanha. Posteriormente aos escritos de List, a Alemanha desenvolveu um dos mais robustos sistemas de educação técnica e de treinamento do mundo da época, enfatizando a importância do agente Estado na transformação do processo tecnológico.

A abordagem em si ao conceito de SNI foi instituída e debatida pelos economistas Freeman, Lundvall e Nelson, na década de 1980. Um sistema Nacional de Inovação (SNI) pode ser definido por um grupo composto por instituições públicas e privadas cujo atividades geram novas tecnologias. Segundo Freeman, Sistemas Nacionais de Inovação são “...*The network of institutions in the public and private sectors whose activities and interactions initiate, import, modify and diffuse new technologies*”. (FREEMAN, 1987) O SNI é um sistema dinâmico e social principalmente, pois se caracteriza por aprendizagem em um processo de reprodução, de críticas e novas ideias, seja no âmbito macro ou microeconômico. A inovação em determinado país constitui arranjos institucionais envolvendo várias organizações públicas e privadas que são a base de um ecossistema de ciência e tecnologia para fazer da inovação um instrumento de desenvolvimento econômico e social. Seja em nível nacional e/ou regional, a infraestrutura governamental composta pelas instituições de ensino e pesquisa públicas, os conselhos de pesquisa, as agências de fomento e as políticas públicas são o coração dos sistemas de ciência, tecnologia e inovação.

O sistema nacional de inovação é pautado pela rede de conexões e interações entre os agentes. Os principais agentes envolvidos são: o Estado, cujo papel principal é prover políticas públicas de ciência e tecnologia, e as universidades e institutos de pesquisa. Referente ao primeiro:

Cabe a ele formular políticas públicas de fomento à inovação, promover a diminuição de incertezas e estimular os demais agentes que compõem o sistema a investir em inovação tecnológica. Ao criar instituições que regulamentam os setores produtivo e financeiro e promover o uso de políticas fiscal, monetária e cambial em prol da produção de inovação tecnológica, o Estado coordena e direciona o progresso tecnológico do país. (VILLELA, 2009 p.5).

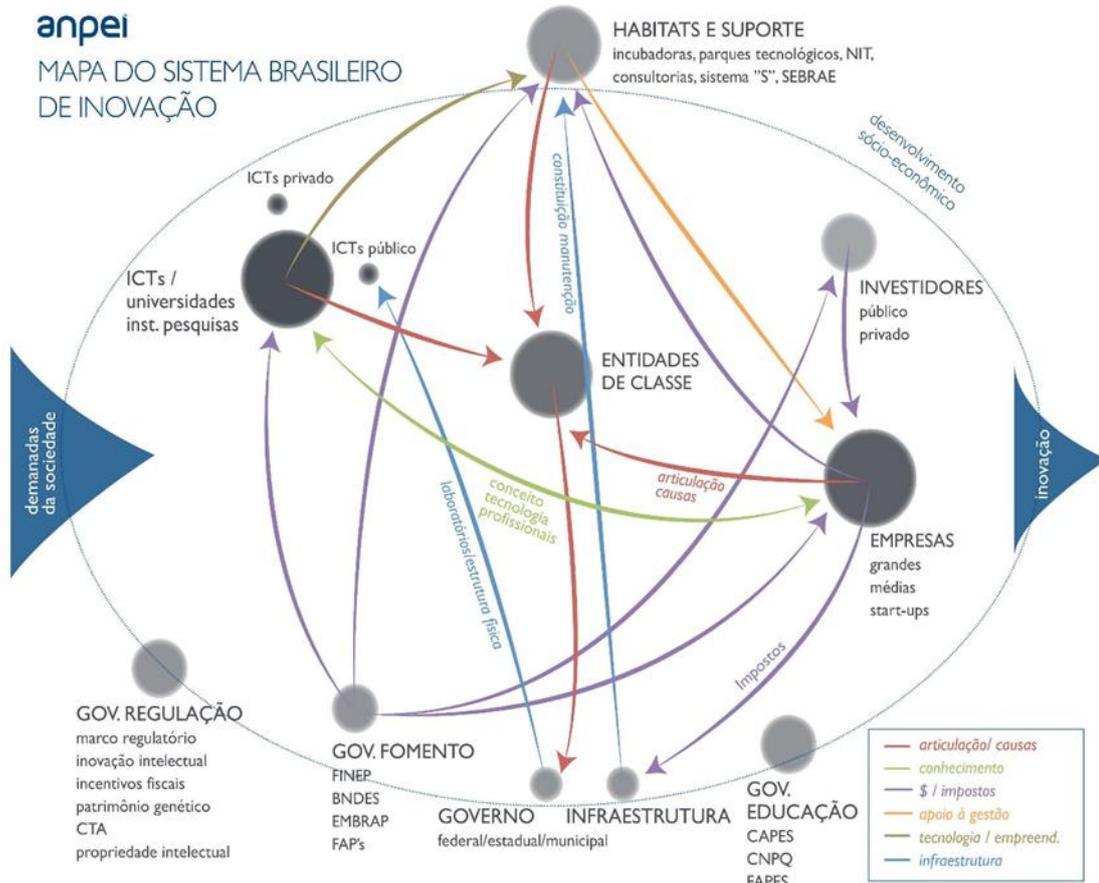
As universidades e institutos de pesquisa que provem a criação e disseminação de conhecimento e pesquisa, assim como a capacitação do processo humano envolvido na criação de inovações.

As universidades e os institutos de pesquisa por sua vez são os responsáveis pelo desenvolvimento do conhecimento científico e tecnológico, alicerce da atividade inovativa das empresas. Tais agentes são importantes promotores da inovação, pois concentram grande parte das competências e infraestrutura de pesquisa. (...), participam ativamente deste fenômeno formando recursos humanos, realizando treinamentos, fazendo pesquisa básica e aplicada e desenvolvendo protótipos de tecnologias inovadoras. São, portanto, fonte de conhecimento e tecnologia das quais se originam e tem início o processo de transferência de tecnologia para a iniciativa privada. (VILLELA, 2009, p.5).

e as empresas que são responsáveis por absorver o conhecimento técnico proporcionado pelas universidades e institutos, usufruir dos incentivos proporcionados pelo Estado (investimentos, subsídio, políticas) e transformar todos esses instrumentos em produtos para o mercado.

Na figura abaixo, pode-se notar as relações do SNI brasileira, segundo a ANPEI (Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento das Empresas Inovadoras).

Figura 2 – Mapa do Sistema Brasileiro de Inovação



Fonte: ANPEI (2014, p.5).

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 (ROTHWELL 1994 <sup>8</sup>apud REGO, C 2005, p18).

A quantidade de estoque em pesquisa e desenvolvimento (P&D) não necessariamente é suficiente para levar ao crescimento econômico. “Universidades excelentes e um bom treinamento acadêmico são pouco relevantes se o setor privado não tem conexões, diretas ou indiretas, com o sistema universitário.” (CASSIOLATO; LASTRES 2005, p.100). A modelagem com que a P&D é fornecida à economia e as partes que integram o processo são fundamentais para a inovação. A difusão e capilaridade são reflexos da atuação conjunta entre Estado e empresas.

<sup>8</sup> ROTHWELL, R. **Towards the fifth-generation innovation process**. International marketing Review. v. 11, n. 1, p. 7-31, 1994

Dessa forma, apesar dos diversos enfoques dados ao tema, evidencia-se na literatura a importância dada pelos autores à interação entre os numerosos atores e instituições que participam do processo de inovação, cujo desempenho inovador traduz-se em benefícios à sociedade. Um Sistema Nacional de Inovação deve se estruturar de forma a permitir a articulação desses agentes no sentido de promoverem a inovação em um país, um processo complexo e coletivo (VILLELA, 2009, p.4).

O processo de inovação é cumulativo, depende de capacidades endógenas e baseia-se em conhecimentos tácitos (CASSIOLATO; LASTRES 2005, p.32). A capacidade de inovação de um país depende das capacidades dos agentes em se relacionarem além das condições culturais específicas de cada nação.

Políticas baseadas na abordagem de sistemas de inovação podem contribuir para superar as restrições, além da própria falta de sustentabilidade, das duas principais estratégias seguidas pela maior parte dos países menos desenvolvidos. A primeira se refere à exploração intensiva das vantagens competitivas espúrias. A segunda relaciona-se à suposição de que a importação de tecnologia pode substituir o desenvolvimento local de conhecimento e criação de capacitações. (CASSIOLATO; LASTRES, 2005, p.37).

### 2.3 O PAPEL DO ESTADO EMPREENDEDOR

O Estado é uma organização com o poder de tributar e legislar a sociedade. Cria e garante a manutenção de leis e políticas públicas com o intuito de maximizar o bem-estar da população. O desafio dos governos, atualmente, passou a ser suportar o crescimento contínuo da economia e, ao mesmo tempo diminuir o impacto ambiental sem esgotar os recursos da natureza para o futuro. Segundo Bresser Pereira:

Cada Estado-nação procura criar condições para formular sua estratégia de desenvolvimento no propósito de melhor se posicionar na competição internacional entre países, para que resulte em benefícios para o desenvolvimento interno (BRESSER PEREIRA, 2004, p. 84).

O Estado tem papel fundamental na criação de incentivos que visam o desenvolvimento de sua indústria com intuito de torna-la competitiva internacionalmente. A inovação e desenvolvimento de novas tecnologias são peça-chave e devem ser priorizadas.

O posicionamento competitivo de uma nação é reflexo da competitividade de sua indústria. Essa competitividade é determinada, cada vez mais, por sua capacidade de geração de riqueza via inovação e desenvolvimento tecnológico, tanto pelos produtos e serviços que revolucionam quanto pela influência positiva que geram em outros setores da economia. O estado pode e deve participar de maneira forte para fomentar um ambiente mais seguro e favorável ao desenvolvimento de inovações (CURADO, 2011).

No caso da indústria brasileira, há uma preocupação em que o Estado juntamente com a iniciativa privada invista em novas indústrias e setores com alta capacidade tecnológica e assim equalizar a desvantagem frente a outros países desenvolvidos.

O Estado pode induzir as decisões a nível da firma, dependendo da postura tomada. Existem alguns obstáculos à inovação que devem ser analisados por esse agente: o risco econômico excessivo, devido ao elevado custo, os incentivos ao setor e a precariedade nas fontes de financiamento. A incerteza no processo inovativo está associado a seus resultados, dado que é muito difícil prevê-los e mensura-los. Além da incerteza associada ao processo, esses investimentos em P&D são muitos difíceis de serem recuperados pelas empresas, e são assim denominados *sunk cost*. Segundo Freeman e Soete (2008, p.416), os riscos vinculados às inovações diferem dos riscos normais, que são passíveis de serem calculados e há categorias de inovações que são reconhecidamente menos incertas, conforme quadro abaixo:

Quadro 1 – Graus de Incerteza das Atividades Inovativas

Graus de incerteza associada ao tipo de inovação	
Incertezas verdadeiras	Pesquisa fundamental
	Inventos fundamentais
Níveis muito altos de incerteza	Inovação radical de produtos
	Inovação radical de processos realizados fora da firma
Altos níveis de incerteza	Importantes inovações de produtos
	Inovações radicais de processo obtido 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
Muita pouca incerteza	Novos "modelos"
	Diferenciação de produtos
	Providências para a inovação de produtos já existentes
	Adoção tardia de inovações de processo já existentes e de operações flanqueadas no próprio estabelecimento
	Melhorias técnicas menores

Fonte: Adaptado de FREEMAN;SOETE (2008, p.417).

Até os níveis mais baixos de incertezas apresentados fazem com que apenas uma proporção muito pequena de P&D seja diretamente financiada pelo mercado de capitais (FREEMAN; SOETE, 2008, p.417). Nesse quesito, cabe ao Estado prover soluções em pesquisa básica.

O Estado, no que tange ao desenvolvimento de políticas de inovações é muito mais amplo que apenas a criação de infraestrutura e correção de falhas de mercado. Investimento governamental em grande escala e principalmente de longo prazo foi fundamental no desenvolvimento de diversas tecnologias a muitos anos. Existem duas tipos de instrumentos onde o Estado pode atuar: os chamados instrumentos horizontais e verticais.

As chamadas políticas horizontais (ou funcionais), pautadas em medidas de alcance global. De outro lado, estão as políticas verticais (ou seletivas), desenhadas para fomentar indústrias, cadeias produtivas ou grupos específicos de empresas (KUPFER, 2002, p.559).

As políticas horizontais são aquelas que buscam melhorar o desempenho da economia na sua totalidade, sem excluir grupos ou setores. Kupfer destaca os seguintes instrumentos de política horizontal como:

- Concorrência: repressão de condutas antitrustes
- Infraestrutura: política de concessões e controle administrativo de preços (mecanismos de reajustes de energia elétrica)
- Comércio exterior: política tarifária e não tarifária, prevenção de concorrência desleal
- Propriedade intelectual: Patentes, marcas e transferência tecnológica

Já nas políticas industriais verticais, o Estado privilegia deliberadamente algum setor ou indústria em específico, seja por decisão estratégica seja pela capilaridade do setor (grande cadeia produtiva). Os quatro principais argumentos que justificam essa política seletiva são, segundo (KUPFER, 2002, p.560):

1. Indústrias com maior valor agregado
2. Indústrias com grande poder de encadeamento: Grande efeito multiplicador ao longo da cadeia produtiva (*Forward linkage e Backward linkage*)
3. Industrias com grande dinamismo tecnológico e inovativo potencial
4. Indústrias nascentes ou com retornos crescentes de escala

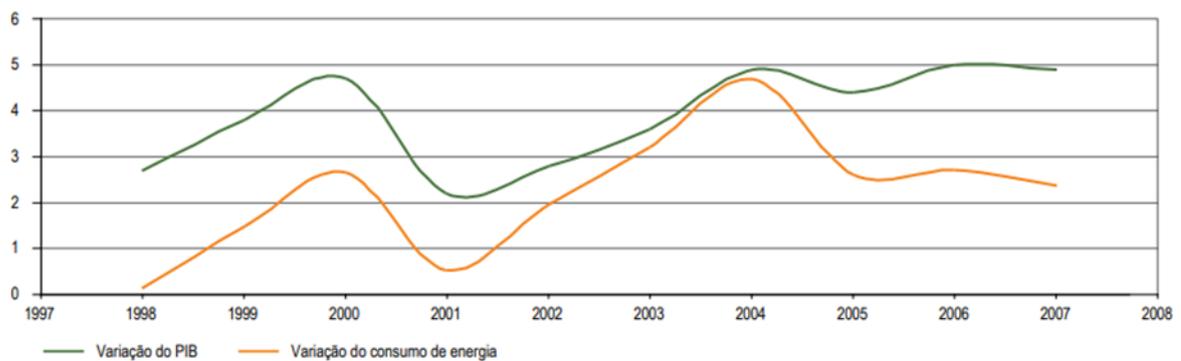
O Estado está por trás da maioria das revoluções tecnológicas e longos períodos de crescimento. “A inovação não se baseia em sorte para dar certo, mas em estratégias de longo prazo e investimentos direcionados” (MAZZUCATO, 2011). É por isso que um “Estado empreendedor” é necessário para assumir o risco e a criação de uma nova visão, em vez de apenas corrigir as falhas do mercado.

## 2.4 ENERGIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A utilização da energia elétrica é essencial na sociedade atual. A energia provém qualidade de vida da população e é indispensável para a produção de bens, em praticamente

todos os setores da economia. “Ao proporcionar o crescimento tecnológico e econômico, o consumo da energia elétrica passa a ser também um dos principais parâmetros de indicação do crescimento da economia” (MILKE et al, 2016) visto que com maior poder econômico mais bens serão adquiridos, bens como equipamentos elétricos, que resultarão num maior consumo de energia elétrica, sejam nas indústrias, no comércio ou residencial. “O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de vida de qualquer sociedade” (ANEEL, 2008 p.39). No Brasil, há uma correlação muito significativa entre o PIB e o consumo de energia como mostrado na figura abaixo:

Gráfico 1 – Variação do PIB e Variação do Consumo de Energia (1998 – 2007)



Fonte: ANEEL (2008 p. 39).

O consumo de energia elétrica como citado é um importante indicador do desenvolvimento de uma nação, podendo além do crescimento econômico indicar a melhoria da qualidade de vida da população. (FINKLER et Al,2016)

Contudo, o crescimento da energia pode seguir dois caminhos distintos: o crescimento desenfreado utilizando as fontes não renováveis, com a emissão de enormes quantidades de CO<sup>2</sup> na atmosfera, sabendo que estas fontes se esgotarão no futuro ou um viés planejado, de desenvolvimento sustentável (DS), onde o foco é o equilíbrio entre crescimento econômico e preservação ambiental. O desenvolvimento sustentável, segundo Becker:

A noção de DS vem sendo utilizada como portadora de um novo projeto para a sociedade, capaz de garantir, no presente e no futuro, a sobrevivência dos grupos sociais e da natureza. Transforma-se, gradativamente, em uma categoria chave, amplamente divulgada (até mesmo um modismo), inaugurando uma via alternativa onde transmitam diferentes grupos sociais e de interesse como, por exemplo, político,

profissionais dos setores público e privado, ecologistas, agências financeiras multilaterais, grandes empresas, etc. (BECKER, 1999, p.24).

O termo desenvolvimento sustentável foi criado no ano de 1987 pela ex-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, e pode ser definido como:

Em essência, o desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender as necessidades e aspirações humanas. (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988<sup>9</sup>, *apud* IPIRANGA; GODOY; BRUNSTEIN, 2011, p.1).

O crescimento econômico e a preocupação em reduzir as externalidades negativas ao meio ambiente tem colocado as energias renováveis, que inclui a energia eólica, no foco do planejamento dos países e tem servido como plataforma para a estruturação de políticas que promovam a transição para uma matriz energética mais limpa, a segurança energética, a geração de emprego e renda, o progresso técnico, a inovação e o desenvolvimento econômico. De acordo com GOLDEMBERG (2007), podemos classificar as fontes de energia renováveis como “tradicional”, “convencionais” e “novas”:

Algumas formas de conversão de energias renováveis são, portanto, tradicionais. É o caso do fogão primitivo, movido a lenha catada ou desmatada. Por sua vez, as fontes modernas podem ser subdivididas em “convencionais” e “novas”. As “convencionais” são tecnologias dominadas e comercialmente disseminadas há muitas décadas, como é o caso das usinas hidrelétricas de grande e médio porte. As “novas” são aquelas que começam a competir comercialmente com as fontes tradicionais, renováveis ou não. É o caso dos painéis solares fotovoltaicos, dos aquecedores solares, das pequenas centrais hidrelétricas (que, apesar de conhecidas, ainda não têm equipamentos a preços amplamente acessíveis), das usinas de geração de eletricidade a partir das ondas e marés, das turbinas eólicas, das usinas geotermiais, da biomassa “moderna”. (GOLDEMBERG, 2007, p.9-10).

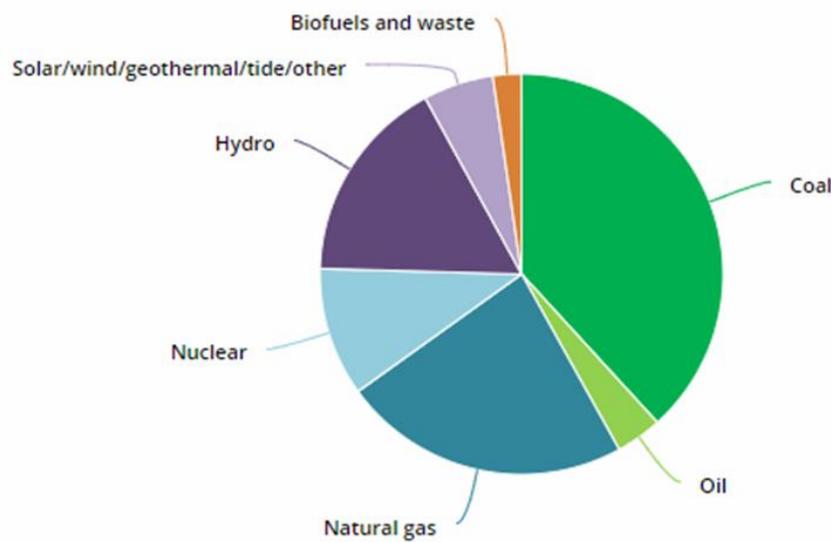
Essas energias limpas têm papel fundamental: auxiliar na redução do hiato entre combustíveis fósseis e novas alternativas de energias limpas. No mundo a geração de energia

---

<sup>9</sup> COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). Nosso futuro comum. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.

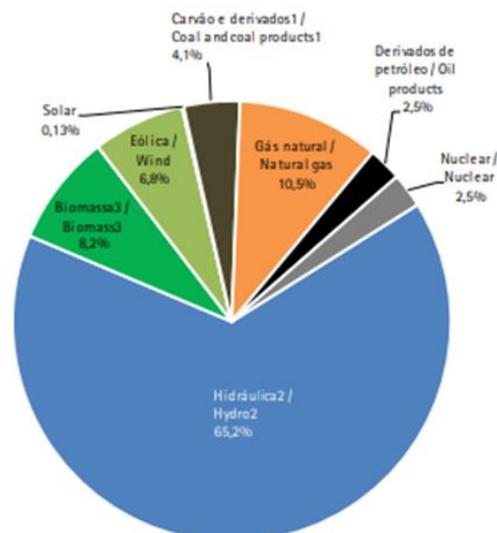
elétrica é baseada, principalmente, em combustíveis fósseis como carvão, óleo e gás natural, em termelétricas, conforme dados da IEA (*International Energy Agency*). Apenas 6% da energia é proveniente de recursos com energia eólica e solar. No Brasil, boa parte da nossa matriz elétrica já é renovável, isso porque grande parte da nossa matriz elétrica gerada vem de usinas hidrelétricas. A energia eólica vem crescendo substancialmente, em percentual da utilização total, contribuindo ainda mais para que nossa matriz se destaque em termos de sustentabilidade.

Gráfico 2 – Matriz Elétrica Mundial 2016



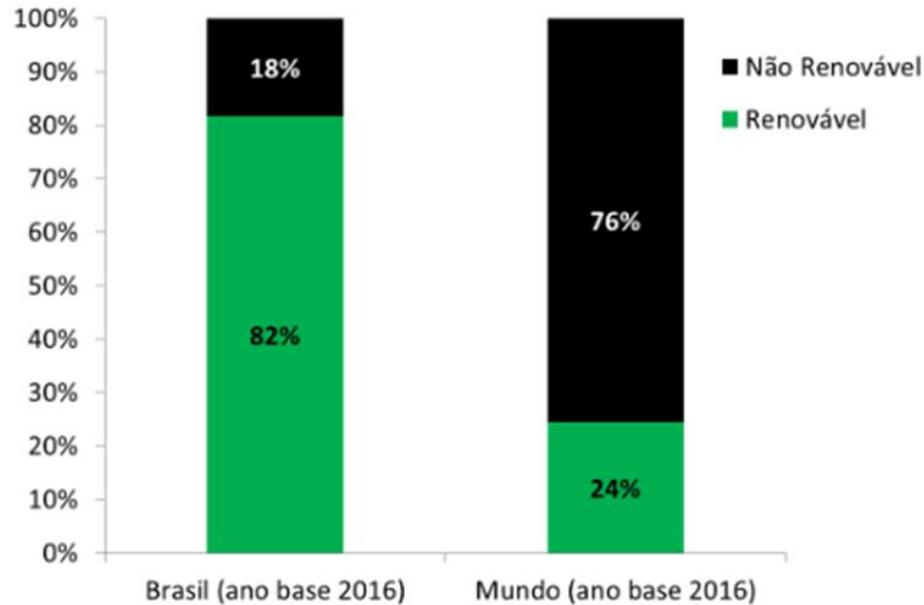
Fonte: IEA (2018).

Gráfico 3 – Matriz Elétrica Brasileira 2017



Fonte: EPE (2018 p.16).

Gráfico 4 – Matriz Elétrica Brasileira Versus Matriz Elétrica Mundial 2016



Fonte: Fonte: EPE (2018).

A energia eólica vem tendo grande destaque no mercado mundial dentre estas novas tecnologias, porém, como todas as fontes de produção de energia, ela apresenta impactos negativos ao meio ambiente ao que tange ao impacto visual, ruído e danos à fauna. O terreno onde um parque eólico é montado deve ser analisado e feitas as mudanças cabíveis que tem um impacto danoso ao ecossistema.

O maior benefício ao meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável da geração de energia eólica é a redução nos níveis de dióxido de carbono na atmosfera. Esse gás é responsável pelo processo de efeito estufa, que leva a alteração das temperaturas no mundo e as consequências devastadoras que vemos atualmente. A moderna tecnologia eólica apresenta um saldo muito positivo nesse quesito. “As emissões de CO<sup>2</sup> relacionadas com a fabricação, instalação e serviços durante todo ciclo de vida do aerogerador são “recuperados” depois dos três a seis meses de fabricação” (DUTRA, 2001, p.71).

A preocupação com o desenvolvimento sustentável e o aquecimento global geram sinergias para que organizações, academia e empresas privadas repensem seus modos e busquem uma solução conjunta para o bem-estar social.

*At first, the battle against global warming initiates the supply target of innovation (wind power), which could coexist with other existing energy system and help to reduce global warming. Government, industry and academic organizations are involved and the acts which could solve the above-mentioned problems are taken into*

*consideration institutionally since it would not be a problem attributed only to industry (INOUE; MIYAZAKI, 2007, p.1306)*

Conceito de DS não implica na busca de uma harmonia perfeita, mas um processo contínuo de mudanças, seja no desenvolvimento de novas tecnologias à exploração de recursos estejam engajadas com as necessidades atuais e futuras da sociedade.

### 3. EVOLUÇÃO DO PADRÃO TECNOLÓGICO

O presente capítulo introduz os principais conceitos da energia eólica, sintetizando a evolução histórica desde os primórdios até os dias atuais. O capítulo também demonstra os principais indicadores de evolução global da capacidade instalada e o crescimento dessa fonte de energia no âmbito global.

#### 3.1 ENERGIA EÓLICA: CONCEITOS E HISTÓRIA

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Essa energia é aproveitada por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o uso de turbinas eólicas com intuito de gerar eletricidade ou para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água. (ANEEL, 2006 p.9) Para o estudo em questão, temos como foco a parte da geração de eletricidade.

Os primeiros registros sobre a utilização da força dos ventos datam do período do século VII, na Pérsia. Moinhos de ventos eram utilizados na moagem de grãos e para bombear a água para irrigação. Consta que durante as Cruzadas, a tecnologia empregada nos moinhos foi exportada da Ásia para a Europa, entretanto a configuração foi alterada, tendo as pás montadas sobre um eixo horizontal ao invés do vertical como vinha sendo adotado. “A ilustração “O Salmista do Moinho de Vento”, de 1270, é o registro mais antigo registrado em livro, apresentando um moinho de eixo horizontal” (PINTO, 2012).

Mesmo com baixa eficiência devido a suas características, os cata-ventos primitivos apresentavam vantagens importantes para o desenvolvimento das necessidades básicas de bombeamento d'água ou moagem de grãos, substituindo a força motriz humana ou animal. Pouco se sabe sobre o desenvolvimento e uso dos cata-ventos primitivos da China e Oriente Médio como também dos cata-ventos surgidos no Mediterrâneo. Um importante desenvolvimento da tecnologia primitiva foram os primeiros modelos a utilizarem velas de sustentação em eixo horizontal encontrados nas ilhas gregas do Mediterrâneo. (CRESESB, 2017).

A introdução dos cata-ventos na Europa foi amplamente disseminada após as cruzadas sendo o principal modelo de eixo horizontal, vastamente utilizado na Holanda. Os moinhos de vento tiveram uma forte influência na economia agrícola por muito anos. Além do bombeamento de água, os moinhos foram sendo utilizados para diversas aplicações.

O primeiro moinho de vento utilizado para a produção de óleos vegetais foi construído em 1582. Com o surgimento da imprensa e o rápido crescimento da demanda por papel, foi construído, em 1586, o primeiro moinho de vento para fabricação de papel. Ao fim do século XVI, surgiram moinhos de vento para acionar serrarias para processar madeiras provenientes do Mar Báltico (CRESESB, 2017).

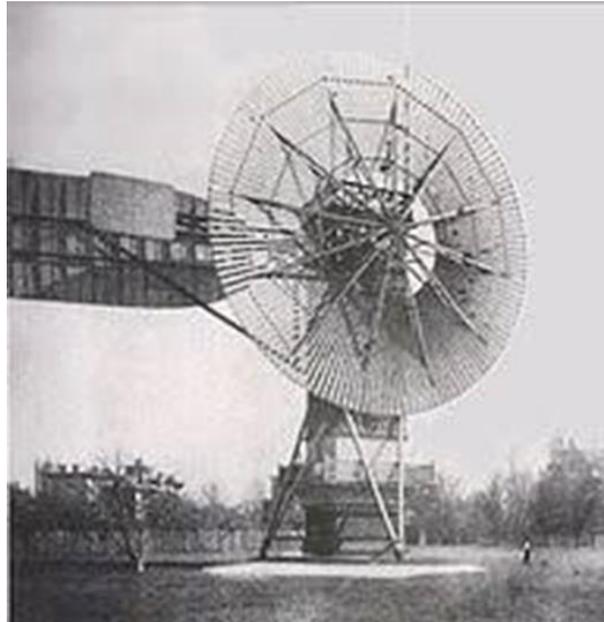
Figura 3 – Moinho de Vento Típico da Holanda



Fonte: CRESESB (2017).

Para geração de energia, o primeiro moinho fora inventado por James Blyth, no ano de 1887, na cidade de Glasgow, na Escócia. Ao mesmo passo, nos Estados Unidos, em Cleveland - Ohio, era criado o primeiro cata vento com a finalidade exclusiva de geração de energia elétrica. Montado pelo industrial Charles F. Brush, o equipamento fornecia aproximadamente 12KW em corrente contínua para o carregamento de baterias que era destinada para manter 350 lâmpadas ligadas. A roda principal, possuía 144 pás com altura de 17 metros e uma torre de 18 metros.

Figura 4 – Turbina Produzida por Brush nos EUA



Fonte: DUTRA (2001, p.13).

Sem sombra de dúvidas, a criação de Brush foi o marco inicial para a criação e utilização dos aerogeradores para a produção de energia elétrica.

Em primeiro lugar, a altura utilizada pelo invento estava dentro das categorias dos moinhos de vento utilizados para beneficiamento de grãos e bombeamento de água. Em segundo, foi introduzido um mecanismo de grande fator de multiplicação da rotação das pás (50:1) que funcionavam em dois estágios, possibilitando um máximo aproveitamento do dínamo. Em terceiro, esse invento foi a primeira e mais ambiciosa tentativa de se combinar a aerodinâmica e a estrutura dos moinhos de vento com as recentes inovações tecnológicas na produção de energia elétrica. (CRESESB 2017).

Posteriormente, no início do século XX foi marcado por algumas mudanças importantes na concepção tecnológica. Com a invenção do motor a combustão e a demanda crescente dos grandes centros por energia, foram deixando de lado o foco das pesquisas e aplicações no campo da energia eólica. Houve a descoberta de grandes reservas naturais de combustíveis fósseis e com isso as economias de escala para o processamento de combustíveis e na indústria petroquímica de primeira e segunda geração, alavancaram o petróleo como a nova força motriz.

Contudo, mesmo no cenário de declínio da utilização da energia eólica, alguns países pequenos, sem reservas expressivas de petróleo, continuaram o desenvolvimento dessa tecnologia. Países como a Dinamarca, que em 1890 lançou seu programa de incentivo, foi um

dos únicos países a manter a atenção nesse período. Em 1908, 72 modelos entre 5 e 25 kW estavam em operação.

Em 1918 já havia 120 modelos instalados, mas esse número diminuiria após a Segunda Guerra Mundial, pois a geração de energia elétrica já se havia voltado para grandes geradores centralizados, movidos a combustíveis fósseis, devido ao rápido desenvolvimento da tecnologia de extração e utilização econômica do carvão e, principalmente, do petróleo. (CHESF-BRASCEP, 1987 <sup>10</sup>apud DUTRA 2001 p.11).

Nos anos 1930, Estados Unidos e Rússia estavam centrados em expandir seus territórios e a utilização de aerogeradores de pequeno porte para produção de energia em territórios remotos, onde não havia alcance às redes de distribuição. O projeto de maior sucesso nessa época fora o de Jacobs, um pequeno aerogerador com 3 pás de madeira, com aproximadamente 5 metros de diâmetro e grande poder de armazenamento de energia. “Esse sistema fornecia 1kW elétrico para velocidade de 5,5 m/s, representando respectivamente o consumo elétrico de uma residência típica, e a velocidade média de vento conhecida na época”. (SHEPHERD, 1994 <sup>11</sup> apud DUTRA 2001 p.11).

Figura 5 – Aerogerador Jacobs Utilizado na Década de 30



Fonte: DUTRA (2001 p.11).

---

<sup>10</sup> ELDRIDGE, F.R **Wind Machines**. 2 ed. New York: Van Nostrand, 1980. Apud CHESF/BRASCEP, 1987.

<sup>11</sup> SHEPHERD, D.G. Historical Development of the Windmill. In: SPERA, S.A. **Wind Turbine Technology – Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering**. New York, ASME Press, 1994. p. 1-46

O modelo de Jacobs possibilitou uma melhora na distribuição no fornecimento de energia domiciliar, que prosseguiu até meados da década de 60, quando o Ato de Eletrificação Rural Americano supriu a maioria das fazendas e residências rurais com energia elétrica mais barata.

A Segunda Grande Guerra contribuiu para o desenvolvimento dos aerogeradores de médio e grande porte, naqueles países que eram deficientes na produção e estocagem de combustíveis fósseis. Esse aerogerador iniciou seu funcionamento em 10 de outubro de 1941, em uma colina de Vermont chamada Grandpa's Knob. “Em março de 1945, após quatro anos de operação intermitente, uma das suas pás (que eram metálicas) quebrou-se por fadiga” (SHEPHERD, 1994 <sup>12</sup>apud CRESESB 2017)

Figura 6 – Turbina Eólica Smith-Putnam



Fonte: DUTRA (2001 p.14).

No período entre 1955 e 1968, quem liderou as pesquisas e inovações no campo da energia eólica foi sem dúvida a Alemanha. Os avanços inaugurados naquela época persistem até hoje como concepção dos modelos atuais e demonstram o sucesso a grande vantagem

---

<sup>12</sup> SHEPHERD, D.G. Historical Development of the Windmill. In: SPERA, S.A. **Wind Turbine Technology – Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering**. New York, ASME Press, 1994. p. 1-46

competitiva dos alemães nesse setor. O equipamento alemão tinha 34 metros de diâmetro, operando com uma potência média de 100KW a ventos de 8m/s. No seu diferencial frente ao modelo norte americano constavam materiais mais leves, sistema de orientação amortecida por rotores laterais e torre de tubos estaiada (sistema muito utilizado nas torres e antenas de rádio atualmente). Por serem feitas de materiais compostos, as pás aliviaram os esforços em rolamentos, reduzindo os problemas de atrito.

Porém, após todos os avanços tecnológicos em pesquisa e produção foram deixados em segundo plano a medida que o custo de produção da rede elétrica produzida por usinas hidrelétricas e termoelétricas e os preços do petróleo foram sendo reduzindo. Todos os projetos anteriores a década de setenta foram desativados devido aos altos custos e os estudos que vigoraram eram restringidos apenas a pesquisa acadêmica, sem qualquer finalidade comercial.

O interesse comercial pela energia eólica teve seus holofotes novamente acessos após a crise energética de 1973<sup>13</sup>, onde o valor do petróleo foi fortemente impactado, alta de aproximadamente 650% entre 1972 e 1973, e propiciou para que os países retomassem os investimentos ao uso de aerogeradores conectados à rede elétrica. Países como Suécia, Estados Unidos e Alemanha iniciaram pesquisas de novos modelos.

Na década de 70, os Estados Unidos iniciaram suas pesquisas, impulsionadas por um programa do governo, com intuito de criar um modelo de aerogerador com eixo vertical. Tratava-se de um equipamento com 17 metros de diâmetro, 100 kW, “cuja principal finalidade estava na adaptação de formas e materiais para que o modelo “Darrieus” de eixo vertical se tornasse competitivo com os modelos de eixo horizontal” (SANDIA, 2000 <sup>14</sup>apud DUTRA 2001 p.19). O modelo de eixo vertical não ganhou muita notoriedade.

---

<sup>13</sup> Crise com forte impacto no preço do petróleo que surgiu após embargo proclamado pelos membros da OPAEP. Resultou em mudanças nas políticas globais e efeitos econômicos de curto prazo.

<sup>14</sup> SANDIA. **Vertical Axis Wind Turbine: The History of the DOE Program.**2000

Figura 7 – Turbina Eólica de Eixo Vertical – Modelo Darrieus



Fonte: DUTRA (2001 p.20).

Seguindo a cronologia dos fatos, na década de 90, a Dinamarca inaugurou seu primeiro parque eólico *offshore*,<sup>15</sup> sendo a pioneira na geração de energia sob as águas. Esse modelo de parque eólico seria replicado mais tarde por países como Reino Unido, Alemanha e Estados Unidos, porém sua vasta disseminação ainda não é possível dado que a tecnologia atualmente existente não a torna competitiva frente a seus custos. O Brasil possui um piloto juntamente com a Petrobrás, para a criação de um parque *offshore* até 2022, no polo de Guamaré, no Rio Grande do Norte.

A energia eólica sobre as águas vem sendo tema de pesquisas na evolução do paradigma tecnológico. “O mar, sem dúvida, é a nova fronteira para o desenvolvimento da energia eólica” (DUTRA, 2001 p.24).

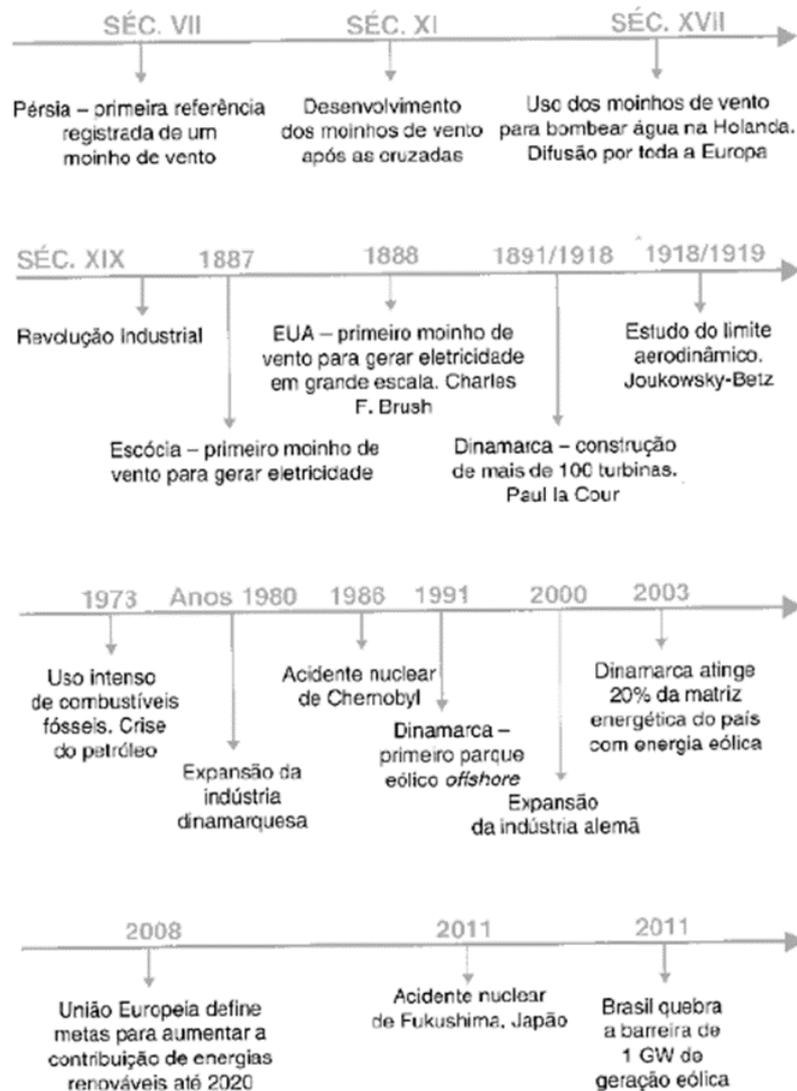
Mais de 4,000 MW de potência eólica deverão ser instalados em projetos offshore, na Dinamarca, nos próximos 30 anos. O desenvolvimento de novas tecnologias, o barateamento das fundações e novas pesquisas no perfil do vento offshore vêm aumentando a confiança da indústria eólica dinamarquesa na nova fronteira do desenvolvimento eólico. (DUTRA, 2001, p.22).

A trajetória evolucionista da energia eólica, conforme evidenciado na imagem abaixo demonstra que desde o século VII há referências do uso dessa fonte de energia sustentável. A energia ganhou notoriedade após a revolução industrial com a aplicação dos estudos voltados

<sup>15</sup> Parque eólico flutuante instalado sobre a superfície marítima.

ao aprimoramento da captação e aerodinâmica dos cata-ventos. A partir da crise do petróleo em 1973 fez com que o setor eólico expandisse novamente, sendo a Dinamarca um dos países dominantes nesse processo de introdução dos aerogeradores como fonte de energia em escala comercial.

Figura 8 – Cronologia da Evolução da Energia Eólica



Fonte: PINTO (2012 p.32).

Pode-se inferir que, exposto as alterações históricas, o desenvolvimento da energia eólica no mundo teve uma forte ligação com as questões de mudanças na conjuntura econômica mundial, conjunto de fatores naturais favoráveis e interesses governamentais. Países que despontaram como inovadores nesse setor são hoje, os líderes em tecnologia de produção e possuem grandes vantagens de escala frente a países menos desenvolvidos. A evolução da

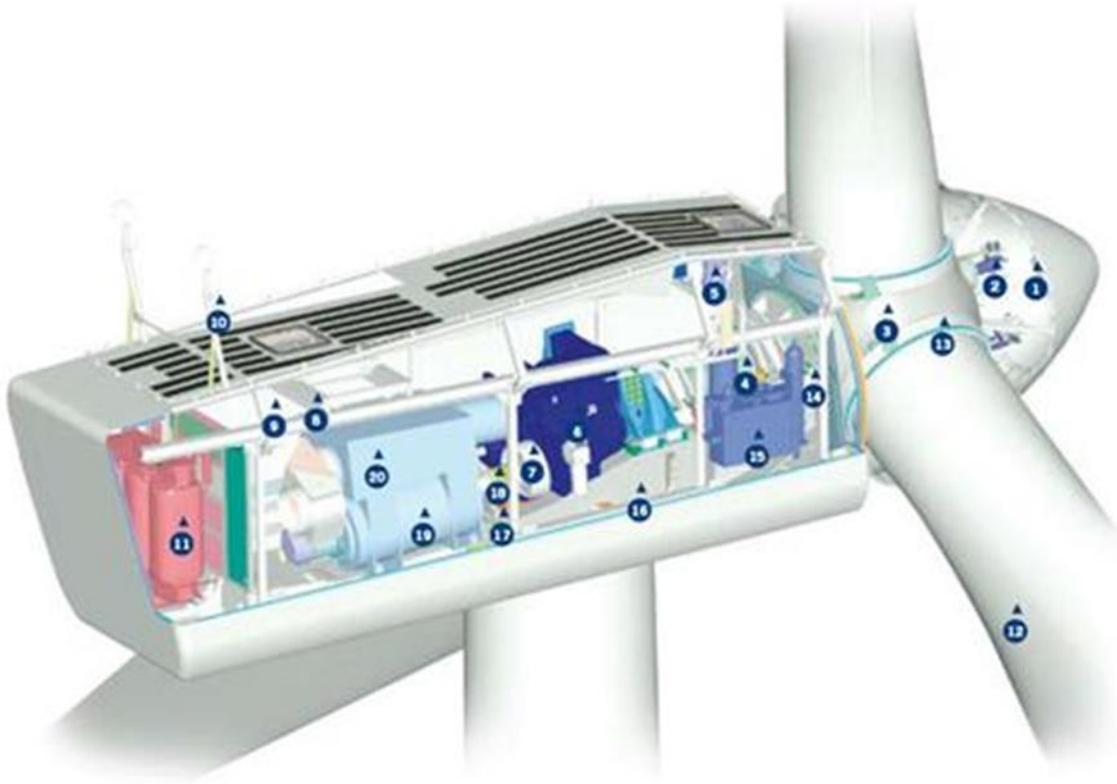
trajetória tecnológica do setor eólico contou com a força do Estado como indutor desse novo mercado, criando um modelo que atualmente é utilizado em larga escala e a partir de contínuas inovações e incrementais dos conhecimentos base do paradigma tecnológico.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DO PADRÃO ATUAL

A produção de energia elétrica através da fonte eólica é fundamentada no princípio da transformação da energia cinética das correntes de ventos em energia mecânica que é convertida em energia elétrica. Os ventos impulsionam as pás, que provoca o giro de um rotor. Esse movimento é transmitido para o conversor, que, através de um processo de indução eletromagnética, transforma a energia cinética de rotação em energia elétrica. “Os aerogeradores, por sua vez, são os equipamentos responsáveis por essa conversão de energia” (CUSTÓDIO, 2009 p.280) Existem, atualmente, diversos modelos de aerogeradores, tanto na quantidade de pás quanto na sua complexidade tecnológica e potencial de geração de energia. Para a obtenção de energia elétrica, o modelo mais difundido e utilizado é o de eixo horizontal. Segundo CRESEB (2008) um aerogerador é composto pelos principais conjuntos:

- Rotor: é o equipamento que transforma energia cinética dos ventos em energia mecânica de rotação. Nele são fixadas as pás da turbina e todo esse conjunto é conectado ao eixo que transmite a rotação das pás para o gerador, eles podem ser de eixo vertical e de eixo horizontal e podem ter a sua posição face a estrutura de suporte em frente a Torre (*upwind*) ou atrás da Torre (*downwind*);
- Nacele: é um compartimento instalado no alto da torre, que abriga todos os componentes do gerador (sistema hidráulico, controle eletrônico, mancais, caixa multiplicadora, embreagem, freios, etc.);
- Torre: este componente é o responsável por sustentar e posicionar o rotor e a nacele na altura desejada, a altura de uma torre pode variar de 25 a 80 m por turbina, sendo que estas podem ter 2 ou 3 pás. Com o aumento da potência dos aerogeradores, as naceles precisam sustentar pesos muito mais elevados do gerador e das pás em alturas cada vez maiores com segurança;

Figura 9 – Principais Componentes do Aerogerador



Fonte: CRESESB (2008).

- |     |  |     |                                     |
|-----|--|-----|-------------------------------------|
| 1.  | Controlador do Cubo                    | 11. | Transformadores de alta tensão      |
| 2.  | Controle Pitch                         | 12. | Pás                                 |
| 3.  | Fixação das pás no cubo                | 13. | Rolamento das pás                   |
| 4.  | Eixo Principal                         | 14. | Sistema de trava do rotor           |
| 5.  | Aquecedor de óleo                      | 15. | Sistema hidráulico                  |
| 6.  | Caixa multiplicadora                   | 16. | Plataforma da nacela                |
| 7.  | Sistema de freios                      | 17. | Motores de posicionamento da nacela |
| 8.  | Plataforma de serviços                 | 18. | Luva de acoplamento                 |
| 9.  | Controladores e inversores             | 19. | Gerador                             |
| 10. | Sensores de direção e sistema de vento | 20. | Aquecimento de ar                   |

Contudo, para chegarmos a esse modelo dominante, houve uma evolução da trajetória tecnológica voltada aos principais componentes do aerogerador.

### 3.3 TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA DOS AEROGERADORES

Com a evolução desde os primórdios da energia eólica, muitos aspectos, sejam econômicos ou de materiais, foram alterados, tornando o setor eólico, atualmente, competitivo

frente a outras fontes de energia. A criação do projeto que hoje é considerado dominante no mercado eólico surgiu na Dinamarca, no século XX. “Esse projeto marca a transição entre os moinhos de vento e a moderna tecnologia de geração eólica” (PINTO, 2012 p.15). O projeto inicial utilizava madeira como material de sustentação e algumas partes em aço. A produção de energia era induzida através do acionamento de um dínamo para gerar corrente elétrica.

A primeira metade do séc XX viu a construção ou a idealização de um grande número de turbinas, que terminaram influenciando o desenvolvimento tecnológico de hoje. Com fundos do governo dinamarquês (...) La Cour construiu uma turbina eólica experimental (...) na faixa de 20-35 kW. (PINTO, 2012 p. 16)

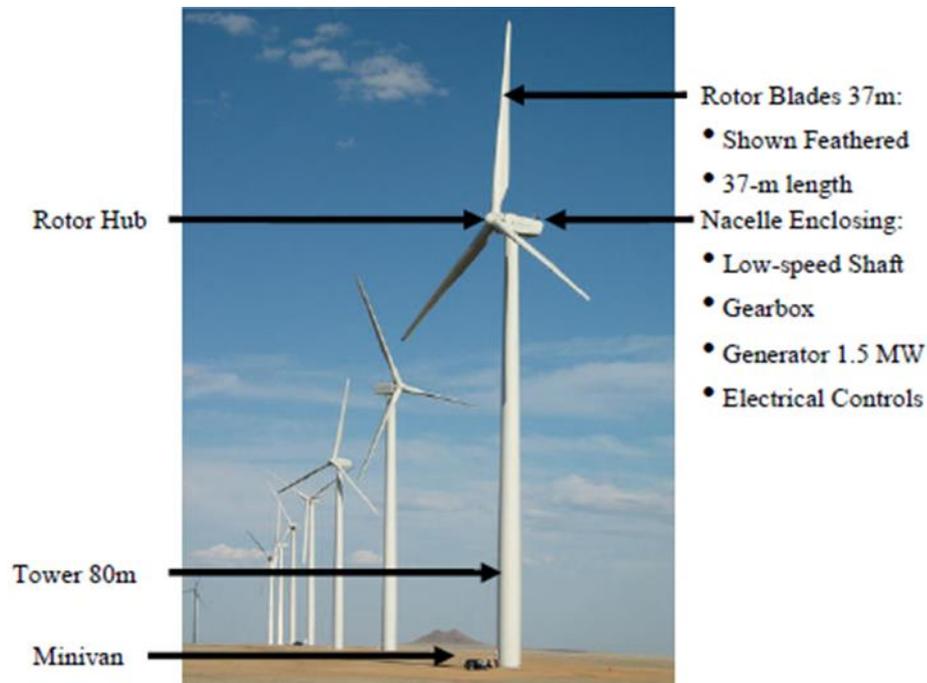
Pouco Depois da segunda guerra mundial, o engenheiro dinamarquês Johannes Juul, aluno de La Cour, construiu em 1957 uma turbina de 200kW. Essa máquina de três pás foi particularmente inovadora, pois usava o estol aerodinâmico como controle de potência e um gerador de indução. (...) sustentada por uma torre de concreto, tinha 24 metros de diâmetro de rotor e foi instalada nos anos de 1956 e 1957. (PINTO, 2012 p. 19)

O modelo dinamarquês, que possuía 3 pás acopladas a um rotor e grande capacidade de geração de energia, se tornou referência para os modelos atuais. O modelo contava com uma torre de concreto e a estrutura das pás e motor praticamente todos em aço. O conhecimento científico iniciado por La Cour, induzido pelo governo dinamarquês, possibilitou que Johannes criasse um modelo de eixo horizontal mais robusto com a capacidade de gerar aproximadamente 5x mais energia do modelo inicial. Paralelamente ao avanço dinamarquês, na Alemanha fora construído um aerogerador de 100kW com rotor produzido de materiais alternativos, mais leves, aliviando o esforço nos rolamentos e diminuindo problemas de manutenção. “Essa inovação mostrou ser muito mais eficiente comparada aos modelos até então feitos de metais” (CRESESB, 2017). Os avanços científicos e tecnológicos gerados no século XX serviram de base para o avanço da trajetória tecnológica moderna.

A indústria de energia eólica encontrou nas turbinas eólicas de eixo horizontal com três pás a tecnologia mais eficiente e, conseqüentemente, a mesma se espalhou pelo mundo dominando completamente o mercado, de forma que todas as outras caíram em desuso dando lugar aos, cada vez maiores, aerogeradores de eixo horizontal com três pás.(...) As turbinas de 3 pás apresentam uma melhor distribuição de peso, sendo, portanto, dinamicamente mais

estáveis. Isto, por sua vez, faz reduzirem-se as forças mecânicas nos demais componentes da turbina, principalmente, na torre (MELO, 2012, p.8)

Figura 10 – Evolução do Paradigma Tecnológico – Modelo Dominante



Fonte: THRESHER; ROBINSON; VEERS (2008 p.6).

A partir da segunda metade do século 20, avanços em materiais possibilitaram uma redução nos custos e maximização da utilização dessa fonte de energia sustentável.

*Blades that had once been made of sail or sheet metal progressed through wood to advanced fiberglass composites. The DC alternator gave way to the induction generator that was grid synchronized. From mechanical cams and linkages that feathered or furlled a machine, designs moved to high-speed digital controls. Airfoils are now tested in wind tunnels and are designed for insensitivity to surface roughness and dirt. Current knowledge of aeroelastic loads and the ability to incorporate this knowledge into detailed numerical models and structural dynamics codes make the machine of today more robust, but much less expensive than those of a decade ago. (THRESHER; ROBINSON; VEERS, 2008 p.6-7)*

Essa evolução só é possível graças a grandes projetos nacionais de incentivo a pesquisa e desenvolvimento, seja impulsionada via iniciativa privada ou via Estado. “O papel muitas vezes desempenhado no estabelecimento de uma trajetória tecnológica específica pelo poder público (através de suas políticas)” (DOSI,2006).

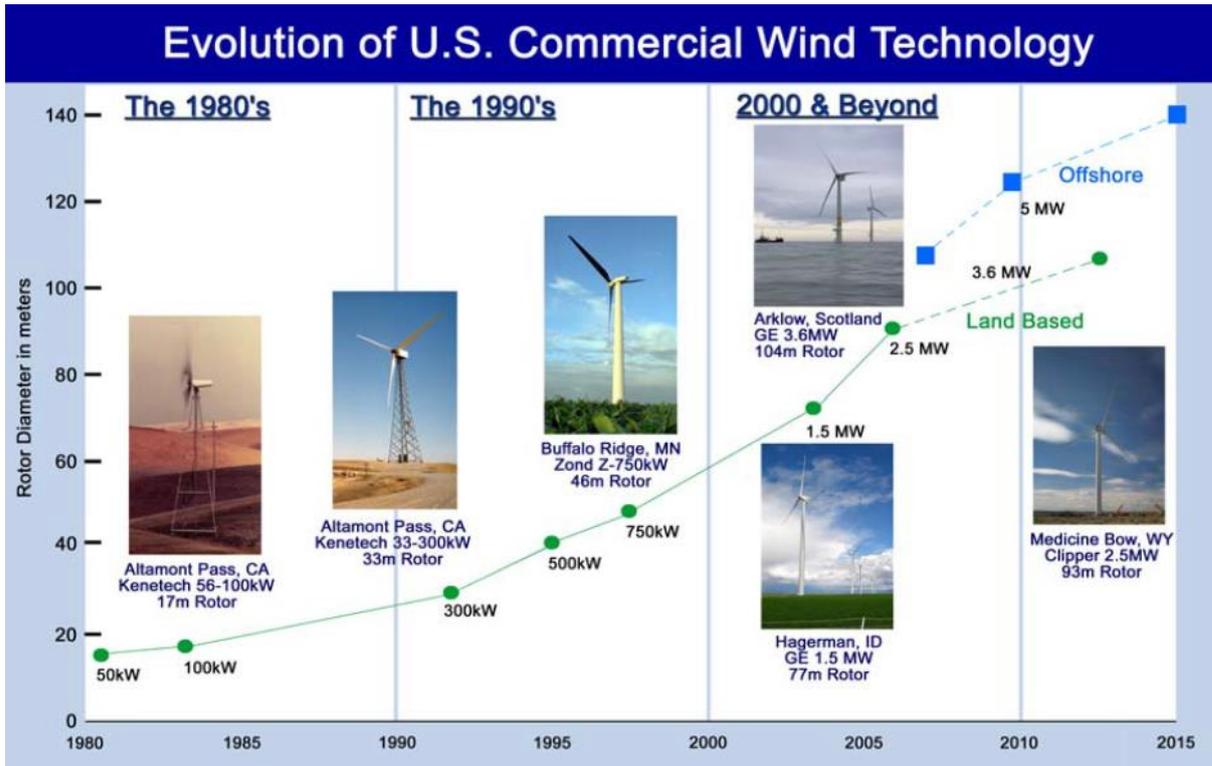
Os primeiros avanços na trajetória tecnológica para o setor eólico se deram no tamanho e na capacidade da turbina em gerar energia. O desenvolvimento de turbinas maiores e com maior capacidade derivam de captação de ventos com maior velocidade, e isso só é possível com o aumento do tamanho em relação ao solo (a velocidade do vento aumenta de acordo com o aumento da altura em relação ao solo). Nos últimos 20 anos, conforme a figura a seguir, a capacidade de geração de energia foi impulsionada de maneira exponencial devido a essas evoluções, sendo que as sinergias criadas e o conhecimento acumulado conseguiram reduzir os custos para a criação possibilitando assim a difusão desse tipo de tecnologia.

*Each group of wind turbine designers has predicted that their machines are as large as they will ever be. However, with each new generation of wind turbines, the size has increased along the linear curve and has achieved reductions in life-cycle cost of energy. The long-term drive to develop larger turbines stems from a desire to take advantage of wind shear by placing rotors in the higher, more energetic winds at a greater elevation above ground (wind speed increases with height above the ground). This is a major reason that the capacity factor of wind turbines has increased over time. (THRESHER; ROBINSON; VEERS, 2008 p.7)*

Um estudo desenvolvido pela WindPACT (2001) mostra que a evolução dos materiais utilizados nas turbinas, reduzindo seu peso (com a utilização de fibra de carbono, por exemplo) aumenta a eficiência na geração de energia. O estudo também discorre que novos métodos e melhorias contínuas que possibilitarão o aumento do tamanho das turbinas, e como consequência a capacidade de geração de energia dos novos modelos.

*If advanced research and development were to provide even better design methods, as well as new materials and manufacturing methods that allowed the entire turbine to scale as the diameter squared, then it would be possible to continue to innovate around this limit to size. (THRESHER; ROBINSON; VEERS, 2008 p.7)*

Figura 11 – Evolução do Capacidade de Geração Eólica



Fonte: THRESHER; ROBINSON; VEERS (2008 p.10).

Um dos problemas enfrentados na evolução das turbinas ainda são as restrições terrestres, pelo menos para os parques *onshores*. O transporte economicamente viável para esse tipo de peça requer estruturas rodoviárias e padrão de reboque que hoje definem uma limitação para seu crescimento.

*Unfortunately, other constraints limit the practical size of wind turbines. Crane requirements are quite stringent because of the large nacelle mass in combination with the height of the lift and the required boom extension. As the height of the lift to install the rotor and nacelle on the tower increases, the number of available cranes with the capability to make this lift becomes fairly limited. Other limiting factors are that cranes with large lifting capacities are difficult to transport, require large crews, and therefore have high operation, mobilization, and de-mobilization costs. (THRESHER; ROBINSON. VEERS, 2008 p.9)*

À medida que as turbinas eólicas crescem e tem capacidade de gerar mais energia, é importante que as pás também acompanhem essa evolução tecnológica. Nos anos 1980, o tamanho médio das pás era de apenas 8 metros, salvo projetos específicos. Atualmente, os

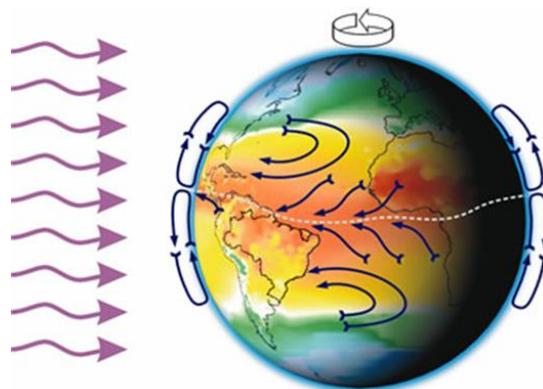
modelos comerciais têm aproximadamente 40 metros. Essa evolução só foi possível devido a 2 fatores: a evolução dos materiais utilizado na fabricação das pás e ajustes na aerodinâmica.

*Today's blade designs are subjected to rigorous evaluation using the latest computer analysis tools so that excess weight can be removed. Designers are also starting to work with lighter and stronger carbon fiber in highly stressed locations to stiffen the blade and improve fatigue resistance while reducing blade weight. However, carbon fiber must be used judiciously because the cost is about 10 times that of fiberglass.*  
(THRESHER; ROBINSON; VEERS, 2008 p.9)

O desempenho aerodinâmico de uma moderna turbina eólica avançou com o passar dos anos. Esse avanço só é possível graças a projetos personalizados para cada tipo de região. A força dos ventos é substancialmente diferente no Brasil que nos EUA. O vento é uma massa de ar em movimento, e esse deslocamento é dado pelo “aquecimento diferenciado das camadas de ar pelo Sol (geração de diferentes densidades e gradientes de pressão) e através dos movimentos da Terra” (REIS, 2011<sup>16</sup> *apud* RIBEIRO 2017 p.4). Existem locais, visto que o resfriamento dos polos e o aquecimento da linha do equador estão sempre acontecendo, possuem uma geração de ventos contínua e constantes e são divididos em:

- Polares: Ventos frios no sentido polos para zonas temperadas
- Ventos do Oeste: Ventos que sopram dos trópicos para os polos
- Alísios: Ventos que sopram dos trópicos para a linha do Equador, em baixas altitudes
- Contra-alísios: Ventos que sopram do Equador para os polos, em altas altitudes

Figura 12 – Formação dos Ventos e Deslocamento das Massas de Ar



Fonte: AMARANTE; BROWER; ZACK (2001 p.23).

<sup>16</sup> REIS, L. B. dos. **Geração de Energia Elétrica**. Manole Ltda, 2011

O comportamento dos ventos, portanto, é fator de decisão para a escolha do projeto aerodinâmico das pás e demais componentes para a criação de um parque eólico mais eficiente. Projetos especiais, em geral, maximizam a captação de energia pelos aerogeradores.

*it is now common place for turbine manufacturers to have special airfoil designs for each individual turbine design. These special airfoils attempt to optimize low-speed wind aerodynamic efficiency and limit aerodynamic loads in high winds. These new airfoil designs also attempt to minimize sensitivity to blade fouling, due to dirt and bugs that accumulate on the leading edge and can greatly reduce efficiency. Although rotor design methods have improved significantly, there is still room for improvement. (THRESHER; ROBINSON; VEERS, 2008 p.10)*

Velocidade e direções variáveis no rotor e pás com diferentes ângulos de “ataque” permitem que o rotor gire com uma velocidade ótima quando submetido a uma ampla faixa de condições de vento, aumentando a produção de energia, reduzindo a fadiga do material e os custos de manutenção. (GOLDEMBERG, 2008, pg.38).

A tecnologia aplicada a esse setor auxilia não somente o desenvolvimento e a difusão de novos materiais, mas possui uma parcela importante na redução dos custos de manutenção, que hoje representam uma grande parcela do investimento total de um parque eólico. Reduções tanto na produção das peças quanto na manutenção de seus equipamentos tornam o setor eólico uma alternativa viável para viabilização de uma matriz elétrica mais renovável, onde não era possível a alguns anos atrás devido ao seu grande custo marginal da energia produzida.

*Average prices for operation and maintenance contracts in the wind sector have dropped 38% in the last four years, boosting the sector's competitiveness significantly ... The wind energy sector is making significant improvements not just in the capital cost and performance of its turbines, but also in the ongoing cost of operating and maintaining them once installed (BNEF 2012<sup>17</sup>, apud LEMA at al p.12).*

A evolução da trajetória tecnológica no setor eólico já obteve grandes resultados, sendo hoje competitivo com outras fontes mais usuais de geração de energia. Contudo, ainda há potenciais inovações, seja no campo de melhorias contínuas ou utilização de novos métodos e materiais, que poderão tornar a geração e difusão desse setor ainda maior. Na figura abaixo

---

<sup>17</sup> BNEF (Bloomberg New Energy Finance): **Wind farm operation and maintenance costs plummet**. 2012

foram mapeados os potenciais avanços tecnológicos que resultarão no avanço da capacidade de geração quando a redução dos custos envolvidos. A figura está dividida entre as principais áreas tecnológicas que envolvem o aerogerador. Os potenciais avanços que traduzem em maior produção de energia estão relacionados a evolução dos materiais e aerodinâmica dos rotores, seguidos das melhorias nas torres (avanços nas estruturas utilizadas atualmente, fundação e tamanho). O aumento da escala e melhorias nos processos são os principais drivers para a redução dos custos.

Quadro 2 – Áreas de Melhoria da Tecnologia Potencial

Área técnica	Potenciais Avanços	Custos Incrementais Melhor/Esperado/Pior	
		Produção Energia	Custo Aerogerador
Novos Conceitos para Torre	Maiores torrem em locais de difícil acesso	+11/+11/+11	+8/+12/+20
	Novos materiais e processos		
	Avançadas estruturas/fundações		
Ampliação dos Rotores	Avanços nos materiais	+35/+25/+10	-6/-3/+3
	Melhorias no design		
	Melhorias nos controles ativos e passivos		
	Maior velocidade com menor ruído		
Redução na Perda de Energia	Redução sujeira das pás	+7/+5/0	0/0/0
	Sensores mais resistentes a dano		
	Sistema de controle robusto		
	Prognóstico de manutenção		
Sistema de Transmissão (Gerador, engrenagens e sistema eletrônico de potência)	Redução estágios de transmissão/Acionamento direto	+8/+4/0	-11/-6/+1
	Baixa e média velocidade de rotação		
	Ajuste na voltagem do equipamento		
	Transmissão Avançada		
	Novos circuitos de transmissão		
	Novos semicondutores		
Evolução na Curva de Aprendizado e Fabricação	Novos designs, sustentabilidade e melhoria de processos	0/0/0	-27/-13/-3
	Produção em larga escala		
	Redução tempo de projetos		
Total		+61/+45/+21	-36/-10/+21

Fonte: Adaptado de THRESHER; ROBINSON; VEERS (2008 p.17).

Um dos desafios adicionais a essa trajetória tecnológica, atualmente, é expandir o raio de atuação e tornar competitivamente viável os parques eólicos offshore.

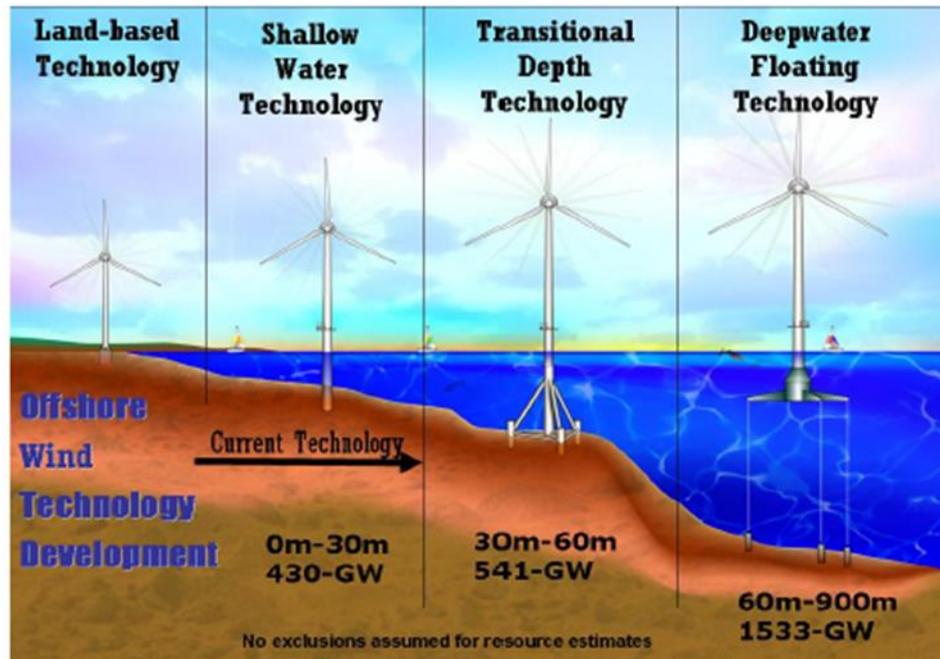
*The current shallow-water offshore wind turbine is basically an upgraded version of the standard land-based turbine with some system redesigns to account for ocean conditions. These modifications include structural upgrades to the tower to address the added loading from waves, pressurized nacelles, and environmental controls to*

*prevent corrosive sea air from degrading critical drive train and electrical components, and personnel access platforms to facilitate maintenance and provide emergency shelter. To minimize expensive servicing, offshore turbines may be equipped with enhanced condition monitoring systems, automatic bearing lubrication systems, on-board service cranes, and oil temperature regulation systems, all of which exceed the standard for land-based designs. (THRESHER; ROBINSON. VEERS, 2008 p.18)*

Para que a implementação e evolução da energia eólica sobre as águas seja possível, segundo o autor, há 3 caminhos lógicos a serem seguidos: O primeiro caminho seria pela via de redução dos custos envolvidos nos materiais atualmente e as políticas de incentivo à exploração dessa tecnologia em águas profundas. O segundo seria uma evolução da tecnologia hoje disponível, possibilitando a criação de torres mais robustas (utilizando sinergias das plataformas petrolíferas atuais) com maior aproveitamento de geração, e o terceiro caminho seria desenvolver uma tecnologia onde a torre pudesse ser colocada em alto mar com o auxílio de sistemas flutuantes.

*There are three logical pathways representing progressive levels of complexity and development that will lead to cost reductions and greater offshore deployment potential. The first path is to lower costs and remove deployment barriers for shallow water technology in water depths of 0 to 30 meters. The second path is transitional depth technology, which is needed for depths where current technology no longer works. This technology deals mostly with substructures that are adapted from existing offshore oil and gas practices. Transitional depths are defined to be 30 to 60 meters. The third path is to develop technology for deep water, defined by depths between 60 and 900 meters. This technology will probably use floating systems, which require more R&D to design turbines that are lighter and can survive the added tower motion on anchored, buoyant platforms. (THRESHER; ROBINSON. VEERS, 2008 p.18-19)*

Figura 13 – Evoluções da Energia Eólica Offshore: Desafios Futuros



Fonte: THRESHER; ROBINSON. VEERS (2008 p.21).

Para a evolução dessas tecnologias, há a necessidade que setor público e privado invistam conjuntamente em P&D.

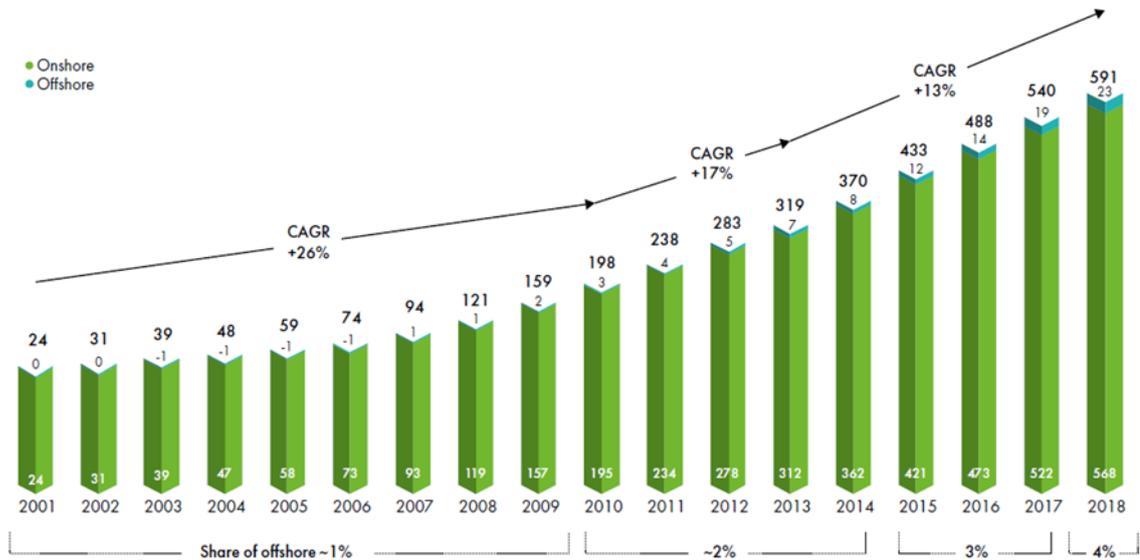
*New offshore technologies will be required to grow wind turbines into 5 to 10 MW sizes or greater. These technologies may include lightweight composite materials and composite manufacturing, lightweight drive train (...)If they are successful, the technology will develop more rapidly and the move to deep water systems will progress at a more rapid rate. However, the path toward floating systems must be supported by an extensive R&D program over a decade or more. (THRESHER; ROBINSON. VEERS, 2008 p.9).*

### 3.4 CAPACIDADE INSTALADA NO MUNDO

A capacidade eólica instalada está em pleno crescimento nos últimos anos. A partir dos dados da GWEC, ao final de 2018, a potência mundial instalada alcançou 591 GW, um crescimento na casa dos 488% em 10 anos. Na figura, é apresentado uma serie temporal de 2001 até 2019, onde a barra verde mostra a capacidade instalada da energia *Onshore* e a parte azul o crescimento da energia *Offshore*. Em termos percentuais, no ano de 2018 tivemos um

crescimento de 9,4% frente a 2017 corroborando os avanços tecnológicos e a redução nos custos tem feito com que esse tipo de energia renovável seja cada vez mais utilizada pelos países.

Gráfico 5 – Evolução Capacidade Instalada Global



Fonte: GWEC (2019 p.28).

Os principais países em capacidade instalada, para o mesmo período, são liderados pela China com 206 GW, que representa 36% da capacidade total, seguidos de Estados Unidos (97 GW) e Alemanha (53 GW). Nesse contexto, o Brasil ocupada a 6º colocação com 14,7 GW instalados, sendo o quinto país que mais instalou energia eólica em 2017, com cerca de 2 GW, como visto na figura abaixo:

Tabela 1 – Evolução Capacidade Onshore

MW, Onshore	New Installations 2017	Total Installations 2017	New Installations 2018	Total Installations 2018
<b>TOTAL ONSHORE</b>	<b>48996</b>	<b>521774</b>	<b>46820</b>	<b>568409</b>
<b>Americas</b>	<b>10572</b>	<b>123091</b>	<b>11940</b>	<b>135041</b>
USA	7017	89047	7588	96635
Canada	341	12240	566	12816
Brazil	2027	12769	1939	14707
Mexico	478	4006	929	4935
Argentina	24	228	494	722
Chile	269	1418	204	1621
Other Americas	416	3383	220	3605
<b>Africa, Middle East</b>	<b>632</b>	<b>4758</b>	<b>962</b>	<b>5720</b>
Egypt	0	810	380	1190
Kenya	0	26	310	336
South Africa	618	2085	0	2085
Other Africa	14	1837	272	2109
<b>Asia-Pacif</b>	<b>23927</b>	<b>231419</b>	<b>24902</b>	<b>256320</b>
China	18499	185604	21200	206804
India	4148	32938	2191	35129
Australia	501	4813	549	5362
Pakistan	199	789	400	1189
Japan	170	3399	262	3661
South Korea	103	1102	127	1229
Vietnam	38	197	32	228
Philippines	0	427	0	427
Thailand	218	648	0	648
Other Asia	51	1502	141	1643
<b>Europe</b>	<b>13865</b>	<b>162506</b>	<b>9016</b>	<b>171328</b>
Germany	5334	50779	2402	53180
France	1692	13757	1563	15307
Sweden	197	6499	717	7216
United Kingdom	2641	12412	589	13001
Turkey	766	6872	497	7370
Other Europe	3235	72187	3248	75435

Fonte: Adaptado de GWEC (2019 p.30).

Tabela 2 – Evolução Capacidade Offshore

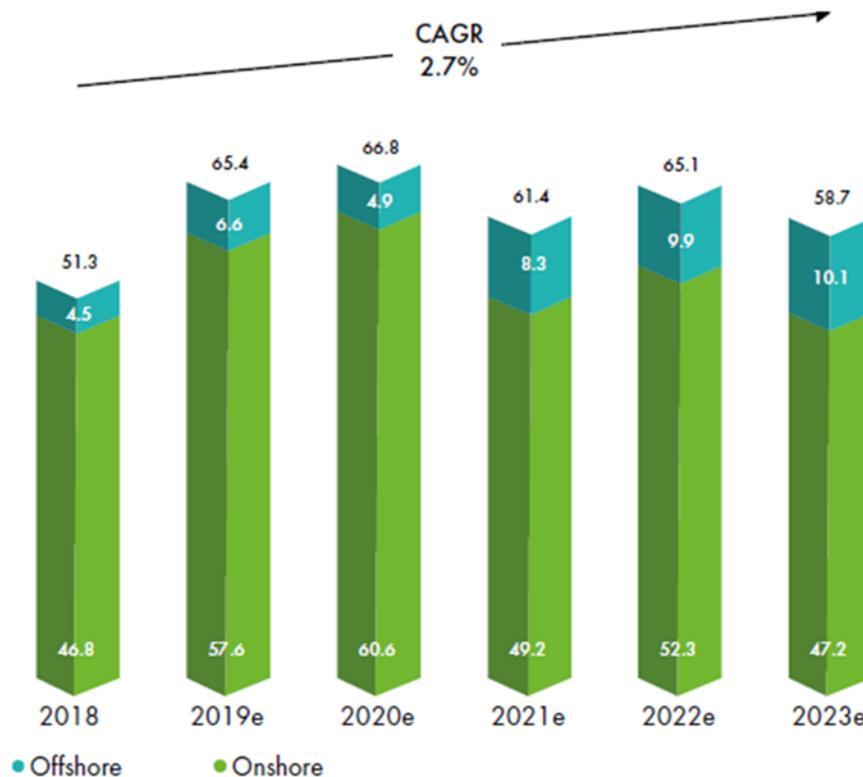
MW, Onshore	New Installations 2017	Total Installations 2017	New Installations 2018	Total Installations 2018
<b>TOTAL OFFSHORE</b>	<b>4472</b>	<b>18658</b>	<b>4496</b>	<b>23140</b>
<b>Europe</b>	<b>3196</b>	<b>15630</b>	<b>2661</b>	<b>18278</b>
United Kingdom	1715	6651	1312	7963
Germany	1253	5411	969	6380
Belgium	165	877	309	1186
Denmark	0	1268	61	1329
Netherlands	0	1118	0	1118
Other Europe	63	305	0	302
<b>Asia-Pacif</b>	<b>1276</b>	<b>2998</b>	<b>1835</b>	<b>4832</b>
China	1161	2788	1800	4588
South Korea	3	38	35	73
Other Asia	112	172	0	171
<b>Americas</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>30</b>
USA	0	30	0	30

Fonte: Adaptado de GWEC (2019 p.30).

As perspectivas para o mercado global de energia eólica são muito positivas. Para os próximos 5 anos, segundo os dados da GWEC, há uma expectativa que o setor ultrapasse a 55 GW de novas instalações a cada ano.

*The investment climate for wind energy and renewable energy has stayed positive during 2018, and despite, certain outlooks on the global economy, the activity level in the wind market will remain high. (...) Near-term, governmental support (auction/tender programmers and renewable targets) are still a main driver for installations. The opportunities for wind energy to operate on a commercial basis are increasing though as wind is proving its cost-competitiveness. (GWEC 2019 p.54).*

Gráfico 6 – Perspectiva Global para os Próximos 5 anos



Fonte: GWEC (2019 p.30).

A energia eólica, hoje, é considerada uma das mais renováveis e promissoras fontes verdes de energia, pelo cunho renovável e de baixo impacto. Sua utilização não se restringe apenas a grandes parques eólicos, mas pode ser utilizado em pequenas residências, em locais isolados.

A intensificação do uso dessa energia, conforme mostrado anteriormente, corrobora a preocupação dos países em manter fontes de energia limpa e com o uso da inovação prover de

uma fonte inesgotável de energia que permita o crescimento econômico com desenvolvimento sustentável.

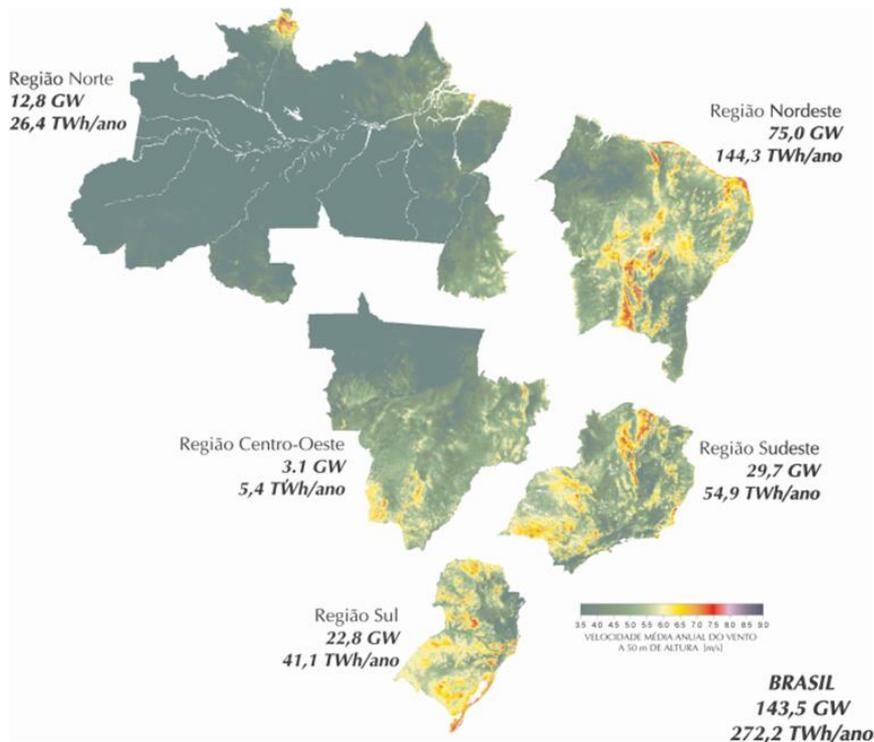
## 4 EVOLUÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

O presente capítulo visa esmiuçar a evolução da energia eólica no Brasil, desde a criação do sistema de leilões de energia, assim como potencial de geração da energia eólica no país.

### 4.1 POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO

O uso da energia eólica no mundo tem crescido muito nos últimos anos devido à forte disseminação da tecnologia, melhoria das máquinas, custos decrescentes de investimentos e, em particular, pela procura de fontes energéticas mais limpas, com baixos impactos ambientais (DUTRA, 2001). O Brasil, nesse quesito, possui um potencial muito grande a ser explorado, dadas as condições favoráveis de vento. Segundo o Atlas do potencial eólico Brasileiro demonstra que o Brasil, analisando a energia *onshore*, tem potencial de geração acima dos 270 TWh/ano.

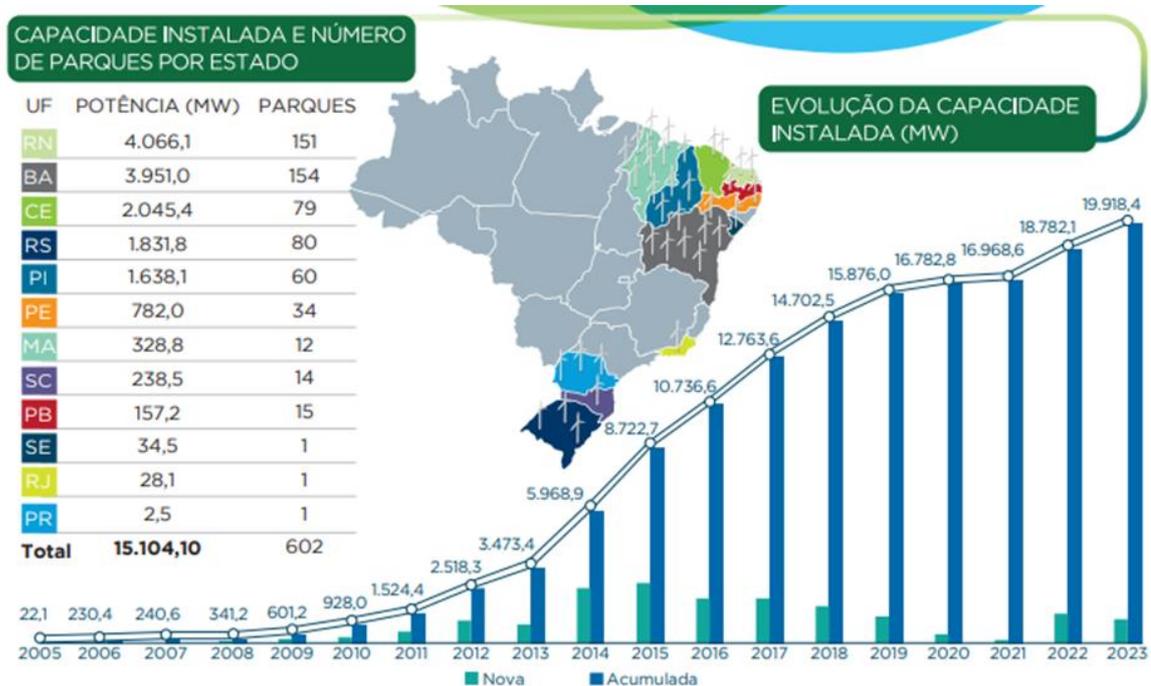
Figura 14 – Potencial Eólico Brasileiro Estimado



Fonte: AMARANTE et al. (2001, p.44).

É um fato indiscutível que a fonte eólica tem demonstrado um crescimento extraordinário no Brasil na última década, sendo hoje já uma fonte de energia consolidada. “A eólica deixou de ser uma fonte “alternativa” para ter um papel fundamental na matriz elétrica brasileira” (ABEEÓLICA, 2018). Em 2016, o Brasil ultrapassou a barreira dos 10GW eólicos instalados, o que representa uma marca expressiva, considerando que em 2005 o setor eólico brasileiro possuía menos de 50MW. Estima-se que até 2023 o Brasil atinja algo em torno dos 20GW de capacidade instalada.

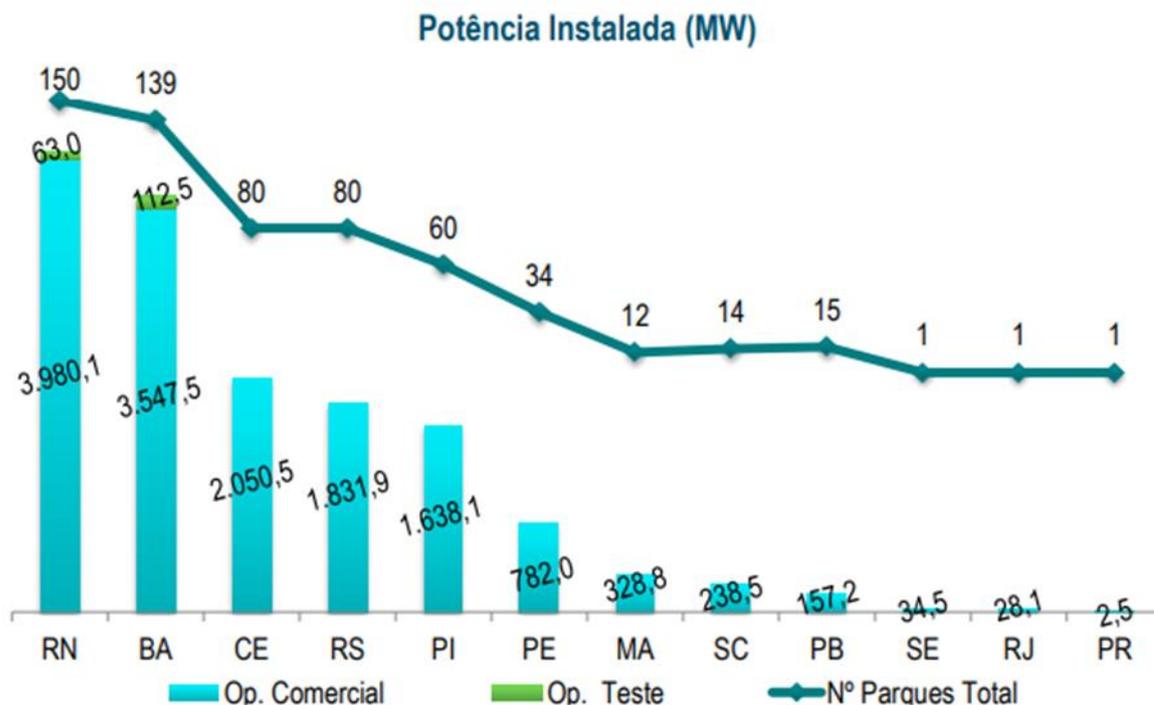
Figura 15 – Evolução Capacidade Instalada no Brasil



Fonte: ABEEOLICA (2019).

A liderança na capacidade instalada fica por conta do estado do Rio Grande do Norte, com aproximadamente 4GW instalados, segundo os dados de fevereiro de 2019 da ABEEÓLICA (<http://abeeolica.org.br/dados-abeeolica/>). O nordeste brasileiro possui vantagem em relação aos ventos mais regulares sendo mais atrativo a construção e exploração do potencial eólico na sua região. O 4º maior estado é o Rio Grande do sul, com aproximadamente 2GW instalados sendo que grande parte desse potencial está localizado no parque eólico do Osório.

Gráfico 7 – Potência Instalada por Estado Brasileiro – fevereiro/2019



Fonte: ABEEÓLICA (2019).

Mesmo sendo pouco representativa frente à geração hidroelétrica (6,8% da matriz energética), a energia eólica abastece, em média, 25 milhões de residências mensalmente.

Cruzando dados da EPE sobre o consumo médio residencial do Brasil e dados de geração da CCEE, podemos ver que o que o Brasil gera de energia eólica equivale ao consumo médio mensal de cada vez mais brasileiros. Em 2008, por exemplo, a energia dos ventos gerava o equivalente para atender 2 milhões de pessoas (660 mil residências). Em 2017, já eram mais de 67 milhões de brasileiros (22,4 milhões de residências). Estimamos que, em 2022, a geração eólica será a suficiente para atender o consumo médio mensal de mais de 100 milhões de brasileiros (cerca de 33 milhões de residências). (ABEEÓLICA, 2018).

Gráfico 8 – Número de Residências Brasileiras Abastecidas por Energia Eólica – 2018



Fonte: ABEEÓLICA (2019).

O potencial eólico *offshore*<sup>18</sup> do Brasil é ainda maior. “Os ventos alísios, presentes na região nordeste do país, são de intensidade e direção constantes, sendo as melhores características para empreendimentos eólicos *offshore*”. (MATSUMURA, 2019).

Segundo estudo do Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) mostra que o potencial de geração de energia eólica da costa brasileira é de 10 vezes superior ao em terra. O estudo informa ainda que poderiam ser instalados 3,5mil GW de potência eólica offshore no Brasil, caso fosse aproveitado toda a ZEE (Zona Econômica Exclusiva) do país (PINTO, 2012, p 294.).

O Brasil ainda não possui parques eólicos *offshore*, uma vez que os custos relacionados a instalação e manutenção em alto mar ainda são barreiras à entrada.

#### 4.2 CRIAÇÃO E EVOLUÇÃO NO BRASIL

O Brasil possui uma das matrizes mais renováveis do mundo. Como mostrado anteriormente, aproximadamente 82% da nossa matriz elétrica é oriunda de fontes renováveis, majoritariamente da energia hidroelétrica. Segundo dados do balanço energético nacional, realizado pelo EPE (Empresa de Pesquisa Energética) do ministério de minas e energia, apenas 6,8% da matriz é proveniente da energia eólica.

<sup>18</sup> Parque eólico flutuante instalado sobre a superfície marítima.

Contudo, os primeiros esboços de desenvolvimento dessa energia renovável são relativamente recentes. Após a crise do petróleo em 1973, o Brasil realizou seu primeiro ensaio de 15 protótipos, em São José dos Campos/SP, porém sem sucesso dado que as estruturas apresentaram fadiga no suporte das pás e baixa durabilidade do rotor. Quem estava à frente desse projeto era a CTA (Centro de Tecnologia Aeroespacial) e fora fundamental para incentivar a avaliação do potencial eólico do Brasil, principalmente na região nordeste. No ano de 1981, o projeto DEBRA (siglas iniciais Deutschland e Brasil) foi criado com o intuito de desenvolver turbinas com 100kW e rotores de 25 metros a serem instalados na região nordeste, porém o projeto não teve êxito e também foi cancelado, em 1983.

A primeira turbina eólica instalada no Brasil (sendo a primeira também na América do Sul) foi concluída apenas em 1992, em Fernando de Noronha. O aerogerador de 23 metros de torre e 17 metros de rotor geravam aproximadamente 75kW de potência. “Na época de sua instalação, respondia por até 10% da energia gerada no arquipélago” (PINTO, 2012, p.272). O investimento de 250.000 dólares foi fruto da parceria da Celpe (Companhia Energética de Pernambuco) com um grupo de estudo da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco) e a Folkcenter (instituto de pesquisa dinamarquês). Os primeiros passos do Brasil na busca da obtenção de energia a partir dos ventos demonstram a importância do desenvolvimento de longo prazo e as sinergias obtidas através das redes de conexões entre universidades e Estado.

O segundo aerogerador só foi instalado no Brasil no começo dos anos 2000, novamente em parceria público-privado com o governo brasileiro e dinamarquês para a instalação de uma turbina de 225kW, também em Fernando de Noronha. “Com a inclusão da turbina, a ilha tornou-se o maior sistema híbrido em operação da América Latina, composto por duas turbinas eólicas (75kW e 225kW) e a usina termelétrica de tubarão” (PINTO, 2012 p.273).

O primeiro parque eólico instalado no Brasil foi inaugurado também no começo dos anos 2000 no estado do Ceará. Através de um convênio entre a companhia de eletricidade do Ceará e a alemã Wobben-Enercon. Primeiramente foi inaugurado o parque de São Gonçalo, com capacidade de geração na casa dos 5MW com aproximadamente 10 aerogeradores e 500kW instalados. Posteriormente o segundo parque eólico foi inaugurado em Alquiraz, tendo o dobro da capacidade do primeiro. Esses dois parques são “considerados os primeiros e únicos parques eólicos do mundo construídos sobre dunas, assim como os primeiros parques eólicos comerciais instalados no Brasil” (PINTO 2012, p.276).

A energia eólica apresenta um elevado potencial de uso no Brasil, particularmente em regiões costeiras, e um nível de impacto ambiental extremamente reduzido. Esse tipo de energia

confere uma das maiores oportunidades brasileiras para produção de energia além do desenvolvimento de tecnologia e geração de empregos.

O aumento da demanda por energia elétrica brasileira, com a predominância da matriz elétrica de fonte hidrográfica, culminou em alguns gargalos que resultaram no apagão de 2001, alertando os agentes do Estado a tomarem medidas potenciais para sua solução. “Nesse contexto, e inspirado na legislação semelhante na Alemanha e Dinamarca, foi criado o Proinfa – Programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica, em 26 de abril de 2002 pela lei 10.438, coordenado pelo ministério de minas e energia e gerenciado pela Eletrobrás” (PINTO, 2012 p.295).

O programa surgiu com a intenção de incentivar o crescimento de fontes como a eólica, biomassa e PHC (pequenas centrais hidroelétricas) com intuito de diversificar a nossa matriz elétrica para aumentar a segurança no abastecimento e reduzir a possibilidade de novos apagões.

O Proinfa, em seu escopo inicial, era dividido em duas fases: uma fase de curto prazo, com instalação de 3300MW de potência subdividida entre as 3 fontes alternativas. A segunda fase, visando o longo prazo, a meta era atender 10% do consumo anual de energia elétrica no país em até 20 anos. O BNDES, para incentivar a criação desse mercado, montou uma linha especial de crédito às concessionárias de distribuição e produtores independentes de energia elétrica. Contudo, houve diversas dificuldades aos empresários ainda na primeira fase do projeto. As principais dificuldades, segundo PINTO, 2012 foram:

- Limite Financeiro, levando a criação de novas sociedades e alteração de titularidade
- Necessidade de revisão dos projetos e novas regras na obtenção de licenças ambientais
- Dificuldades dos agentes financeiros por causa de seu baixo *Know How* relativo ao tema (PINTO,2012 p.296)

O Proinfa teve um impacto limitado na cadeia produtiva. Poucos novos entrantes no mercado brasileiro se credenciaram no BNDES. Apesar do programa ter criado a demanda por aerogeradores, a sustentabilidade da demanda não estava garantida e faltava planejamento para distribuí-la no tempo (ARAUJO; WILLCOX, 2018 p.206).

Visto que os prazos da primeira fase não foram concluídos e havia pouco interesse na segunda fase, o governo federal alterou o modelo de desenvolvimento do setor eólico, criando um sistema de leilões para contratação da demanda por energia.

O novo modelo incentivou a concorrência por tarifas mais baratas, se comparado às tarifas fixadas pelo Proinfa. Os leilões eram subdivididos em 4 tipos, segundo (PINTO,2012 p.296):

- De energia existente (A-1): corresponde à produção das usinas que já se encontram em operação, tendo obviamente um prazo de entrega de energia;
- De energia nova (A-3 e A-5): corresponde à produção de empreendimentos em processo de leilão das concessões e de usinas que já foram autorizadas pela Aneel e estão em fase de planejamento ou construção. Aqui o prazo de entrada em operação é de 3-5 anos;
- De ajuste: corresponde, por parte das distribuidoras, ao complemento do volume (no máximo de 1% do volume total) de energia elétrica necessária ao atendimento do mercado;
- De reserva: corresponde à produção de usinas que entraram em operação apenas em caso de escassez da produção tradicional.

O primeiro leilão exclusivo para fontes alternativas ocorreu apenas em 2007, sendo comercializado 4,2 bilhões de reais e aproximadamente 640 MW de energia. Nesse leilão em específico, houve uma tentativa, porém, fracassada de incluir a energia eólica. O primeiro leilão exclusivo para energia eólica aconteceu apenas em 2009. Nesse leilão, também descrito como o segundo leilão de energia de reserva, os empreendimentos totalizaram uma potência instalada de 10.005 MW (PINTO, 2012 p.298). A tabela abaixo demonstra os estados envolvidos no leilão, a quantidade de projetos e a capacidade de geração de energia.

Tabela 3 – Estados Participantes e Respective Índices no Primeiro Leilão Eólico

ESTADO	Projetos		Potência (MW)	
	Quantidade	%	Quantidade	%
Bahia	36	10,6	1004	10
Ceará	108	31,9	2515	25,1
Espírito Santo	6	1,8	153	1,5
Piauí	13	3,8	336	3,4
Rio Grande do Norte	105	31	3629	36,3
Rio Grande do Sul	67	19,8	2238	22,4
Santa Catarina	2	0,6	75	0,7
Sergipe	2,0	0,6	54,0	0,5
<b>Total Brasil</b>	<b>339</b>	<b>100</b>	<b>10004</b>	<b>100</b>

Fonte: Adaptado de PINTO (2012, p.298).

Esse leilão movimentou cifras na casa dos 20 bilhões de reais e foram selecionadas 71 empresas em 5 estados, com um total de 1,805MW.

Tabela 4 – Resultado do Primeiro Leilão de Energia Eólica – 2009

ESTADO	Projetos		Potência (MW)	
	Quantidade	%	Quantidade	%
Bahia	18	25,4	390	21,6
Ceará	21	29,6	542,7	30,1
Rio Grande do Norte	23	32,4	657	36,4
Rio Grande do Sul	8	11,3	186	10,3
Sergipe	1	1,4	30	1,7
<b>Total Brasil</b>	<b>71</b>	<b>100</b>	<b>1805,7</b>	<b>100</b>

Fonte: Adaptado de PINTO (2012, p.299).

Contudo, a crise de 2008 forçou uma redução da demanda global por energia e o ritmo de aceleração da energia eólica no Brasil teve uma desacelerada. A adição anual de capacidade de geração eólica global estacionou em patamar próximo a 40 GW no triênio 2009-2011. Com a capacidade ociosa da indústria no mercado global, e o Brasil dando seus primeiros passos na evolução dos leilões de energia eólica, os holofotes se voltaram ao mercado doméstico brasileiro.

Como forma de credenciar novos fabricantes de aerogeradores e viabilizar o financiamento dos parques eólicos, o BNDES passou a estruturar Planos de Nacionalização Progressiva (PNP).

A lógica dos PNPs já fora usada em outros setores. Nela, muda-se a forma de credenciamento dos equipamentos, saindo da aferição da fabricação local pelo peso e pelo valor do aerogerador para a priorização de algumas etapas produtivas e itens de maior complexidade, que são definidos com base em um diagnóstico do setor e da base industrial já estabelecida no país (...) A demanda gerada pelo leilão, seguida de novos leilões, aliada à disponibilidade de financiamento de longo prazo a taxas atrativas e às regras de credenciamento do BNDES, incentivou tanto o investimento nos parques de geração quanto novos credenciamentos de fabricantes de aerogeradores. (ARAUJO; WILLCOX, 2018 p.208)

Com isso, grandes empresas do setor foram credenciadas pelo BNDES, assumindo responsabilidades de produzir as peças em solo nacional. Com o aumento da demanda posterior, advinda de mais leilões de energia, a fonte eólica passou a ser a segunda fonte mais competitiva no país em 2011, atrás apenas da energia hidroelétrica. “Também nesse ano, o Governo Federal centralizou o financiamento ao setor eólico no BNDES, reforçando a importância do Banco

como principal agente financiador das fontes renováveis e aumentando a potência de sua política de credenciamento dos aerogeradores” (BNDES, 2017 <sup>19</sup>apud ARAUJO; WILLCOX, 2018 P.209). Com isso, houve a implantação gradual da cadeia produtiva, que possibilitou a entrada de novas empresas e diversificação das empresas aqui instaladas, via investimento estrangeiro.

Fabricantes restabeleceram-se ou saíram do mercado (por exemplo, Vestas e Impsa, respectivamente), alguns por dificuldades financeiras. Outros fundiram-se globalmente e consolidaram fatia relevante do mercado nacional (por exemplo, fusão entre as divisões de energia da GE e da Alstom). Casos de verticalização na cadeia produtiva em âmbito global também alteraram a dinâmica de concorrência no país (por exemplo, aquisição da LM-Wind pela GE). Novos entrantes nacionais elevaram seus investimentos em P&D ou expandiram sua capacidade produtiva (por exemplo: WEG, aerogeradores; Engebasa, torres metálicas; e Uniforja, flanges) e o investimento estrangeiro direto se intensificou (por exemplo: Gestamp, torres; Iraeta, flanges; e SKF Kaydon, rolamentos). (ARAUJO; WILLCOX, 2018 p.211)

A criação de demanda doméstica por intermédio dos leilões de compra de energia renovável foi fundamental para o avanço da energia eólica no Brasil. A manutenção e ampliação dessa base são fatores relevantes para futuras expansões, seja *onshore* ou *offshore*, sendo que a evolução da energia eólica no Brasil pode ser resumida no quadro abaixo, que demonstra a importância da combinação de políticas públicas à política industrial.

---

<sup>19</sup> BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Livro Verde:** nossa história como ela é. Rio de Janeiro, 2017

Quadro 3 – Tópicos da Energia Eólica no Brasil

Capacidade instalada	Superou 10GW em cerca de uma década; Investimento superior a R\$ 60 bilhões (aproximadamente R\$ 6 bilhões/GW)
	2017 = 12,7 GW (nona maior capacidade global); 503 usinas instaladas
	2015-2017: Entre os cinco maiores mercados mundiais
	Desenvolvimento regional e redistribuição geográfica da geração para a região Nordeste
Fator de capacidade	Aproximadamente 40%, o maior entre os principais países geradores de energia eólica
	Maior que 60% em alguns parques e períodos do ano
Custo de geração de energia	Fonte alternativa mais competitiva do país (2011); atingiu o menor preço histórico em 2017, inferior à geração hídrica de grande porte
	Terceiro menor custo médio de geração global, atrás apenas de China e EUA, maiores mercados globais
Emprego	Mais de 150 mil empregos direto e indiretos na cadeia produtiva de energia eólica
Cadeia produtiva	Mais de cem novas empresas na cadeia de fornecedores
	Seis grandes fabricantes de aerogeradores com plantas fabris estabelecidas
	Um fabricante nacional de aerogeradores
	Base metal-mecânica diversificou sua atuação para a eólica de maneira relevante
	Descontração regional da manufatura da região Sudeste para as regiões Sul e Nordeste
Custo de fabricação dos aerogeradores	Em queda com os ganhos de escala do mercado; alguns dos componentes críticos do aerogerador são exportados
Prazo para implantação dos parques de geração	Próximo a um ano no presente; superava dois anos no início dos leilões
Potência média dos aerogeradores em novos empreendimentos	Aproximadamente 2MW, inferior apenas a Alemanha e Dinamarca e superior a China, Índia e EUA
Redução de emissão de CO <sub>2</sub>	21.823.688 toneladas anuais de CO <sub>2</sub>

Fonte: Adaptado de ARAUJO; WILLCOX (2018, p.214).

O estágio atual de desenvolvimento da indústria eólica no mundo é fruto, sobretudo, da construção de políticas energéticas e industriais de sucesso. Não ocorreu de forma espontânea. O desenvolvimento tecnológico e da manufatura no setor eólico e a difusão das inovações pelos diferentes mercados não se materializaram sem grande apoio do setor público. (ARAUJO; WILLCOX, 2018 p.187).

Assim como no resto do mundo, a inserção da energia eólica na matriz energética nacional está correlacionada à adoção de políticas que fomentam o seu desenvolvimento. O

Proinfa e o modelo de leilões, realizadas pelo Estado, foram as políticas que estruturaram o mercado de energia eólica no Brasil.

#### 4.3 ANÁLISE DA CADEIA PRODUTIVA BRASILEIRA

Dado a expansão e criação da demanda do setor eólico pelo Estado, com a criação do Proinfa e contando com grande apoio do BNDES, grandes multinacionais instalaram-se no país para competir nesse potencial mercado que é a energia eólica. Essa atração por investimentos direto estrangeiros (IDE) só fora possível dado uma das regras do Proinfa que impôs a nacionalização do processo produtivo. Nas primeiras fases do Proinfa, o IN (índice de nacionalização) era de 60%. Além disso, fora fundamental para a consolidação e crescimento exposto na evolução da capacidade instalada, as linhas de financiamento dos bancos estatais.

O sucesso da eólica no Brasil também pode ser explicado pelo rápido desenvolvimento de uma cadeia produtiva local e eficiente, que começou com índice de nacionalização próximo de 60% e alcançou a fabricação em território nacional de 80% de um aerogerador, conforme regras de financiamento do Programa FINAME do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). (ABEEOLICA,2018)

As linhas de financiamento preferenciais tanto do BNDES como do BNB são importantes fatores competitivos para os empreendimentos eólicos. Como estes projetos são intensivos em capital, o acesso a um financiamento com juros reduzidos é central para a competitividade de um empreendimento. Ademais, tais linhas de crédito também oferecem prazos compatíveis com os investimentos e eliminam o risco cambial quando comparado às compras financiadas de bens importados. (PODCAMENI, 2014, p.154).

Para vislumbrar essa evolução da cadeia produtiva do setor eólico, foram analisados o mapeamento realizado pela ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial). De acordo com o relatório, em 2014 a cadeia produtiva era formada por 79 indústrias diretamente voltadas para o setor eólico, seja na questão de montagem ou fabricação dos componentes e subcomponentes, já em 2017 esse número aumentou para 131, sinalizando a evolução significativa da cadeia produtiva e demonstrando a força e interesse das empresas nesse setor. “O desenvolvimento da eólica no Brasil já acumula um investimento de mais de US\$ 32 bilhões nos últimos sete anos” (ABEEÓLICA, 2018).

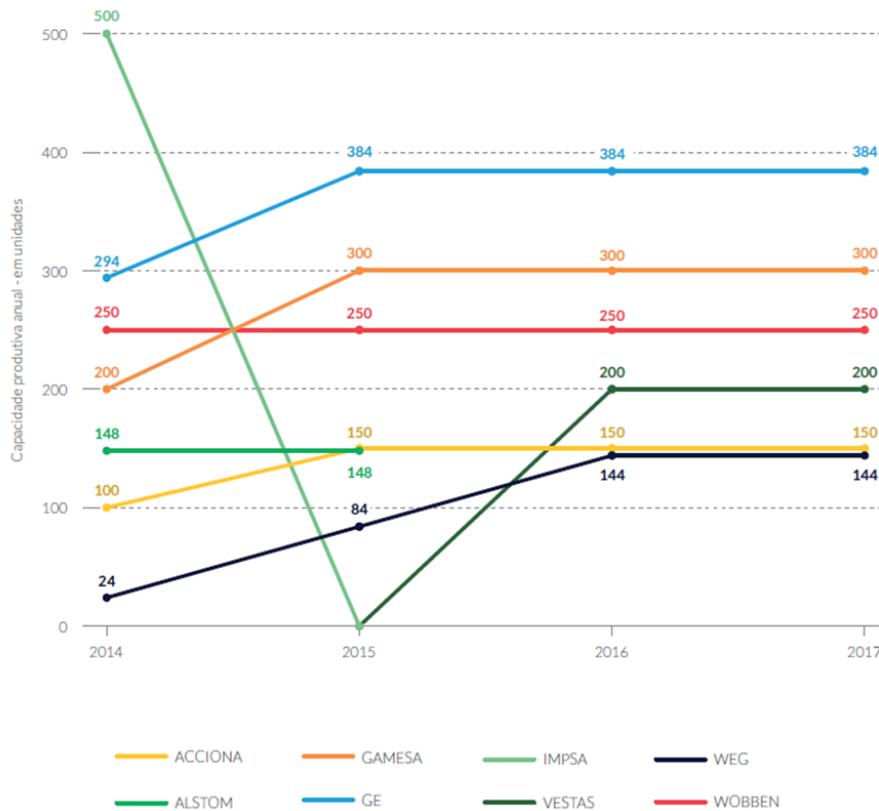
Ressalta-se, portanto, a constituição de uma robusta cadeia de fornecedores nacionais e estrangeiros, os quais foram atraídos para investir no Brasil a partir de políticas de conteúdo local regulada pelo BNDES, que financiou grande parte dos projetos de geração de energia de fonte eólica no país desde 2009, e de políticas públicas representadas pelo Plano Nacional de Desenvolvimento (PDE), que incentivaram a geração de energia eólica (ABDI, 2018 p.8).

Analisando a evolução das montadoras, em 2014 haviam apenas 10 montadoras atuantes no país, sendo apenas uma de origem brasileira. Seis dessas montadoras foram credenciadas a partir da parceria entre o BNDES e o FINAME sendo elas:

- IMPSA
- WOBLEN
- GE
- ALSTOM
- GAMESA
- ACCIONA
- WEG
- VESTAS
- SIEMENS
- SUZLON

Muitas dessas empresas realizaram o processo de fusão com outras empresas do ramo (Siemens e Gamesa, Alstom e GE e posteriormente Acciona e Nordex) com propósito de aumentar suas capacidades produtivas e realizarem sinergias para tornar o mercado mais competitivo. A imagem a seguir mostra a evolução das principais montadoras em capacidade produtiva. A Brasileira WEG, mesmo com baixa capacidade frente a estrangeiras, vem crescendo em ritmo acelerado.

Gráfico 9 – Evolução da Capacidade Instalada Produtiva – Principais Montadoras



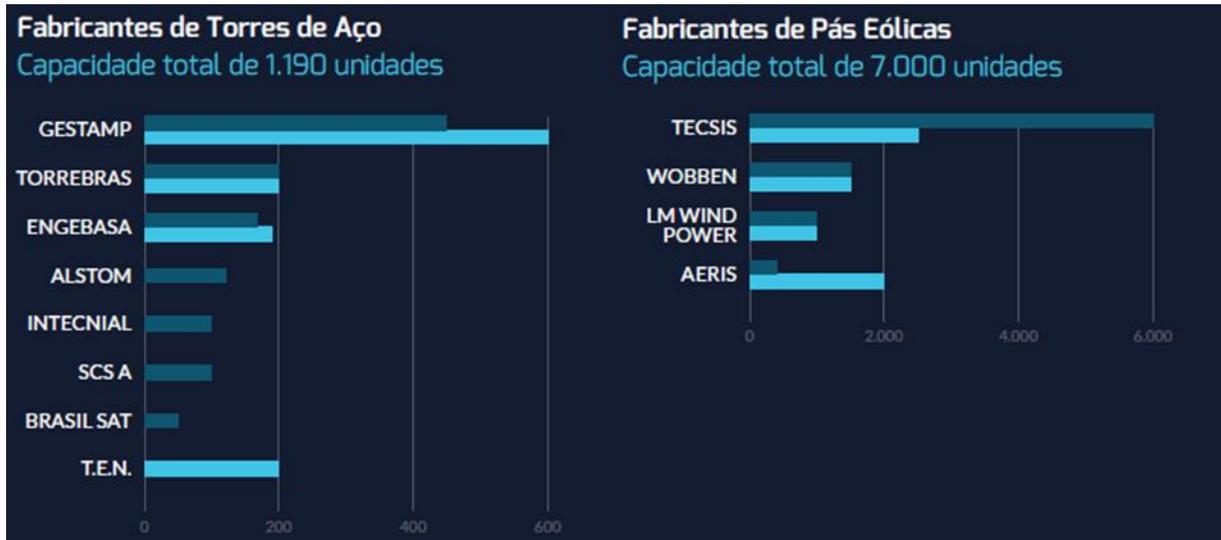
Fonte: ABDI (2018 p.22).

Dos dois principais componentes do aerogerador, as pás e a torre, o Brasil mostrou uma evolução bastante significativa desde 2014, superando em grande parte a demanda anual por esses componentes.

Embora não se tenha dados objetivos quanto à capacidade produtiva das fábricas de torres de concreto (capacidade variável), pode-se concluir que haveria um excedente na capacidade total de torres. Com base na capacidade atual das montadoras que utilizam torres de aço, a demanda por este tipo de torre seria de até 884 unidades/ano, e a capacidade total das fábricas de torres de aço é de 1.190 torres/ano. (ABDI, 2018 p.26).

As principais montadoras de torres instaladas no Brasil atualmente são Gestamp, Torrebras e Engebasa. Para as pás, que é o componente de maior custo do aerogerador o país possui apenas 4 empresas: Tectis, Wobben, LM Wind Power e Aeris. Em relação a 2014, observa-se, portanto, uma redução na capacidade produtiva de pás em cerca de 2.000 unidades, ou mais, impactada pelo fechamento das unidades da Tectis em Sorocaba (ADBI, 2018).

Gráfico 10 – Evolução da Capacidade Produtiva dos Principais Componentes



Fonte: ABDI (2018 p.81).

A evolução na capacidade das empresas em produzir vem das constantes inovações incrementais e de materiais utilizados para a fabricação e de todo o processo envolto na construção de um parque eólico. O quadro abaixo demonstra os principais materiais utilizados para a fabricação dos componentes, o que demonstra a diversidade e a busca das empresas em buscar fontes alternativas de fabricação e redução dos custos.

Quadro 4 – Principais Materiais para Construção do Aerogerador

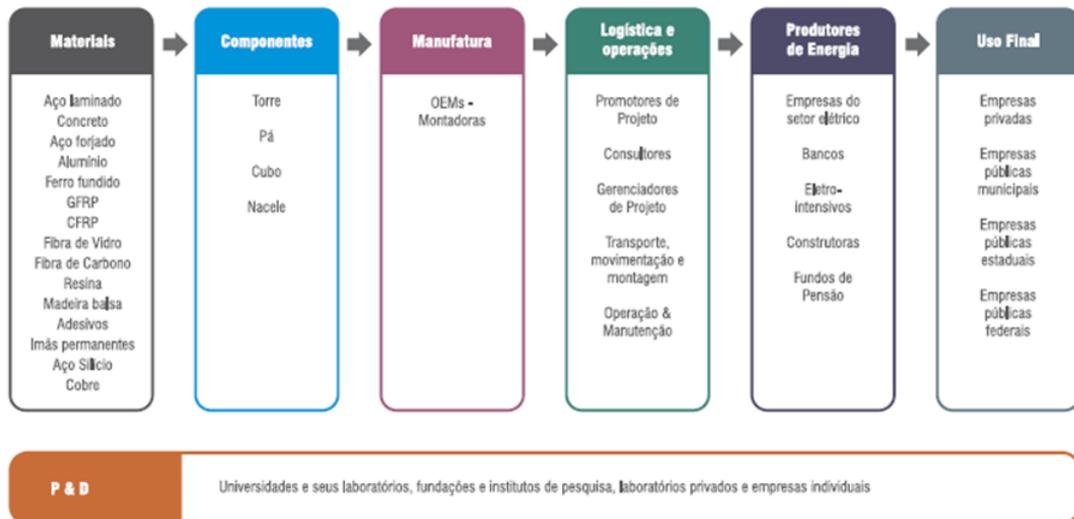
MATERIAL	COMPONENTE	OBSERVAÇÕES
Aço laminado (Caldeirados)	Torre de aço, rotor e estator, estrutura da nacela, maquinário (sistema hidráulico, de controle, de lubrificação)	Cerca de 98% de uma torre cônica de aço é aço (aprox. 89% do aerogerador em peso é aço, para o caso dos aerogeradores com torres de aço).
Concreto	Torre de concreto, bloco da fundação (base do aerogerador)	Composição do concreto: cimento, areia, brita, água e aditivos plastificantes. Em aerogeradores com torre de aço, cerca de 1,3% em peso do total é concreto (fundações). Uma torre de concreto tem massa de aprox. 850 ton.
Aço forjado	Coroas dos rolamentos do rotor (sistema de passo) e do sistema de Yaw, eixo principal, flanges da torre	
Alumínio	Cubo do rotor, internos da torre, caixa de engrenagem, transformador, carenagens, cabos	Aprox. 0,8% em peso do aerogerador.
Ferro fundido	Cubo do rotor, caixa de engrenagem, gerador, mancais, eixo	É o material da carcaça do cubo.
GFRP (plástico reforçado com fibra de vidro - compósito)	Pás, carenagem (habitáculo) da nacela, carenagem do cubo	Ver fibra de vidro e resina. O fabricante do componente faz a infusão da fibra com resina. Cerca de 95% em peso da pá é material compósito e adesivos. Representa aprox. 5,8% em peso do aerogerador.
CFRP (plástico reforçado com fibra de carbono - compósito)	Pás	Ver fibra de carbono e resina. O fabricante do componente faz a infusão da fibra com resina.
Fibra de vidro	Pás, carenagem (habitáculo) da nacela, carenagem do cubo	Insumo para o compósito GFRP, 70 a 75% em peso da pá.
Fibra de carbono	Pás	Insumo para o compósito CFRP.

Fonte: ABDI (2014 p.31).

Muitos desses materiais foram implantados após grupos de pesquisa e instituições envolvidas, com seus processos de P&D, encontrarem viabilidade no uso. As principais frentes criadas no Brasil são as Redes de pesquisa em energia eólica (RBPEE), promovida pela Abeeólica e tem como intuito estimular as sinergias e cooperação entre empresas para o desenvolvimento da capacidade empresarial de inovar.

Os grupos de pesquisa estão concentrados nos estados das regiões Nordeste e Sul, regiões com maior potencial eólico e maior número de parques instalados. As instituições envolvidas em PD&L no país incluem universidades e seus laboratórios, algumas fundações e institutos de pesquisa e, em menor número, laboratórios privados e empresas individuais. (ABDI, 2014 p.35).

Figura 16 – Cadeia de Valor dos Bens e Serviços Envolto ao Setor Eólico



Fonte: ABDI (2014 p.36).

Atualmente, existem dois polos produtivos no Brasil. Um polo está concentrado na região nordeste, envolto dos estados da Bahia, Pernambuco, Ceará e Rio Grande do Norte e um no sudeste e sul, envolvendo São Paulo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. A escolha das localidades para instalação é estratégica das empresas, conforme citado no estudo da ABDI:

- Proximidade aos parques eólicos e condições de infraestrutura: dada a extensão territorial brasileira e a concentração dos parques/potencial eólico no Nordeste e no Rio Grande do Sul, montadoras como IMPSA, GAMESA, ALSTOM e ACCIONA procuraram ter suas unidades de cubo e nacele em locais próximos destas áreas, visando reduzir custos logísticos para a entrega destes componentes, considerando também as condições de infraestrutura relativas a portos e rodovias, que têm significativo impacto econômico, além de algum tipo de apoio ou incentivo oferecido pelos governos estaduais.
- Estrutura fabril existente: esse parece ser o caso da WEG, que tem sua unidade de montagem dentro de seu grande parque fabril em Jaraguá do Sul, e também da GE, em sua unidade em Campinas. Essas duas empresas se beneficiam também da proximidade da cadeia produtiva, pois a estrutura fabril da WEG em Jaraguá tem condições de internalizar vários itens do aerogerador, e a GE está muito próxima de fabricantes de diversos subcomponentes. A WEG tem ainda o benefício de estar na região Sul, o que facilita o atendimento aos parques desta região, como também para exportação aos países do Mercosul. (ABDI, 2014 p.121-122).

A evolução da cadeia passa pelo aprimoramento da trajetória tecnológica da energia eólica como um todo, não apenas no âmbito nacional, mas global. Atualmente, grande parte da tecnologia ainda é importada pois o custo de produção ainda é considerado elevado. Segundo a atualização da cadeia produtiva (ABDI, 2018), existem algumas evoluções positivas e outras que ainda precisarão ser aprimoradas no processo de melhoras contínuas da trajetória tecnológica, conforme resumo abaixo:

- **Sistemáticas de compras:** a gestão da cadeia produtiva de suprimentos é fundamental para a sustentabilidade e competitividade das empresas. As regras do BNDES é grande influenciadora nas relações entre montadoras e fornecedores;
- **Motivações para importar:** os custos dos componentes aqui produzidos são superiores aos importados, ou há falta de capacidade produtiva. Há preferências das montadoras por fornecedores globais mesmo que incorra em uma logística mais onerosa;
- **Bens com maior potencial para nacionalização:** resina para pás, flanges forjados para torre de aço, freios do aerogerador, anemômetros, sensores, caixa de engrenagem;
- **Cadeia produtiva nacional:** o setor eólico no Brasil está em fase de estruturação e em busca de consolidação. Os principais gargalos estão na falta de capacidade produtiva de alguns componentes e a falta de experiência local. Há empresas com potencial para iniciar operação no Brasil, porém as dificuldades burocráticas e processo de homologação são alguns entraves a entrada de novos *players*.
- **Custo dos insumos:** o aço é considerado a principal matéria prima envolvida na construção do aerogerador, contudo, o aço nacional continua sendo considerado caro, aproximadamente 30%, frente à compra do mercado internacional (China, Índia e Coreia);
- **Custos financeiros e competitividade:** desvantagem no âmbito da competitividade devido à alta carga tributária que incide na cadeia produtiva nacional, além dos altos encargos de mão de obra e custos logísticos (pedágios, licenças federais). Além dos impostos, o câmbio também tem impacto relevante pois grande parte dos insumos são importados;
- **Capacidade da indústria nacional em desenvolver tecnologia:** o conhecimento específico para o desenvolvimento do projeto completo ainda é pequeno. O desenvolvimento das tecnologias com maior valor agregado está concentrado nas matrizes das grandes montadoras, situadas nos EUA e Europa. Criação de programas

envolvendo a indústria, universidade e afins pode contribuir para melhorar a capacidade de desenvolvimento da indústria local.

O fator chave para a indústria eólica se consolidar como uma das principais fontes de energias renováveis do Brasil é a necessidade que a concorrência entre empresas esteja presente.

Nesse sentido, faz-se necessária para estruturas industriais que exigem vultosos investimentos de capital a concorrência, mesmo que essa seja de forma potencial. A manutenção da possibilidade de importação se mostra crucial para a indústria eólica brasileira no momento em que essa se passa por um estágio inicial de consolidação. Nesse contexto, chama a atenção a necessidade da manutenção da concorrência potencial da importação, somada a uma competição efetiva em menor grau entre os players participantes do mercado (...) A existência de economias de escala, as vantagens de custos das firmas estabelecidas e a forte diferenciação de produto em indústrias altamente concentradas não levariam aos objetivos de competição e sustentabilidade se essas são protegidas por barreiras à entrada, uma vez que a forte presença da concorrência potencial, aliada a alguma concorrência efetiva entre as firmas estabelecidas, reduziria as injustiças da concentração (MELO,2013 p.134).

Vislumbrando a concorrência atualmente no setor eólico, vemos que há uma grande guerra no mercado brasileiro. A WEG lançou nesse ano um novo modelo de turbina, capaz de atingir 4MW de potência. Outros grandes fabricantes estão brigando por pelo espaço nesse mercado potencial tão alto que é o Brasil.

Fabricantes de turbinas eólicas iniciaram uma guerra de gigantes no mercado brasileiro, buscando vender no país equipamentos maiores, entre 4 e 5,8 megawatts (MW) e até 170 metros de diâmetro. Com isso, as torres eólicas terão alturas superiores a 200 metros, até a ponta da pá, a depender do projeto. Até então, o patamar era de 2 MW a 3 MW, com altura de até 130 metros. GE, Nordex, Siemens Gamesa, Vestas e WEG estão entre as empresas que vêm tentando vender os equipamentos de maior porte. (...) O pulo de 2 MW para 5 MW, ou de 3 MW para 6 MW veio por conta da necessidade de mercado e do desenvolvimento tecnológico, inclusive de materiais, de todos os componentes da turbina. (EPOCA NEGÓCIOS, 2019).

O Brasil avança a passos largos na disseminação e evolução da energia eólica. Seja na sua cadeia produtiva ou na competitividade dos players no mercado nacional, há um grande potencial de redução dos custos atrelados a implantação e construção de parques eólicos. Há

também um “mundo paralelo” da energia *offshore* que ainda está sendo estudado e pensado para prover soluções viáveis. O papel do Estado é fundamental para a manutenção da demanda e criação de incentivos e linhas de financiamento para as empresas aqui instaladas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi buscar compreender a evolução da trajetória tecnológica da energia eólica e seus impactos na melhoria do bem-estar da sociedade. Para esses objetivos, fora preciso apresentar alguns elementos teóricos, incluindo os fundamentos da teoria schumpeteriana para compreender o papel da dinâmica da inovação na economia e as suas principais vertentes, além do papel do Estado como indutor de novas tecnologias.

Desde os primórdios com os primeiros cata-ventos, criados com a finalidade de bombeamento de água e de produção artesanal, até a evolução para a produção de energia elétrica, o paradigma tecnológico fora evoluindo constantemente, seja nos materiais utilizados nos principais componentes do aerogerador ou melhorias no desenho para maximização da captação, até chegarmos ao modelo dominante atualmente, com mais de 100 metros, produzidos em larga escala com componentes de durabilidade e tecnologia excepcionais. Os processos inovativos que culminaram no padrão tecnológico atual foram fruto de muita pesquisa e desenvolvimento por parte dos agentes e da atuação do Estado. O Estado foi instituição chave para a construção e consolidação do setor eólico, tanto no Brasil quanto no mundo, com grandes investimentos e por assumir o papel de Estado empreendedor, com políticas seletivas e de longo prazo, sendo necessário para assumir riscos e incertezas ao invés de apenas correção de falhas de mercado. A interação entre instituições de ensino, pesquisa e firmas no processo de incorporação de conhecimento demonstra a importância das redes na capacidade de geração de inovações, tornando o setor eólico atualmente competitivo.

Com relação à mudança de paradigma produtivo e tecnológico, há tendência de que cada vez mais os países incorporem à sua matriz energética fontes de cunho sustentáveis, demonstrando a força que a energia eólica tem na contribuição de um mundo mais sustentável. Percebe-se hoje, que a energia eólica é uma das formas de geração de energia limpa que mais tem conquistado espaço na matriz dos países desenvolvidos. Deve-se considerar que os avanços a caminho de uma matriz totalmente sustentável ainda estão distantes, pois outras energias sustentáveis além da eólica ainda precisam ter ganhos de eficiência e escala.

O projeto também buscou demonstrar que, no caso brasileiro, a inicialização do setor eólico fora tardia e por motivos de diversificação da atual matriz brasileira, predominantemente hídrica visto os riscos atrelados a falta de abastecimento. Nesse sentido de garantir a oferta energética de longo prazo, o Estado busca a mescla das outras fontes renováveis com a energia hídrica. É importante salientar que a energia eólica deve ser vista como complementar ao

restante da matriz e não como substituta, por levar em consideração aspectos dos regimes de ventos.

A criação do Proinfa e do sistema de leilões de energia posteriormente são claros movimentos do Estado em torno dessa estratégia de criação e regulação de um novo mercado. O papel do BNDES para financiamento de grandes parques também corrobora com a criação da demanda interna e a vinda de grandes montadoras ao país.

O potencial eólico ainda está subexplorado no Brasil. Convém mencionar que o Brasil ainda está em fase de estudos para a implementação de parques *offshores* e o potencial atrelado à costa brasileira é maior do que o encontrado em seus limites territoriais.

Por fim, a competitividade brasileira demonstra que o setor está em plena ascensão, e manterá sua trajetória de forte crescimento ao longo dos próximos anos. Portanto, é necessário que políticas públicas estejam focadas no desenvolvimento e estímulo de toda a cadeia envolvida, desde a fabricação dos componentes até a montagem final.

Diante de todas essas observações, pode-se concluir que a evolução do paradigma e trajetória tecnológica foram importantes para o avanço do setor eólico mundialmente. O mercado está em plena expansão e assim seguirá nos próximos anos, conforme as previsões apresentadas no trabalho, corroborando com um planeta mais sustentável e eficiente.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO – ABDI. **Atualização do Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil**. Brasília, 2018. Disponível em: <[http://inteligencia.abdi.com.br/wp-content/uploads/2017/08/2018-08-07\\_ABDI\\_relatorio\\_6-1\\_atualizacao-do-mapeamento-da-cadeia-produtiva-da-industria-eolica-no-brasil-WEB.pdf](http://inteligencia.abdi.com.br/wp-content/uploads/2017/08/2018-08-07_ABDI_relatorio_6-1_atualizacao-do-mapeamento-da-cadeia-produtiva-da-industria-eolica-no-brasil-WEB.pdf)>. Acessado em 25 maio de 2019.
- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO – ABDI. **Mapeamento da cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil**. Brasília, 2014. Disponível em: <[http://www.abdi.com.br/Estudo\\_Backup/Mapeamento%20da%20Cadeia%20Produtiva%20da%20Ind%C3%BAstria%20E%C3%B3lica%20no%20Brasil.pdf](http://www.abdi.com.br/Estudo_Backup/Mapeamento%20da%20Cadeia%20Produtiva%20da%20Ind%C3%BAstria%20E%C3%B3lica%20no%20Brasil.pdf)>. Acesso em: 22/05/2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA - ABEEÓLICA. **Boletim anual de geração eólica 2018**. 2018a. Disponível em: <[http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Boletim-Anual\\_2018.pdf](http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Boletim-Anual_2018.pdf)>. Acesso em: 21 março. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA - ABEEÓLICA, **Boletim de Dados Fevereiro/2019**, ABEEólica, 2019.
- \_\_\_\_\_. **Energia eólica: O setor**. 2018. Disponível em: <<http://www.abeeolica.org.br/energia-eolica-o-setor/>>. Acesso em: 23 março 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA - ABEEÓLICA, **InfoVento 11 – Versão Português**, ABEEólica, 2019. Disponível em: <[http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Infovento-11\\_PT.pdf](http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Infovento-11_PT.pdf)>. Acesso em: 25 de junho. 2019.
- ABGI. Impactos da inovação: Inovação Radical x Inovação Incremental. In: \_\_\_\_\_. **Radar Inovação [blog]**. Belo Horizonte, 22 mar. 2018. Disponível em: <<http://brasil.abgi-group.com/radar-inovacao/recursos-para-inovacao/impactos-da-inovacao-inovacao-radical-x-inovacao-incremental/>>. Acessado em: 15 de janeiro de 2019.
- AMARANTE, O. A.; BROWER, M.; ZACK, J.; EOLICA, C. S. E. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Ministerio de Minas e Energia Eletrobras. 2001. Disponível em:<[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf)> Acessado em 03 março 19.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 3.ed.–II. Brasília: Aneel, 2008.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **ENERGIA EÓLICA**. 2006. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia\\_eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf), 2006. Acessado em 02 de janeiro de 2019.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DAS EMPRESAS INOVADORAS - ANPEI. **Mapa do Sistema Brasileiro de Inovação**. Comitê Interação ICT – Empresa. Comitê de Fomento à Inovação. São Paulo, 2014.33p. Disponível em: <[http://anpei.org.br/download/Mapa\\_SBI\\_Comite\\_ANPEI\\_2014\\_v2.pdf](http://anpei.org.br/download/Mapa_SBI_Comite_ANPEI_2014_v2.pdf)> Acessado em: 17 de abril de 2019.

ARAÚJO, Bruno Platteck de; WILLCOX, Luiz Daniel. **Reflexões críticas sobre a experiência brasileira de política industrial no setor eólico**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.47, p. [163] -220, mar. 2018. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15360/1/BS47\\_\\_Eolica\\_\\_FECHADO.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15360/1/BS47__Eolica__FECHADO.pdf)> > Acessado em 01 junho de 2019.

BECKER, Dinazar Ferminiano. **Desenvolvimento Sustentável: necessidade e/ou possibilidade?** Organização de Dinizar Fermiano. 2. ed. Santa Cruz do Sul: Edunisc, 1999.

BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos. “O conceito de desenvolvimento do ISEB rediscutido”. Dados – **Revista de Ciências Sociais**, Rio de Janeiro, vol. 47, nº 1, 2004.

CASSIOLATO, José E.; LASTRES, Helena; ARROIO, Ana. **Conhecimento, sistemas de inovação e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: UFRJ. Contraponto, 2005.

CASTELLS, Manuel. **A Sociedade em Rede**. São Paulo: Paz e Terra, 2000.

CENTRO DE REFERÊNCIAS PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICAS SÉRGIO BRITO - CRESESB. **História da Energia Eólica e suas utilizações**. CRESESB 2017, disponível em <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=201](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=201)> Acessado em 04 de abril de 2019.

CENTRO DE REFERÊNCIAS PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICAS SÉRGIO BRITO - CRESESB. **Tipos de Aerogeradores para Geração de Energia Elétrica**. CRESESB 2008, disponível em <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=231](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=231)> Acessado em 04 de abril de 2019.

CURADO, Frederico Fleury. Inovação e o papel do Estado. In: O Estado de S.Paulo. **Opinião [blog]**. 2011. Disponível em: <<https://opiniao.estadao.com.br/noticias/geral,inovacao-e-o-papel-do-estado-imp-,742588>>. Acessado em 23 de abril de 2019.

CUSTÓDIO, Ronaldo do Santos. **Energia eólica para produção de energia elétrica**. Rio de Janeiro: Eletrobrás. 2009.

D.A. Griffin. WindPACT Turbine Design Scaling Studies Technical Area 1 -- **Composite Blades for 80- to 120-Meter Rotor**. NREL /SR-500-29492, Golden, CO, National Renewable Energy Laboratory (2001).

DOSI, Giovanni., (1988a). Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. **Journal of Economic Literature**, Nashville, v. 26, p.1120-1171, set.1988.

DOSI, Giovanni. **Mudança técnica e transformação industrial: a teoria e uma aplicação à indústria de semicondutores**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2006. (Clássicos da Inovação).

DOSI, Giovanni., (1988). The Nature of the Innovative Process. In: Dosi et alii (eds.). **Technical Change and Economic Theory**. London: Printer Publisher, 1988, p. 221-238.

DUTRA, Ricardo Marques. **Viabilidade técnico-econômica da energia eólica face ao novo marco regulatório do setor elétrico brasileiro**. 2001. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP. **O Desenvolvimento da Teoria da Inovação Schumpeteriana**. Bento Gonçalves, RS, 2012. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2012\\_TN\\_STO\\_164\\_954\\_21021.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2012_TN_STO_164_954_21021.pdf)>. Acessado em: 28 de abril de 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. In: Ministério de Minas e Energia – MME. **Balanco Energético Nacional**, 2018. Disponível em: <[http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018\\_\\_Int.pdf](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf)>. Acessado em: 19 de abril de 2019.

\_\_\_\_\_. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acessado em: 19 de abril de 2019.

EPOCA NEGÓCIOS. Fabricantes de turbinas eólicas iniciam uma guerra de gigantes no mercado brasileiro. In: \_\_\_\_\_. **Editora Globo**. [S.I.]. 08 jun. 2019. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Empresa/noticia/2019/06/fabricantes-de-turbinas-eolicas-iniciam-uma-guerra-de-gigantes-no-mercado-brasileiro.html>>. Acessado em 14 de junho de 2019

FREEMAN, Chris.; SOETE, Luc. **A economia da inovação industrial**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008. (Clássicos da Inovação).

FREEMAN, Christopher. **Technology and economic performance: lessons from Japan**. London: Pinter, 1987.

GOLDEMBERG, José. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. 3 ed. São Paulo: USP, 2008.

GOLDEMBERG, José.; LUCON, Oswaldo. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, vol. 72, p. 6-15, 1 fev. 2007.

GUERRERO, Glaison Augusto. **TRAJETÓRIA E APRENDIZADO TECNOLÓGICO DO SETOR DE MÁQUINAS-FERRAMENTA NO BRASIL**. 2013. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas) – Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL - GWEC. **Global Wind Report 2018**. Bruxelas, 2019.

\_\_\_\_\_. **Electricity Statistics**: Detailed, comprehensive annual data on electricity and heat. Disponível em: <<https://www.iea.org/statistics/electricity/>>. Acessado em: 18 de abril de 2019.

INOUE, Yoshinori; MIYAZAKI, K Kumiko. **Technological innovation and diffusion of wind power in Japan**. Technological Forecasting and Social Change - TECHNOL FORECAST SOC CHANGE. 2008

IPIRANGA, Ana Silva Rocha; GODOY, Arilda Schmidt; BRUNSTEIN, Janette. Introdução. **RAM, Rev. Adm. Mackenzie (Online)**, São Paulo , v. 12, n. 3, p. 13-20, June 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-69712011000300002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-69712011000300002&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em 20 de junho de 2019.

KUPFER, David; HASENCLEVER, Lia. **Economia Industrial: Fundamentos Teóricos e Práticos no Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

LEMA, Rasmus et al. **Innovation Paths in Wind Power: Insights from Denmark and Germany** - 2014.

MATSUMURA, Emilio Hiroshi. O Potencial Eólico Offshore do Brasil. In: Cenários Eólica. **Editora brasil energia [blog]**. 2019. Disponível em: <<https://cenarioseolica.editorabrasilenergia.com.br/2019/01/14/o-potencial-eolico-offshore-do-brasil/>> Acessado em 08 de maio de 2019.

MAZZUCATO, Mariana. **The Entrepreneurial State**, London: Demos, 2011.

MELO, Elbia. Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. **Estud. av.**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 125-142, 2013 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142013000100010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142013000100010&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em 20 junho de 2019.

MELO, Marcelo Silva. **ENERGIA EÓLICA: ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS**. 2012. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Planejamento Energético da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

MILKE, Tafarel Franco et al. Relação do Crescimento Econômico e Consumo de Energia. In: XXIV Seminário de Iniciação Científica. Ijuí. 2016. **Anais**. Ijuí: UNIJUÍ, 2016. Disponível em: <<https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/viewFile/7237/6007>>. Acessado em 13 de maio de 2019.

NELSON, Richard.; WINTER, Sidney Graham. **Uma teoria evolucionária da mudança econômica**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2005. (Clássicos da Inovação).

PETROBRÁS. Estamos desenvolvendo o primeiro projeto piloto de energia eólica offshore do Brasil. In:\_\_\_\_\_. **Fatos e Dados [blog]**. Rio de Janeiro, 22 ago. 2018. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/estamos-desenvolvendo-o-primeiro-projeto-piloto-de-energia-eolica-offshore-do-brasil.htm>> Acessado em 12/04/2019.

PERITA, Schumpeter e a inovação. In: \_\_\_\_\_. **Perita Economia**. 17 mar. 2015. Disponível em: <<http://peritiaeconomica.com.br/schumpeter-inovacao/>>. Acessado em 18 de maio de 2019.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos de Energia Eólica**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2012.

PODCAMENI, Maria Gabriela. **Sistemas de Inovação e a Energia Eólica**: a experiência brasileira. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas) – Programa de Pós-graduação em Economia de Instituto de Economia da Universidade do Rio de Janeiro, Instituto de Economia da Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

REN21. **Renewables 2018 Global Status Report**. 2019. Disponível em: <[http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2018/06/17652\\_GSR2018\\_FullReport\\_web\\_final.pdf](http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2018/06/17652_GSR2018_FullReport_web_final.pdf)>. Acessado em 03 de fevereiro de 2019.

REGO, Camilla Bueting. **O Estado na Transição de Paradigma Tecnológico**: A Energia Eólica na China e no Brasil. 2015. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Curso de Ciências Econômicas, Instituto de Economia da Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

RIBEIRO, Luíza Bastos. **Um estudo sobre energia eólica no Brasil**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Curso de engenharia elétrica, departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Ouro Preto, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2017.

SCHUMPETER, Joseph Alois. **Capitalismo, Socialismo e Democracia**. Rio de Janeiro: ZAHAR Editores, 1978 [1942].

SCHUMPETER, Joseph Alois. **Teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Nova cultural, 1997.

THRESHER, Robert; ROBINSON, Michael; VEERS, Paul. (2008). **Wind Energy Technology**: Current Status and R&D Future. – NREL - Presented at the Physics of Sustainable Energy Conference University of California at Berkeley, 2008.

VIERA, Rosele Marques. Teoria da Firma e Inovação: Um Enfoque Neo-Schumpeteriano. **Cadernos de Economia**. Chapecó, v. 14, n. 27, jul-dez, 2010. Disponível em: <<https://bell.unochapeco.edu.br/revistas/index.php/rce/article/download/1180/619>> Acessado em 12 de fevereiro de 2019.

VILELA, Tais Nasser; MAGACHO, Lygia. Abordagem histórica do Sistema Nacional de Inovação e o papel das Incubadoras de Empresas na interação entre agentes deste sistema. In: XIX Seminário Nacional de Parques Tecnológicos e Incubadoras de Empresas, 2009, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis, 2009. Disponível em: <[http://www.genesis.puc-rio.br/media/biblioteca/Abordagem\\_historica.pdf](http://www.genesis.puc-rio.br/media/biblioteca/Abordagem_historica.pdf)>. Acessado em 26 de março de 2019.