

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

**A IMPORTÂNCIA DAS POLÍTICAS PÚBLICAS NA
PROMOÇÃO DA COMPETITIVIDADE DO SETOR
DE ENERGIA EÓLICA BRASILEIRO**

BRUNA DE ALMEIDA CARDOSO
Matrícula nº 116110775

ORIENTADOR(A): Prof. Marcelo Colomer Ferraro

NOVEMBRO, 2020

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

**A IMPORTÂNCIA DAS POLÍTICAS PÚBLICAS NA
PROMOÇÃO DA COMPETITIVIDADE DO SETOR
DE ENERGIA EÓLICA BRASILEIRO**

BRUNA DE ALMEIDA CARDOSO
Matrícula nº 116110775

ORIENTADOR(A): Prof. Marcelo Colomer Ferraro

NOVEMBRO, 2020

As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do autor

AGRADECIMENTOS

Embora seja um período de inúmeras descobertas e aprendizados, a execução de uma monografia exige tempo, dedicação e atenção constante, podendo ser um período um pouco cansativo e desgastante. Apesar disso, ao final, vemos o quão recompensador é ter o nosso trabalho reconhecido e prestigiado pela equipe acadêmica.

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, a meus pais e meus familiares por todo apoio, compreensão e por sempre me estimularem a ir em busca do conhecimento. Por se preocuparem, a todo momento, em oferecer uma educação de qualidade para mim e para minha irmã.

A minha escola de origem, o CAP-UFRJ, que me deu as bases necessárias para cursar as matérias da faculdade, além de ter um papel importante na criação dos meus valores pessoais. Agradeço pelos aprendizados que carrego até hoje comigo e pelo papel relevante na minha formação como cidadã brasileira.

A equipe docente do IE-UFRJ por sempre buscar o melhor método para transmitir o conhecimento aos seus alunos e a todas as amigas que cultivei ao longo desses 4 anos.

Por fim, gostaria de agradecer ao meu orientador, Marcelo Colomer, pelo compromisso e dedicação com o meu trabalho e por aceitar essa responsabilidade de me acompanhar ao longo dessa trajetória.

RESUMO

No contexto de busca pela redução das emissões de gases do efeito estufa, as energias renováveis vêm ganhando mais espaço e atenção nas economias desenvolvidas e em desenvolvimento. Em função do diferencial de custos existente entre a geração por meio de fontes convencionais e através de fontes renováveis de energia, sendo a última a mais custosa, torna-se necessária a adoção de estratégias governamentais que busquem fomentar a implementação e consolidação dessas fontes alternativas, além de induzir a formação de uma indústria competitiva. A partir da análise acerca das políticas públicas adotadas no setor eólico brasileiro pós crise energética de 2001, a presente monografia tem como objetivo verificar se os ganhos competitivos obtidos com a implementação desses instrumentos governamentais justificam a redução ou interrupção dos incentivos à essa fonte de energia. A investigação em torno da indústria eólica brasileira e dos instrumentos governamentais de incentivo a esse setor refletem os obstáculos inerentes a cadeia produtiva no país. Tais obstáculos, apesar de não se tornarem um empecilho para os ganhos competitivos do setor, impedem que a fonte eólica apresente um grau de maturidade suficiente para competir com outras fontes de energia elétrica independente dos mecanismos de apoio e coordenação governamentais.

Palavras-chaves: Custos; Energia eólica; Competitividade; Políticas Públicas

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS, SIGLAS E CONVENÇÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IE	Instituto de Economia
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
GEE	Gases do Efeito Estufa
WWF	<i>World Wide Fund for Nature</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
ICSU	<i>International Council for Science</i>
IPCC	<i>The Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
GHG	<i>Greenhouse Gas</i>
IEA	<i>Internacional Energy Agency</i>
PNUMA	Programa das Nações Unidas pelo Meio Ambiente
HVDC	Alta Tensão em Corrente Contínua
EIA	<i>U.S. Energy Information Administration</i>
IEDI	Instituto de Estudo para o Desenvolvimento Industrial
GWEC	<i>Global Wind Energy Count</i>
LCOE	Levelized Cost of Energy
IRENA	<i>Internacional Renewable Energy Agency</i>
kWh	QuiloWatt-hora
USD	Dólares Americanos
MW	MegaWatts
kW	QuiloWatt
EWEA	<i>European Wind Energy Association</i>
GW	GigaWatts
Gt	Gigatonelada
BNEF	Bloomberg New Energy Finance
ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CRESESB	Centro de Referência para energia solar e eólica
CEPEL	Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

INCT-Clima	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas
PROEÓLICA	Programa Emergencial de Energia Eólica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABIMAQ	Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos
WEG	Werner Eggon Geraldo
IMPISA	Indústrias Metalúrgicas Pescarmona S.A.I.C&F
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
ICMS	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias
PIS/COFINS Seguridade Social	Programa de Integração Social/Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
ISS	Imposto sobre o Serviço
MME	Ministério de Minas e Energia
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PIA	Produtores Independentes Autônomos
SIN	Sistema Interligado Nacional
CDE	Conta de Desenvolvimento Econômico
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento do Econômico e Social
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
IGPM	Índice Geral de Preço do Mercado
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
LFA	Leilão de Fontes Alternativas
LER	Leilão de Energia Reserva
PNP	Plano de Nacionalização Progressiva
BNB	Banco do Nordeste do Brasil
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
FINEM	Financiamento a Empreendimentos
FINAME	Financiamento para aquisição de máquinas e equipamentos
PRONAF Eco	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
FND	Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste
FDNE	Fundo de Desenvolvimento do Nordeste
REIDI Infraestrutura	Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura
LEN	Leilão de Energia Nova

LISTA DE ILUSTRAÇÕES, FIGURAS, GRÁFICOS E TABELAS

FIGURAS

Figura 1 – Trajetória corrente e esperada de evolução tecnológica das turbinas.....	27
Figura 2 – Distribuição do Potencial Eólico Mundial.....	50
Figura 3 – Potencial Eólico Brasileiro.....	50
Figura 4 – Evolução da altura, diâmetro e potência média dos equipamentos eólicos no Brasil.....	53

GRÁFICOS

Gráfico 1 – Custo total médio global, fator de capacidade e custo nivelado no período de 2010-2019.....	28
Gráfico 2 – Custo médio nivelado de energia a nível regional (2010 x 2019)	29
Gráfico 3 – Projeção do custo nivelado de energia global para os anos de 2030 e 2050.....	30
Gráfico 4 – Desenvolvimento histórico da capacidade instalada incremental e acumulada em energia eólica no mundo entre 2001-2019 (em GigaWatts)	31
Gráfico 5 – Novas instalações em 2019 e participação dos top 5 mercados de energia eólica (em %).....	32
Gráfico 6 – Capacidade instalada e acumulada dos top 10 países no ano 2019 (em %) dólares/ ano)	33
Gráfico 7 – Investimento anual global médio em energia eólica 2010-2019 (Bilhões de dólares/ ano)	40
Gráfico 8 – Investimento anual médio de energia eólica onshore (Bilhões de dólares/ ano)	41
Gráfico 9 – Perspectiva da Instalação de nova capacidade esperada para os próximos 5 anos (2018-2023), em GW.....	42
Gráfico 10 – Perspectiva regional de Instalação de nova capacidade nos anos de 2018, 2030 e 2050 (em GW)	43
Gráfico 11 – Histórico de Participação da Fonte Eólica na Matriz Elétrica Brasileira 2012-2019 (em %).....	45
Gráfico 12 – Complementariedade eólica-hidráulica no Nordeste brasileiro.....	46
Gráfico 13 – Evolução das taxas de crescimento entre as fontes renováveis de energia (2013-2019)	47
Gráfico 14 – Evolução da capacidade instalada brasileira 2005-2019 (em MW)	48
Gráfico 15 – Investimentos em novos projetos no setor eólico 2011-2019 (milhões de US\$).....	49
Gráfico 16 – Brasil: Evolução do fator de capacidade médio (2007- 2018)	51

Gráfico 17 – Comparativo do fator de capacidade de geração eólica do Brasil com os demais países	52
Gráfico 18 – Trajetória de queda do custo nivelado mundial de energia eólica.....	69
Gráfico 19 – Evolução do Custo de investimento (em R\$) por MW de potência (2009-2019)	70
Gráfico 20 – Custo médio do investimento por fonte de energia (2010-2019)	71
Gráfico 21 – Evolução dos preços médios eólicos no Brasil (R\$/MWh) e da energia contratada (MW) entre 2004-2019	76
Gráfico 22 – Evolução da capacidade instalada em geração eólica no Brasil (2005-2019)..	76
Gráfico 23 – Evolução no número de projetos eólicos contratados nos leilões de energia elétrica x investimento realizado (2010-2019)	77
Gráfico 24 – Evolução do custo de Investimento Estimado (R\$/Kw)	78
Gráfico 25 – Evolução do fator de capacidade médio da energia eólica (2007-2019)	78

QUADROS

Quadro 1 – Percentual médio de custo para instalação de um parque eólico.....	30
Quadro 2 – Projetos no âmbito do PROINFA.....	60

TABELAS

Tabela 1 – Instrumentos de políticas tecnológicas utilizadas na Dinamarca, Estados Unidos e Alemanha.....	35
Tabela 2 – Instrumentos de políticas de mercado utilizadas na Dinamarca, Estados Unidos e Alemanha.....	37
Tabela 3 – Instrumentos de políticas industriais utilizadas na Dinamarca, Estados Unidos e Alemanha.....	38
Tabela 4 – Potencial Eólico Brasileiro por região geográfica.....	51
Tabela 5 – Incentivos para a implementação dos projetos eólicos no PROEÓLICA.....	57
Tabela 6 – Fabricantes de turbinas eólica em operação no Brasil.....	73

ÍNDICE

INTRODUÇÃO.....	10
CAPÍTULO I- IMPORTÂNCIA DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO ÂMBITO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DA ECONOMIA VERDE	13
1.1- Energias renováveis no contexto do aquecimento global	13
1.2- Energias Renováveis sob o âmbito do Desenvolvimento Energético Sustentável e da Economia Verde	17
1.3- Transição Energética.....	20
CAPÍTULO II- PANORAMA MUNDIAL DA ENERGIA EÓLICA	24
2.1- Evolução Tecnológica e a queda dos custos associados a geração de energia eólica.....	24
2.2- Trajetória da capacidade instalada mundial e países líderes no crescimento de energia eólica.....	31
2.3- Políticas Públicas de Incentivo à Energia Eólica: o caso alemão.....	33
2.4- Perspectivas para o crescimento do mercado global de energia eólica.....	39
CAPÍTULO III- ENERGIA EÓLICA NO BRASIL.....	44
3.1- A indústria eólica brasileira.....	44
3.2- Fatores que explicam o crescimento do setor eólico brasileiro.....	49
3.3- Estrutura de Custos da Energia Eólica.....	53
CAPÍTULO IV- HISTÓRICO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE INCENTIVO À PRODUÇÃO DE ENERGIA EÓLICA PÓS CRISE ENERGÉTICA DE 2001 E SUA IMPORTÂNCIA NA PROMOÇÃO DA COMPETITIVIDADE	55
4- Políticas de Incentivo para Energia Eólica no Brasil.....	56
4.1- Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA).....	56
4.2- Programa de Incentivo às fontes alternativas de energia (PROINFA).....	58
4.3- Outros Instrumentos Regulatórios.....	63
4.4- Outros Instrumentos de Política Industrial.....	65
4.5- Outros Instrumentos de Financiamento.....	66
4.6- Outros Instrumentos Fiscais.....	67
5- Resultado das Políticas de Incentivo sobre a competitividade da indústria eólica.....	68
5.1- Análise dos impactos dos instrumentos das políticas públicas no Brasil.....	69
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
REFERÊNCIAS.....	83

INTRODUÇÃO

As energias renováveis vêm adquirindo um papel de destaques nas economias mundiais, na medida em que se observa um processo de intensificação na emissão de gases do efeito estufa, decorrentes, em sua maioria, de atividades antrópicas, fortemente assentadas no uso dos chamados combustíveis fósseis. Ao elevar a temperatura média da terra, a emissão excessiva de gases do efeito estufa gera inúmeros impactos ambientais e sistêmicos, tais como o derretimento das calotas polares e a poluição do ar e da água (JUNGES et al., 2018).

A elevada contribuição do setor energético na emissão de gases do efeito estufa, sobretudo no que tange ao uso do carvão e do gás natural na produção de energia, contribuem para que esse assumam uma posição central nas discussões acerca das políticas de combate aos efeitos ocasionados pelo aquecimento global. Dessa maneira, o interesse pela adoção de fontes mais sustentáveis de energia se amplia, na medida em que há uma busca pela redução das emissões globais de gases poluentes.

Entretanto, fontes mais sustentáveis de energia apresentam, em geral, custos mais elevados quando comparadas com as demais fontes convencionais de origem fóssil. Portanto, pode-se dizer que a expansão dessas fontes alternativas é função de sua competitividade em relação às fontes tradicionais de energia, o que legitima, em último caso, a presença estatal no setor, assim como a adoção de políticas de incentivo à oferta e à demanda dessa energia.

Diante desse cenário e no contexto de busca pela diversificação da matriz energética brasileira, pós crise energética de 2001, uma série de políticas nacionais para o setor de energia eólica foram adotadas. Essas tinham como foco principal o incentivo à demanda, como é o caso do PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), do PROEÓLICA (Programa Emergencial de Energia Elétrica) e dos leilões de energia; e o estímulo à oferta, tais como as linhas de financiamento público, os mecanismos de nacionalização dos componentes dos aerogeradores, os incentivos fiscais e financeiros e as políticas de P&D.

Com vistas a isso, a presente monografia busca verificar se os ganhos de competitividade obtidos com a adoção das políticas públicas no país justificam a redução dos incentivos governamentais à fonte eólica de energia.

De forma a atingir esse resultado, alguns questionamentos precisam ser levantados e esclarecidos ao longo dessa pesquisa. Em primeiro lugar, será necessário compreender e definir a competitividade da energia eólica frente a outras fontes de energia. Apesar de ser um instrumento de mitigação dos efeitos do aquecimento global, a energia eólica apresenta problemas de segurança energética em decorrência da sua intermitência de geração. Contudo, esse trabalho se limitará a entender a ideia de competitividade através apenas da comparação entre os custos de produção das principais fontes energéticas.

Uma vez compreendida a ideia de competitividade do setor de geração eólica, buscaremos entender a importância dos mecanismos de incentivos públicos na promoção da competitividade dessa fonte através da análise dos principais instrumentos de políticas públicas adotados no Brasil no setor eólico pós crise energética de 2001. O Estado, por meio de políticas públicas voltadas para o incentivo à demanda e à oferta dessa fonte alternativa de energia, foi fundamental para o desenvolvimento do setor de energia eólica no Brasil. Durante os 18 anos de incentivos públicos, a indústria de energia eólica brasileira conquistou elevados ganhos de eficiência e produtividade, acelerando a redução dos custos de geração e, garantindo assim, uma maior competitividade em relação as demais fontes de energia.

Pode-se dizer que o debate em torno da necessidade de continuidade das políticas públicas de apoio ao setor de energia eólica torna-se relevante diante da pressão em torno da redução dos preços da energia elétrica ao consumidor final, assim como dos custos financeiros da manutenção de tais políticas pelo Estado.

Em terceiro lugar e a partir da análise dos custos de geração eólica sob a perspectiva mundial, avaliaremos de que forma as características particulares da indústria de energia eólica brasileira podem afetar a trajetória de consolidação do setor em questão.

De modo a tratar essas questões levantadas de maneira mais aprofundada, os capítulos dessa monografia serão estruturados da seguinte forma. No primeiro capítulo, serão analisadas a importância das energias renováveis no âmbito do Desenvolvimento Sustentável e da Economia Verde. Para isso, iremos apresentar o contexto da inserção das

renováveis sob a ótica das políticas de mitigação de mudanças climáticas, fundamentadas, sobretudo, pelo novo modelo de desenvolvimento vigente.

No segundo capítulo, serão analisados o cenário do setor em termos mundiais, considerando a estrutura de custos, a evolução tecnológica e a constituição do investimento nessa fonte de energia alternativa. Esses pontos a serem abordados são fundamentais na medida em que refletem a trajetória ascendente apresentada pela capacidade acumulada de energia eólica mundial desde os anos 2000. Também será investigado o caso específico das políticas públicas de cunho industrial, tecnológico e de criação do mercado de energia eólica alemão visando compreender, mais adiante, as diferenças com o modelo de incentivo aplicado no setor eólico brasileiro.

Com a perspectiva global do setor de energia eólica esclarecida, no terceiro capítulo avaliaremos os principais indicadores que evidenciam a expansão eólica no Brasil, assim como os fatores que explicam seu crescimento nas últimas décadas. Será apresentada também a estrutura de custos do setor, assim como as características particulares da indústria de energia eólica brasileira.

Uma vez compreendida as peculiaridades presentes no setor de geração eólica brasileiro e seus respectivos impactos sobre a geração dessa fonte alternativa, verificaremos, no capítulo final, a importância dos mecanismos de incentivos públicos, adotados na pós crise de 2001, no que se refere a promoção da competitividade da fonte eólica.

I. IMPORTÂNCIA DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO ÂMBITO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DA ECONOMIA VERDE

1.1 Energias renováveis no contexto do aquecimento global

O Efeito Estufa deve ser entendido como um fenômeno natural extremamente relevante para a manutenção da vida na terra. Esse processo garante a sobrevivência das espécies, uma vez que permite que haja a retenção de calor na atmosfera, gerada pelo contato da superfície da terra com a luz solar. A radiação solar, ao atingir a superfície terrestre, pode ser refletida, absorvida pelos oceanos e pela atmosfera ou retida, graças aos chamados “gases estufa” (JUNGES et al., 2018).

O problema reside no ritmo acelerado com o qual os gases do efeito estufa (GEE)¹ estão sendo emitidos na atmosfera terrestre através das atividades antrópicas que, ao reforçar o efeito estufa, conduzem a terra em direção ao aumento de sua temperatura média. Desmatamento, queimadas, atividades ligadas a agropecuária, descarte de resíduos sólidos e queima de combustíveis fósseis para geração de energia, atividades industriais e transportes são exemplos de práticas humanas que ocasionam no espessamento da camada de gases do efeito estufa. À medida que se torna mais densa, a retenção de calor na atmosfera terrestre passa a ser intensificada, ocasionando no fenômeno do aquecimento global. Caso os atuais níveis de emissão não sejam drasticamente reduzidos, a incidência de eventos climáticos extremos, tais como as secas e as inundações, serão cada vez mais frequentes, resultando em sérios danos globais (WWF BRAZIL, 2020).

Embora não seja um consenso na comunidade científica, a premissa acerca do aquecimento global como resultado do efeito antrópico tem grande adesão por cientistas, meteorologistas, instituições do clima e especialistas no assunto e será a linha defendida ao longo do trabalho em questão. O relatório da primeira conferência mundial sobre o clima,

¹ Os principais gases do efeito estufa da atmosfera terrestre são: vapor d'água (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), Clorofluorcarbono (CFC) e ozônio (O₃). Esses gases têm a propriedade de absorver a radiação infravermelha emitida pela terra e retornar com uma parcela dessa energia para a superfície. Esse processo resulta no fenômeno do aquecimento global (JUNGES et al., 2018).

ocorrida em 1979 e liderado pela *World Meteorological Organization* (WMO) e *International Council for Science* (ICSU), já advertia sobre a possível influência humana no clima, assim como sugeria que a questão fosse analisada em pesquisas futuras. De acordo com WMO:

“O estado atual da nossa compreensão científica do clima não permite previsões confiantes quanto à natureza das mudanças que provavelmente resultarão de atividades humanas nem quanto à taxa com que tais mudanças deverão ocorrer. No entanto, esse entendimento é suficiente para sugerir que certas atividades humanas, se mantidas em seus níveis atuais ou perseguidas em uma escala crescente, podem levar nas décadas seguintes às mudanças climáticas que teriam profundos efeitos sobre a humanidade. Existe, portanto, um senso especial de urgência para o estabelecimento de um programa de pesquisa internacional para examinar os vários aspectos dos impactos humanos sobre o clima, dando especial atenção ao acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera, um assunto que merece atenção imediata”. (WMO, 1979, p.739 apud JUNGES; MASSONI, 2018, p. 468).

Os dois primeiros relatórios de avaliação das mudanças climáticas globais do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (1990, 1995), criado em 1988 pela WMO e United Nations Environment Programme (UNEP), reconheciam o efeito estufa natural e previam uma intensificação desse efeito natural causada pelo aumento da concentração dos GEE. No terceiro relatório, lançado em 2001, é possível identificar evidências que conferiam às atividades humanas a causa do aquecimento terrestre verificado nos últimos 50 anos. Esse aquecimento, portanto, não poderia ser justificado pelas forças de origem natural, tais como as emissões vulcânicas e as mudanças na radiação solar (JUNGES; MASSONI, 2018).

Nos relatórios posteriores (2007 e 2013), ampliou-se a convicção quanto a influência das atividades antrópicas no clima global, cujos vestígios se revelavam, segundo os próprios trabalhos, no acúmulo de GEE na atmosfera, no aquecimento observado, na forçante radiativa², assim como na compreensão do próprio sistema climático. Esses relatórios que fazem referência as mudanças climáticas e seus impactos contribuíram não só para reforçar a premissa a ser defendida ao longo do texto em questão, como reafirmam e reconhecem o trabalho desenvolvido por uma equipe de cientistas no que tange a evolução técnica e científica das questões climáticas.

² Forçante Radiativa evidencia a capacidade de determinado fator em modificar o balanço energético da atmosfera terrestre, sendo, portanto, um índice da relevância desse fator na mudança climática da terra (GOUVEIA, 2018).

As soluções encontradas para mitigar as emissões excessivas dos GEE e os efeitos negativos gerados por eles perpassam diversos níveis. Reduzir o desmatamento, investir no reflorestamento, estimular o uso de energias renováveis (solar, eólica, biomassa, etc.), investir na eficiência energética, reduzir, reaproveitar e reciclar materiais e investir em tecnologias de baixo carbono (WWF BRAZIL, 2020). Essas são algumas das medidas que poderiam ser estabelecidas por meio de políticas nacionais e internacionais de clima com o objetivo de amenizar os efeitos causados pela mudança climática global.

Sob o contexto das discussões internacionais (Conferência Rio+20³, Protocolo de Kyoto-97⁴ e Conferência de Bonn-2001⁵), inúmeros países se comprometeram a realizar algum controle em torno das emissões. As soluções encontradas envolveram, principalmente, a substituição de combustíveis fósseis, o uso mais eficiente da energia e os investimentos nas fontes ditas renováveis e limpas.

Como vimos até então, o aquecimento global é função de uma ampla variedade de condutas humanas. Contudo, uma vez que a geração de eletricidade representa uma das atividades que mais contribui para a emissão de GEE, o foco do trabalho em questão serão os efeitos proporcionados especificamente por esse setor. Ao refletir a elevada dependência das atividades econômicas em torno do uso de combustíveis fósseis, o setor elétrico assume um papel central nas políticas de mitigação dos efeitos do aquecimento global. Pode-se dizer, segundo Jacobs e Mazzucato (2016), que cerca de 80% da geração mundial de energia elétrica advém de fontes altamente poluentes, tais como o petróleo, o gás e o carvão.

Os sistemas de produção e consumo construídos até então estão assentados no uso dos combustíveis fósseis. Em função do papel que tais combustíveis exercem sobre o aumento da temperatura média da terra, o crescimento econômico pautado no modo de produção capitalista vem sendo acompanhado pelos impactos ambientais, que vão desde a poluição do ar e da água, até a degradação dos habitats e espécies. Tais combustíveis são

³ Sediada na cidade do Rio de Janeiro entre o período de 13 a 22 de junho do 2012, a Conferência Rio+20 estabeleceu a agenda e o compromisso político com o desenvolvimento sustentável nos próximos anos (VAZ, 2013).

⁴ Fruto da 3ª Conferência das Partes (COP 3), realizada entre 1 e 12 de dezembro de 1997, em Kyoto, Japão. A principal meta estipulada foi a redução de 5,2%, em relação aos níveis de 1990, das emissões de gases do efeito estufa pelos países desenvolvidos entre os anos de 2008 e 2012 (DE GODOY; PAMPLONA, 2007).

⁵ Fruto da 6ª Conferência das Partes (COP 6), realizada entre 16 e 27 de julho de 2001, em Bonn, Alemanha. Foi definido as medidas para a execução do Protocolo de Kyoto pós abandono dos Estados Unidos em março do mesmo ano (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2017).

extremamente prejudiciais para o meio ambiente, visto que são considerados a principal fonte responsável pela emissão de GEE. De acordo com o relatório do *The Intergovernmental Panel on Climate Change 2019 (IPCC)*, “*The spread of fossil-fuel-based material consumption and changing lifestyles is a major driver of global resource use, and the main contributor to rising greenhouse gas (GHG) emissions*” (FLEURBAEY, MARC et al., 2014).

Diante disso e, no contexto de busca pela redução das emissões de gases do efeito estufa, energias renováveis vem ganhando mais espaço e atenção nas economias desenvolvidas e em desenvolvimento.

Apesar de não se apresentar como uma fonte naturalmente competitiva em termos de preço, o interesse pela adoção da energia limpa, advinda de fontes renováveis, no combate a mudança climática tem estimulado a implantação de políticas que tem como foco principal o incentivo à demanda e à oferta dessas fontes alternativas. Políticas de cunho industrial, tecnológico e de estruturação de mercado são alguns dos exemplos de políticas que atuam no sentido de viabilizar e difundir o uso de novas fontes alternativas, através da redução dos seus custos de geração.

De um modo geral, a geração de energia por meio de novas fontes renováveis⁶ se mostra mais custosas em relação às fontes convencionais de origem fósseis. Diante disso, torna-se necessária a adoção de estratégias que busquem fomentar o uso dessas novas fontes, garantindo custos mais reduzidos a seus empreendedores e estruturando um mercado disposto a participar desse novo segmento. Busca-se, dessa maneira, garantir uma energia limpa para o consumidor final e, ao mesmo tempo, construir as bases para um modelo de desenvolvimento sustentável.

Dessa maneira, ainda que apresente alto custo quando comparada aos combustíveis fósseis, a penetração dessas fontes alternativas de energia se mostra relevante graças às externalidades positivas⁷ geradas por elas. Além de proporcionar impactos positivos para o meio ambiente e para a saúde da população, a maior participação de fontes renováveis nas

⁶ Pode-se dizer que as hidrelétricas representam uma exceção das energias renováveis, visto que seu custo operacional é inferior aquele apresentado por fontes fósseis de energia.

⁷ Termo econômico que faz referência a um impacto positivo das ações de um agente sobre o bem-estar dos demais agentes que não tomam parte da ação (MANKIWI, 2005).

matrizes energéticas dos países é capaz de promover uma maior segurança no seu abastecimento. A razão por trás disso está no fato de que países que desfrutam de uma matriz energética mais diversificada se tornam menos vulneráveis a problemas relacionados ao fornecimento de energia. Sob a perspectiva global, fontes renováveis, ao reduzir as emissões de GEE, geram menos impacto sobre o fenômeno do aquecimento global (COSTA; PRATES, 2005).

Contudo, apesar de permitir um aumento na segurança de longo prazo do sistema elétrico ao tornar a matriz energética dos países menos dependente de uma única fonte de energia, a maior presença de fontes renováveis é responsável por ampliar a insegurança de curto prazo. Em decorrência da sua intermitência, a introdução dessas fontes alternativas de energia amplia o risco do sistema ao exigir arranjos operacionais e contratuais complexos, além de investimentos em estocagem.

1.2 Energias Renováveis sob o âmbito do Desenvolvimento Energético Sustentável e da Economia Verde

O desenvolvimento econômico e o consumo energético são fenômenos estreitamente relacionados, de forma que a disponibilidade do recurso energético é um fator determinante e limitador do crescimento econômico. Nesse sentido, em certo nível de desenvolvimento, as políticas públicas se tornam decisivas na sustentação do bem-estar diante da impossibilidade de se ampliar o consumo energético. A relevância do consumo energético pode ser melhor compreendida ao serem analisados os determinantes da chamada pobreza energética, assim como uma das soluções viáveis para a sua redução, o desenvolvimento sustentável.

O relatório Brundtland⁸ traz a definição mais conhecida acerca do conceito de Desenvolvimento Sustentável. É aquele que “satisfaz as necessidades do presente sem

⁸ Relatório, lançado em 1987 como resultado da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1983), que apresentou uma nova dimensão sobre o termo “desenvolvimento”. Também conhecido como documento Nosso Futuro Comum (Our Common Future) (MARQUES, 2014).

comprometer a possibilidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades”. Esse modelo de desenvolvimento permite, portanto, uma relação harmônica entre as atividades humanas e o meio ambiente, visando melhorar a qualidade de vida geral de maneira equitativa por meio da utilização eficiente e consciente dos recursos naturais (MARQUES, 2014)

Seguindo a mesma linha de raciocínio, o desenvolvimento energético sustentável é aquele capaz de garantir que o crescimento econômico, a redução das desigualdades sociais e o equilíbrio ambiental estejam alinhados. Sob o prisma ambiental e de modo a permitir que gerações tenham igualdade de bem-estar, é fundamental que haja a preservação e o uso racional e sustentável dos recursos naturais. É nesse contexto que se encaixam as energias renováveis e a eficiência energética que, apoiadas por políticas públicas, buscam alcançar o desenvolvimento energético sustentável (MARQUES, 2014).

Todavia, dado que as políticas governamentais, adotadas localmente, podem proporcionar efeitos com alcance global, como é o caso das medidas de mitigação do aquecimento global, é fundamental que as políticas públicas estejam coordenadas e alinhadas entre si. Para De Abreu et al. (2014, p. 283), “A substituição das atuais tecnologias exige coerência entre as políticas econômicas, científicas, tecnológicas e industriais, colaborando, assim, para a formação de um sistema de inovação direcionado ao desenvolvimento sustentável e à criação de oportunidades para produtores e consumidores”.

São três os objetivos sustentáveis que podem contribuir para o alcance do desenvolvimento energético em questão: a acessibilidade, a disponibilidade e a aceitabilidade. A acessibilidade busca a garantia a um nível mínimo de serviços energéticos via preços acessíveis e energia moderna. A disponibilidade tem como base a qualidade dos serviços energéticos e a necessidade de oferta da energia no longo prazo, de modo a evitar impactos negativos sobre o crescimento econômico em decorrência da escassez energética. A inserção das energias renováveis pode permitir que o objetivo acima seja alcançado. Por último, a aceitabilidade inclui questões relacionadas ao desmatamento, degradação da terra, emissões de GEE, mudanças climáticas globais, gerenciamento de resíduos e acidificações do solo (BUENO, 2014).

Diante disso, pode-se dizer que o desenvolvimento sustentável é uma das maneiras viáveis de se reduzir a pobreza energética, na medida em que almeja diminuir a assimetria

de acesso à energia, existente entre países e populações no mundo, via incorporação de tecnologias renováveis, que permitem maior eficiência na utilização dos recursos. A introdução de fontes renováveis, por vias das conexões de rede e dos sistemas descentralizados de energia, que são orientados por políticas governamentais e condições de mercado favoráveis, vem garantindo um maior acesso à energia (IEA, 2017).

A pobreza energética diz respeito a uma situação em que há um nível insuficiente de consumo energético para satisfazer as necessidades básicas. De acordo com Reddy (2000 apud EGUINO, 2014), a pobreza energética representa a falta de alternativas para acessar os serviços energéticos adequados, econômicos, confiáveis, seguros e ambientalmente sustentáveis que auxiliam no desenvolvimento econômico e humano.

Muito frequente em países em desenvolvimento, em que uma parcela da sociedade se torna dependente das formas convencionais de energia, altamente poluidoras e de péssima qualidade, a pobreza energética ainda atinge bilhões de pessoas pelo mundo. Estimativas apontam que cerca de 3 bilhões de pessoas no mundo não tem acesso a combustíveis modernos e limpos para cozinhar, assim como 1 bilhão vivem sem acesso a eletricidade, ocasionando em riscos consideráveis à saúde e impasses no que se refere as oportunidades econômicas e educacionais (LADISLAW; BENOIT, 2017).

Em meio a essas definições, pode-se compreender esse conceito sob três vieses: tecnológico, físico e econômico. O viés tecnológico se refere a pobreza energética como um problema de acesso a serviços energéticos modernos. Quanto a abordagem física, estima-se um nível mínimo de energia que deve estar associado as necessidades básicas, de forma que qualquer país que esteja abaixo desse patamar estaria em situação de pobreza energética. A última maneira de medir a pobreza energética busca estabelecer uma porcentagem máxima da renda que seria adequada para ser alocada no gasto de energia (EGUINO, 2014).

O termo Economia Verde, de origem mais tardia, foi apresentado apenas em 2008 pelo Programa das Nações Unidas pelo Meio Ambiente (PNUMA) por meio da *Green Economy Initiative*. Contudo, só veio a ganhar destaque com a chegada do evento da Rio+20, em 2012. A Economia verde pode ser entendida como aquela capaz de gerar efeitos positivos sobre o bem-estar humano e a igualdade social, ao mesmo tempo em que atua reduzindo os riscos ambientais. Para viabilizar isso, são necessários esforços em três

direções: na economia de baixo carbono, na ecoeficiência do uso de recursos naturais via desenvolvimento tecnológico e na inclusão social (AMAZONAS, 2012).

Diferentemente do que se imagina, a transição para uma Economia Verde não se contrapõe ao modelo de crescimento econômico, uma vez que, a mais longo prazo, seria observado também o crescimento global do PIB e do nível de emprego. Entretanto, esse crescimento adquire uma dimensão mais sustentável, na medida em que passa a ser ancorado sobre investimentos que tem como foco o baixo nível de carbono e o baixo impacto ambiental (AMAZONAS, 2012).

De modo a assegurar uma trajetória de sucesso em torno do processo de transição para uma Economia Verde, é fundamental uma presença ativa de instrumentos de governança global. De acordo com Amazonas (2012), o mercado, por si só não é capaz de conduzir a economia para tal fim. Os efeitos transformadores da Economia Verde só serão sentidos a partir do momento em que as atividades econômicas associadas a esse modelo sustentável ganharem dinamismo o suficiente para serem instrumentos das políticas públicas e dos investimentos. A partir desse ponto, se desenvolverá uma nova institucionalidade que assume um papel transformador, uma vez que passa a orientar-se pelos interesses de prazo mais longo (AMAZONAS, 2012).

1.3 Transição Energética

A mudança em torno da produção e do consumo de energia, tanto em termos qualitativos, como quantitativos, vem ocorrendo desde a chamada Revolução Industrial. A esse processo deu-se o nome de Transição Energética. Em termos gerais, pode-se relacionar o conceito de transição energética com a mudança generalizada de fontes de energia em dado intervalo de tempo.

A primeira fase da Revolução Industrial, impulsionada por inovações tecnológicas, incentivos econômicos, preços atrativos e desenvolvimento do comércio regional, permitiu a lenta transição para uma economia assentada no carvão como principal fonte de energia nas fábricas e cidades. A segunda etapa, por sua vez, foi responsável por estabelecer uma

forte dependência do petróleo como fonte energética, sobretudo no que tange a mobilidade de pessoas e cargas.

Sob o cenário de maior inserção de fontes de energia renováveis, a transição energética ganha um novo significado. Esse processo deixa de ser orientado por fatores econômicos, tais como a disponibilidade da fonte de energia e a melhor relação custo-benefício, e passa a ser motivado pela sustentabilidade ambiental, segurança energética e eficiência energética. Assim sendo, a nova transição estaria voltada para uma economia verde ou de baixo carbono através da redução do uso de combustíveis fósseis e do incentivo às fontes mais sustentáveis de energia (FERRAÇO, 2016).

Uma vez que não está mais impulsionada por fatores econômicos, a transição energética vigente apresenta alguns obstáculos, que legitimam não só a intervenção governamental, como exigem a coordenação entre as políticas públicas dos Estados. A necessidade de presença estatal é justificada, na medida em que, não sendo fontes de energia economicamente competitivas, não é de interesse do mercado proporcionar as condições necessárias para a prevalência e consolidação das energias renováveis na economia.

Segundo Bicalho (2013), a transição energética atual apresenta dois principais desafios: o chamado desafio tecnológico e o desafio institucional. O desafio tecnológico demanda avanços nas tecnologias de produção, transformação e uso da tecnologia, uma vez que se refere ao obstáculo em torno do custo energético e ambiental da transição energética. O desafio tecnológico diz respeito, portanto, a tentativa de conceder às energias renováveis as mesmas condições de controle e disponibilidade manifestado pelos combustíveis fósseis, de modo a garantir uma substitutibilidade plena entre eles.

Com o objetivo de manter a confiabilidade do sistema, em função do menor controle que as fontes renováveis proporcionam, esforços em três direções fazem-se necessários. São eles: estocagem, previsibilidade e flexibilidade. A estocagem faz referência a capacidade de armazenar energia e tem como exemplo clássico as baterias. A previsibilidade contempla os modelos avançados de medição e fluxo dos ventos, do sol e das chuvas. A flexibilidade, por sua vez, permite acessar a energia independente da sua distância e escala. “*Smart grids*” e transmissão em alta tensão em corrente contínua (HVDC) são alguns dos mecanismos que tem como objetivo garantir tal esforço (BICALHO, 2013).

O desafio institucional, por outro lado, se fundamenta sobre a sanção em torno do uso de combustíveis fósseis, como é o caso da taxaço sobre as emissões, e os mecanismos de estímulo ao uso de energias renováveis, tais como os incentivos fiscais e de crédito. Nesse contexto, as instituições assumem um papel central, aplicando esses instrumentos e orientando os recursos fundamentais para o avanço tecnológico. Em função das particularidades observadas nas diversas instituições, a transição energética passa a ser definida e ditada com base em uma dimensão essencialmente local (BICALHO, 2013).

Além disso, para se tornarem economicamente competitivas, em termos de custos, precisam do suporte estatal que, por meio das políticas públicas, promove a redução dos custos de produção, garantindo uma maior rentabilidade aos novos investimentos. A presença estatal também se torna relevante na garantia da competitividade entre os produtores, tornando necessária um conjunto de leis e metas claras que estimulem o uso de fontes alternativas em detrimento de combustíveis fósseis (RAMOS, 2018).

Os avanços apresentados pelas tecnologias digitais e o fenômeno de redução dos custos relacionados as energias renováveis abrem portas para que o processo de transição energética ganhe destaque. Dados da Administração de Informação de Energia dos Estados Unidos (EIA – *U.S. Energy Information Administration*) em *International Energy Outlook 2019* projetam, considerando um cenário de desenvolvimento sustentável, que a participação de energias renováveis aumentará, até 2040, para dois terços da produção de eletricidade, assim como 37% do consumo final de energia, caso sejam adotadas medidas de incentivo ao investimento em bioenergia, calor solar, geotérmico e eletrificação baseada em energias renováveis (IEA, 2019).

Contudo, o processo associado a construção de uma matriz energética mais sustentável é lento. A justificativa para tal afirmação está no elevado consumo de combustíveis fósseis nos países desenvolvidos, na presença de infraestrutura não renovável de energia já estabelecida, planejada a longo prazo e intensiva em capital, no crescimento populacional e na progressiva demanda energética mundial (IEDI, 2010 apud AQUILA, 2015).

Conclusão

Como observado ao longo do primeiro capítulo, a descarbonização das matrizes energética dos países através da substituição de fontes fósseis para fontes mais sustentáveis de energia, tem relevância sob dois aspectos. Em primeiro lugar, energias renováveis apresentam pouco impacto ambiental, de modo que não alteram a composição atmosférica, nem a temperatura terrestre. Consequentemente, não terão influência sobre os efeitos danosos causados pelo aquecimento global, tais como o desequilíbrio ecológico, a elevação no nível dos oceanos, a maior ocorrência dos períodos de seca, o degelo das calotas polares e a redução da oferta de recursos naturais.

Por outro lado, as energias renováveis exercem um papel importante no que se refere ao desenvolvimento sustentável, ao atuar sobre a redução da pobreza energética. A resposta para isso está na garantia de uma maior igualdade de acesso à energia para a realização de necessidades básicas via um uso mais racional, eficiente e sustentável dos recursos naturais.

No próximo capítulo abordaremos as vantagens e desvantagens associadas a uma fonte renovável específica, a energia eólica, assim como o panorama mundial, a capacidade produtiva, a tecnologia e a estrutura de custos dessa fonte alternativa.

II. PANORAMA MUNDIAL DA ENERGIA EÓLICA

Introdução

Como visto no capítulo anterior, a crescente preocupação com as mudanças climáticas e com os efeitos que a queima de combustíveis fósseis traz para o aquecimento global vêm levando a expansão da produção de energia a partir de fontes alternativas. Nesse contexto, esse capítulo tem como objetivo destacar a importância da geração eólica no processo de transição energética.

A recente evolução tecnológica associada aos aerogeradores permitiu uma redução dos custos e um aumento da competitividade da geração eólica frente as tradicionais fontes de geração de energia elétrica. Dessa forma, o que vem se verificando nas últimas décadas é uma forte expansão da capacidade instalada, puxada inicialmente pelos programas de incentivos públicos, e mais recentemente pela redução dos custos de investimento.

Dentro desse contexto, esse capítulo está dividido em 4 seções. Na primeira, serão apresentados os principais avanços tecnológicos associados a geração de energia eólica. A segunda seção mostra a evolução da capacidade instalada a nível mundial. Na terceira parte do capítulo, será analisada a importância das diferentes políticas públicas no desenvolvimento da energia eólica a nível mundial, destacando o caso alemão. Por fim, o capítulo apresenta as perspectivas futuras para a geração eólica.

2.1 Evolução Tecnológica e a queda dos custos associados a geração de energia eólica

Defina-se como energia eólica o aproveitamento da energia contida nas massas de ar em movimento e canalizadas pelos ventos. Esse aproveitamento se dá a partir da transformação da energia cinética dos ventos em energia mecânica, por meio do rotor dos aerogeradores e, por fim, em energia elétrica, no aerogerador (CAMILLO, 2013).

A energia eólica é considerada uma fonte limpa, livre da emissão de gases do efeito estufa, o que reforça seu papel no processo de transição energética para uma matriz limpa e sustentável. Outra característica positiva da geração eólica é a diversidade geográfica do seu aproveitamento. A possibilidade de instalação em áreas isoladas, afastadas das redes de transmissão de eletricidade, permite não somente a redução dos custos da rede, como também o atendimento de comunidades isoladas, reduzindo assim, a pobreza energética (GAVINO, 2011)

Apesar das importantes vantagens da geração eólica, essa possui algumas características que reduzem sua atratividade frente as fontes tradicionais de geração. A primeira delas é a dificuldade de estocagem. Diferente da fonte hídrica, que pode ser estocada nos reservatórios das hidrelétricas, o vento é um recurso que revela obstáculos no que tange o seu armazenamento. A explicação para isso está nos elevados custos associados aos sistemas de baterias que acabam por reduzir a segurança de abastecimento proporcionadas por essa fonte alternativa de energia.

A dificuldade de estocagem, coloca a intermitência como um segundo problema a ser enfrentado. A inconstância e imprevisibilidade dos ventos exigem um planejamento coordenado com outras fontes de energia que funcionam como backup. O problema é que a necessidade de redundância cria uma elevada capacidade ociosa, aumentando o custo do sistema (GAVINO, 2011).

Além dos efeitos negativos sobre o sistema, alguns impactos sobre o meio ambiente também são sentidos. Nesse caso, destacam-se os efeitos sonoros, visuais, o choque sobre as aves e as interferências eletromagnéticas. Em virtude do zumbido provocado pelas turbinas eólicas, pessoas que moram nas proximidades dos parques eólicos correm o risco de serem perturbados pelo som, ocasionando em distúrbios psicológicos e de sono. Assim como a perturbação sonora, a perturbação visual na paisagem é uma realidade, em decorrência da altura dos aerogeradores. Um outro aspecto é o impacto sobre a fauna, em função da colisão de aves com as estruturas do sistema eólico, e a ocorrência de interferências que podem gerar perturbações nas comunicações e transmissões de rádios, televisões, dentre outros aparelhos (GAVINO, 2011).

Apesar dos efeitos negativos sobre o meio ambiente, a importância da energia eólica para o processo de redução das emissões de CO₂ justificam sua expansão. Nesse sentido, a

nível mundial, a energia eólica vem sendo orientada por inúmeros avanços tecnológicos que, associados aos incentivos governamentais, contribuem para o processo de consolidação e ganhos de competitividade do setor. Tais medidas, ao proporcionarem uma redução dos custos de geração de energia, estimulam o uso de uma fonte menos poluente de geração na matriz energética dos países:

“Beyond the statistics, however, is the fact that wind power is in a rapid transition to becoming a fully commercialized, unsubsidized technology; successfully competing in the marketplace against heavily subsidized fossil and nuclear incumbents. The transition to fully commercial market-based operation has meant that the industry is going through a period of adjustment and consolidation”. (GWEC, 2017, p. 16).

De acordo com o relatório do GWEC (GWEC, 2017), as melhorias tecnológicas abrem oportunidades para o desenvolvimento da energia eólica onshore, na medida em que estimulam áreas que não apresentavam um caráter comercial anteriormente. Aparelhos eletrônicos mais sofisticados, assim como um planejamento e um gerenciamento consistentes são a chave para a redução do preço e o aumento da confiabilidade, de acordo com o relatório.

O custo nivelado de energia⁹ global para empreendimentos eólicos em 2019 foi, conforme dados do relatório do IRENA (IRENA, 2019b), 0,053 dólares por QuiloWatt- hora (kWh), apenas 6% maior que o carvão (USD 0,05/KWh), fonte elétrica mais barata movida a combustível fóssil. Em relação aos valores de 2018, o custo apresentou uma queda de 9% e 39% no que se refere a sua comparação com o ano de 2010 (Gráfico 1).

A trajetória de queda do custo da eletricidade produzida por turbinas eólicas reflete, segundo Dutra (2001), cinco tendências do setor em questão. Primeiramente, temos a queda do preço das turbinas e o aumento do fator de capacidade. Em segundo lugar, está o avanço tecnológico. A terceira tendência se refere a uma melhoria nos métodos de produção, enquanto a quarta e a quinta tendência dizem respeito a um incremento na eficiência e uma redução nos custos de operação e manutenção, respectivamente.

⁹ Levelized Cost of Energy (LCOE) ou custo nivelado de energia avalia o custo por megawatt-hora referente a construção e operação de uma planta de geração durante sua vida útil estimada. Esse custo, expresso em unidade monetária, abrange o custo de capital, os custos financeiros, os custos fixos e variáveis de operação e manutenção, o fator de capacidade, o custo total de instalação, dentre outros (GUIMARÃES, 2019).

O movimento de queda dos preços das turbinas eólicas é acompanhado pelo aumento, em tamanho, dos sistemas eólicos. A altura média das torres, dos diâmetros dos rotores e da potência das turbinas aumentaram, garantindo maior velocidade ao vento, quando em contato com o rotor (Figura 1). Ventos mais velozes, por sua vez, possibilitam a geração de mais eletricidade, proporcionando economias de escala¹⁰ consideráveis (DUTRA, 2001).

Da mesma forma, o aumento do tamanho das turbinas permitiu ganhos de escala no que se refere a infraestrutura de instalação, garantindo a abertura de vias de acesso e fundações que contribuem para a redução dos custos por *MegaWatt* (MW) instalado (DUTRA, 2001).

De acordo com o relatório publicado pelo IRENA (IRENA, 2019b), a altura das torres eólicas alcançava, nos anos 2000, cerca de 50 metros e sua potência não ultrapassava 1 MW. Dados de 2018 apontam que, com o avanço tecnológico dos aerogeradores, a altura da torre eólica passou a se aproximar de 110 metros enquanto sua potência média alcançou o valor de 2,6 MW (Figura 1).

Figura 1 - Trajetória corrente e esperada da evolução tecnológica das turbinas



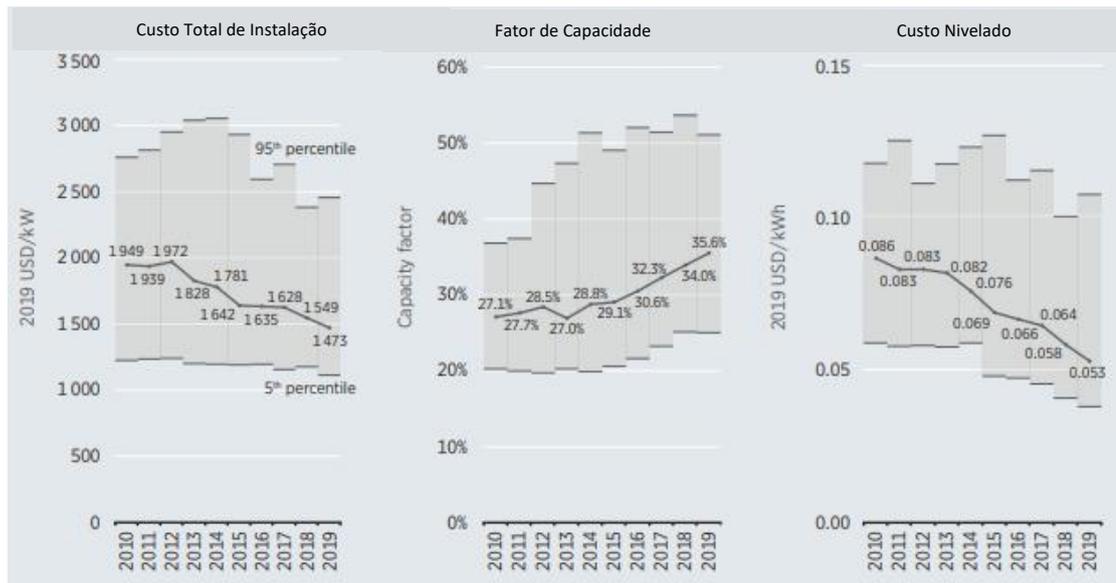
Fonte: Adaptado de IRENA, 2019b.

Além disso, houve um processo de melhoria tecnológica, nos métodos de produção e na eficiência que, em conjunto com a queda nos custos de operação e manutenção,

¹⁰ Termo econômico utilizado para se referir a uma situação em que o aumento da capacidade de produção resulta na queda dos custos médios de longo prazo. As razões para esse fenômeno vão desde a presença de retornos crescentes de escala, indivisibilidades, até a capacidade de negociação ampliada em função do maior porte da firma (KRUGMAN; WELLS, 2007).

possibilitaram a queda dos custos dos empreendimentos eólicos observada. Portanto, as tendências descritas acima, ao proporcionarem uma queda dos custos de instalação e uma melhoria no fator de capacidade¹¹ médio, favoreceram o processo de redução do custo nivelado de energia, como pode ser observado abaixo (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Custo total médio global, fator de capacidade e custo nivelado no período de 2010-2019



Fonte: IRENA, 2019b.

Nota-se que, ano após ano, o custo de instalação total apresentou um comportamento de queda em torno de 6% (Gráfico 1). De 2010 para 2019, o valor do kW de energia eólica passou de 1.949 dólares para 1.473, uma redução de 24%, em função, sobretudo, da queda nos preços das turbinas (IRENA, 2019b).

O fator de capacidade, por outro lado, obteve crescimento no período que abrange os anos de 2010-2019. Quando comparado ao ano anterior, o fator de capacidade em 2019 se ampliou em 5%, alcançando os 35,6% como resposta ao aumento da altura média das torres, diâmetro dos rotores e potência das turbinas eólicas (IRENA, 2019b).

Analisando o custo de energia por país e região, é possível observar sua trajetória de queda na comparação entre 2010 e 2019 (Gráfico 2). Sob o ponto de vista regional, verifica-

¹¹ Representa, em %, a relação entre a geração da usina em dado período de tempo e a sua capacidade de geração máxima ou potência instalada (ONS, 2019).

se que a América do Norte apresentou o menor custo nivelado de energia, no ano de 2019, atingindo um valor correspondente a 0,051 dólares por kWh. No mesmo ano, os custos nivelados de energia no Brasil, na Índia e na China foram de USD 0,048/kWh, USD 0,049/kWh e USD 0,046/kWh, respectivamente.

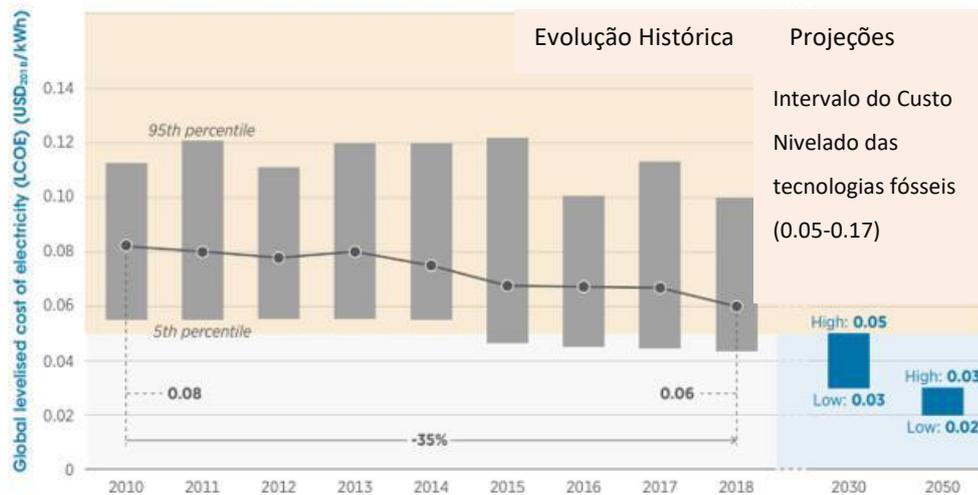
Gráfico 2 - Custo médio nivelado de energia a nível regional (2010 x 2019)

	2010	2019
ÁFRICA	0,100	0,067
ÁSIA	0,117	0,099
AMÉRICA CENTRAL E CARIBE	0,086	0,061
EURÁSIA	0,108	0,064
EUROPA	0,107	0,067
AMÉRICA DO NORTE	0,089	0,051
OCEANIA	0,117	0,054
AMÉRICA DO SUL	0,101	0,057
BRASIL	0,095	0,048
CHINA	0,072	0,046
ÍNDIA	0,083	0,049

Fonte: Adaptado de IRENA, 2019.

A expectativa com relação ao comportamento do custo nivelado médio global nos próximos anos é que sua trajetória permaneça em queda. Em conformidade com o relatório produzido pelo IRENA (IRENA, 2019b), a energia eólica onshore, no ano de 2030, seria competitiva, em termos de custo, quando comparada com os demais combustíveis fósseis. Enquanto o custo nivelado dos combustíveis fósseis giraria em torno de 0,03 a 0,05 dólares para cada kWh, o LCOE da energia eólica alcançaria um valor próximo de 0,02 e 0,03 dólares por kWh em 2030.

Gráfico 3 - Projeção do custo nivelado de energia global para os anos de 2030 e 2050



Fonte: Adaptado de IRENA, 2019b.

Portanto, ao contribuir para o aumento do tamanho das turbinas eólicas, a evolução tecnológica permitiu que a capacidade de geração através das fontes eólicas de energia se tornasse, proporcionalmente, superior ao custo de investimento do empreendimento que, por sua vez, é a principal componente do custo total de uma planta eólica. As turbinas correspondem ao principal custo de implantação de um projeto eólico que, acrescido dos custos de transporte e instalação, correspondem a algo em torno de 65% a 84% do custo total dos empreendimentos (CAMILLO, 2013).

Quadro 1- Percentual médio de custo para instalação de um parque eólico

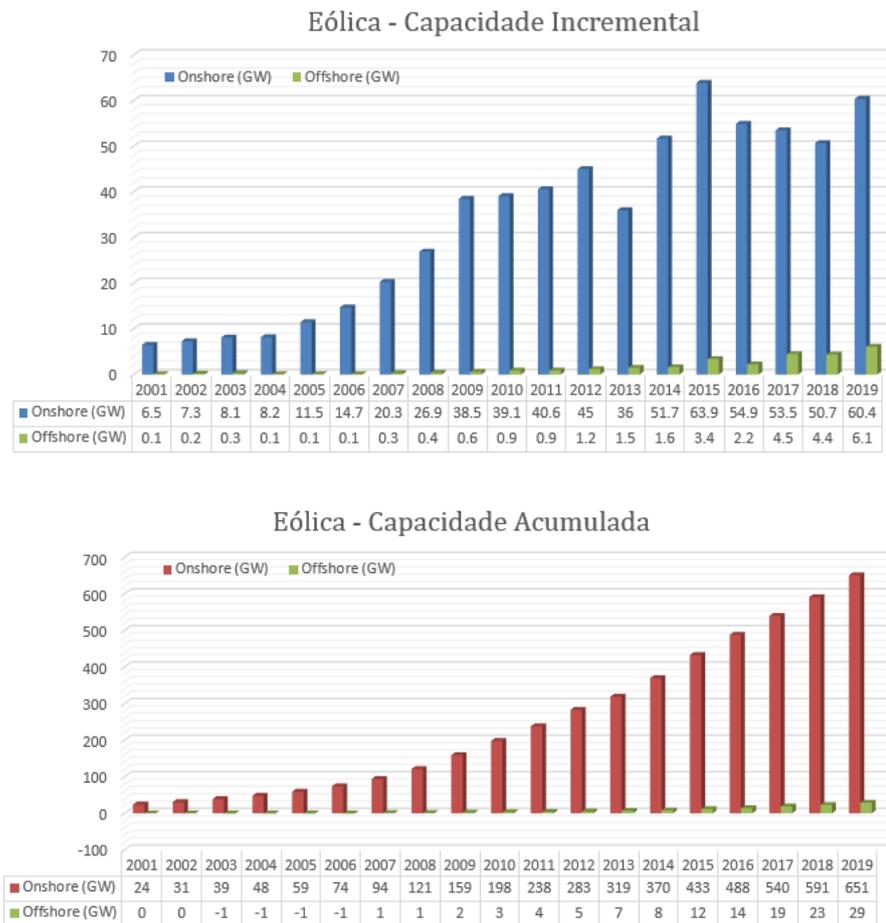
	Participação no valor total
Turbina	68-84
Conexão na rede	2-10
Fundação	1-9
Terreno (aluguel)	1-5
Instalações elétricas	1-9
Consultoria	1-3
Custos de financiamento	1-5
Construção de rodovias	1-5

Fonte: EWEA, 2009 apud SALINO, 2011.

2.2 Trajetória da capacidade instalada mundial e países líderes no crescimento de energia eólica

A redução dos custos dos investimentos da energia eólica observada nas últimas décadas em conjunto com a expansão das políticas públicas de incentivo vem contribuindo para a expansão da capacidade instalada de turbinas eólicas no mundo. Como observado no gráfico 4, a capacidade acumulada em energia eólica em termos globais passou de 24 GigaWatts (GW) em 2001 para 651 GW em 2019, uma variação anual média de 20% no período relatado (GWEC, 2019).

Gráfico 4 - Desenvolvimento histórico da capacidade instalada incremental e acumulada em energia eólica no mundo entre 2001-2019 (em GigaWatts)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do GWEC, 2019.

Com uma capacidade de 230 GW de energia eólica, a China assumiu, desde 2008, a posição de líder no que se refere a expansão de energia eólica (GWEC, 2019). Essa expansão acelerada é resultado de mudanças na regulação do setor de energia eólica verificadas nas últimas décadas.

Logo atrás da China, os Estados Unidos (EUA), com a adição de 9,1 GW em 2019 e 100 GW acumulado de energia eólica, se destaca na produção de energia dos ventos. Ocupando o terceiro, quarto e quinto lugar estão a Índia, com 2,4 GW, seguida da Espanha, com 2,3 GW e da Suécia, com 1,6 GW. Em termos de capacidade instalada, esses cinco mercados representaram cerca de 72% das instalações globais em energia eólica no ano de 2019 (GWEC, 2019).

Apesar de não estar inserida entre os cinco principais mercados de energia eólica, a Alemanha assume uma posição de destaque no que diz respeito a sua capacidade acumulada.

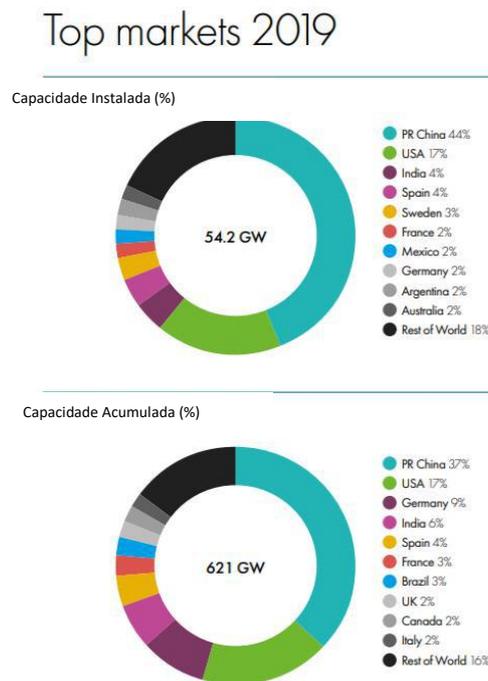
Desde o ano de 2014, as energias renováveis são as principais fontes na matriz energética alemã, sendo a energia eólica aquela que apresenta maior participação na geração dentre as fontes limpas e sustentáveis de energia. Ao final de 2019, cerca de 9% da capacidade acumulada mundial de energia eólica foi derivada de empreendimentos eólicos de origem alemã (Gráfico 6). Pode-se dizer que esses resultados foram reflexos de uma série de políticas governamentais de fomento à essa fonte alternativa, adotadas no país logo após o primeiro choque do petróleo (1973) e que serão exploradas na próxima seção desse estudo.

Gráfico 5 - Novas instalações em 2019 e participação dos top 5 mercados de energia eólica (em %)



Fonte: GWEC, 2019.

Gráfico 6 - Capacidade instalada e acumulada dos top 10 países no ano de 2019 (em %)



Fonte: Adaptado de GWEC, 2019.

2.3 Políticas Públicas de Incentivo à Energia Eólica: o caso alemão

No contexto de combate às mudanças climáticas, o interesse pela adoção de uma energia limpa e sustentável, como é o caso da energia eólica, tem estimulado a adoção de políticas públicas, sejam elas de cunho industrial, tecnológico ou de estruturação de mercado. A ideia é justamente contribuir para a difusão do uso dessas fontes alternativas através da implementação de medidas governamentais que permitam, em último caso, uma redução dos seus custos de geração.

A Alemanha, juntamente com a Dinamarca, foi um dos países pioneiros no que se refere a adoção de tarifas do tipo *feed-in*¹², tornando-se um modelo para inúmeros países que implementaram políticas de suporte a indústria eólica nos anos seguintes.

¹² Feed In Tariffs (FIT) ou tarifas feed in são tarifas projetadas para promover um incentivo de preço fixo de forma a garantir benefícios pela unidade produzida de energia (FIELDS, 2018).

Os programas de estímulos a energia eólica na Alemanha tiveram início após o primeiro choque do petróleo, ocorrido em 1973. A elevação dos preços do petróleo e os graves impactos econômicos derivados das crises energéticas de 1973 e 1979, incentivaram a busca por energias alternativas com o objetivo de garantir a segurança energética do país.

As políticas públicas para a promoção das energias renováveis, mais especificamente da energia eólica, podem ser divididas em três tipos: políticas industriais, tecnológicas e de criação de mercado.

Os programas de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) foram os grandes responsáveis por dar início a trajetória da indústria de energia eólica na Alemanha, logo após o acidente de Chernobly, em 1986. No período que compreende os anos de 1996 a 2004, as pesquisas foram conduzidas pelo *Fourth Programme on Energy Research and Energy Technologies* e buscavam auxiliar o desenvolvimento industrial, o crescimento econômico e as políticas energéticas no país. O *Fifth Programme on Innovation and New Energy Technologies*, que entrou em operação no ano de 2005, tinha como alvo as dificuldades tecnológicas que abrangiam o desenvolvimento do setor eólico offshore, assim como a harmonia do setor com o meio ambiente (GAVINO, 2011).

Ainda no âmbito das políticas tecnológicas implantadas pelo país, os testes de campo se baseiam na análise do desempenho das turbinas dos parques eólicos e, caso necessário, também se concentram na execução de ajustes. A análise da viabilidade técnica na Alemanha ocorreu, em um primeiro momento, por meio do *250 MW Wind Program*, instituído em 1989. O programa focava na implantação de energia em escala industrial por meio da oferta de subsídios ao investimento e produção de energia (CAMILLLO, 2013).

Os centros de pesquisa especializada em energia eólica também se destacam, visto que são condutores das práticas de P&D desenvolvidas no setor eólico. Além disso, em função da sua infraestrutura e estações de testes, os centros contribuem para a atração de fornecedores de turbinas, assim como outras fundações que realizam pesquisa. Os centros de pesquisa direcionados para a energia eólica alemães foram criados no interior das universidades, a partir de 1990. A principal instituição de pesquisa em energia eólica no país, o *Fraunhofer-Institute for Wind and Energy System Technology*, data do ano de 1988 e está vinculado a Universidade de *Kassel* (CAMILLO, 2013).

O último instrumento de política tecnológica relevante se refere aos programas de padronização e certificação de qualidade das turbinas. Esses programas dirigem os esforços de P&D a fim de alcançar resultados específicos. Na Alemanha, a estruturação desse sistema de padronização ocorre em 1979. Entretanto, a certificação de turbinas em território alemão só se tornou mandatória em 1992 (CAMILLO, 2013).

Tabela 1- Instrumentos de políticas tecnológicas utilizados na Dinamarca, Estados Unidos e Alemanha

Principais instrumentos	Fatos principais		
	Dinamarca	Estados Unidos	Alemanha
Programas de P&D	1977: projeto das turbinas Nibe (640kW); 1981-2008: <i>Energy Research Program</i> (ERP), administrado pela <i>Danish Energy Agency</i> (financiava entre 50 e 80% do projeto) Desde 2000: Programa de subsídio à P&D dos serviços públicos 2004: Fundos para P&D	1974 – 1982: <i>Mod Program</i> , financiado pelo DOE, gerenciado pela NASA e coordenado o <i>NASA Lewis Research Center</i> Desde 1992: <i>Wind Energy Program</i> (DOE) 2009: consórcio de pesquisa com universidades (financiado pelo <i>Recovery Act funds</i>)	1976-1990: <i>Growian I e II</i> (financiados pelo BMFT) Desde 1991: <i>R&D Program</i> (financiado pelo BMU) Desde 2001: <i>Offshore Siting program</i> 2009: <i>Offshore Wind Research Program</i> (RAVE)
Programas Demonstrativos/ testes de campo	1982-2002: <i>Program for development, demonstration and information of Renewable Energy</i> (UVE), administrado pela <i>Danish Energy Agency</i> 1982-1989: Individual Energy Projects 2007: <i>Energy Technology Development and Demonstration Program</i> (EUDP)	1990: <i>Advanced Wind Turbine</i> (AWT) Program (coordenado pelo NREL) (1a. Fase e 2a. fase) – em 1992 se torna parte do <i>Wind Energy Program</i> 1990-1998: financiamento de projetos demonstrativos de concessionárias pelo DOE	1989-1998: <i>100/250 MW Mass Testing Program</i> 1989-2006: <i>Scientific Measuring Evaluation Program</i> (WMEP), do governo federal 2010: programas para turbinas de médio porte
Centros de pesquisa/ estações de testes	1979: <i>Risø Test Station</i> (1984: <i>Risø National Laboratory</i>) 1998, 2004, 2007: novas para turbinas multi MW 2009: novas estações onshore 2007: centro para desenvolver componentes 2010: novas estações <i>onshore</i> e <i>offshore</i>	1974: <i>Solar Energy Institute</i> 1991: <i>National Renewable Energy Laboratory</i> (NREL) 1994: <i>National Wind Technology Center</i> (NWTCC); 2009: <i>Wind Technology Test Center</i> 2009: construção de novas estações de testes para componentes	1988: <i>Fraunhofer-Institute for Wind and Energy System Technology</i> (IWES) 2004: fusão do IWES com o <i>Fraunhofer Center for Wind Energy and Maritime Engineering</i> e o <i>Institute for Solar Energy Technology</i> 2005: <i>Centre of Excellence for Wind Energy Schleswig-Holsteins</i> 2010: <i>Competence Centre for Wind Energy</i> (<i>Technical University Berlin</i>) 2011: novas estações de testes para componentes <i>offshore</i>
Programas de padronização e certificação de turbinas	1979-1990: <i>Type Approval and System Certificate Program</i> 1991-2004: <i>Type Approval and Turbine Certificate Program</i> Desde 2004: <i>Type Approval Scheme</i>	1994: <i>National Avian-Wind Power Planning</i> (financiado pelo DOE, executado pelo NREL)	1992: certificação torna-se mandatória

Fonte: CAMILLO, 2013.

Os instrumentos de criação de mercado foram inseridos na Alemanha apenas em 1990 através de subsídios ao preço de eletricidade de base renovável. O primeiro subsídio foi instituído sob as circunstâncias do *100/250 MW Wind Program*, no ano de 1989. Segundo Jacobsson e Bergek (2006 apud CAMILLO, 2013, p. 85), “O programa dava aos participantes a opção de escolher entre um subsídio ao investimento em parques eólicos ou um adicional sobre o preço da eletricidade gerada”.

Somente em 1991, com o *Electricity Feed-in Law* foram estabelecidas no país as tarifas do tipo *Feed-in*, que deveriam ser pagas a todos aqueles que investiam em fontes renováveis de energia. O intuito da lei consistia em orientar a compra de energia renovável por empresas públicas que provém energia, que deveriam custear 90% do preço médio da

eletricidade pago pelos consumidores finais às empresas que vendem energia eólica. Essa medida foi responsável não só por induzir a demanda e a inovação, como em gerar estímulos para o uso mais eficiente das turbinas em regiões que apresentavam condições de vento favoráveis (KLAASSEN et al., 2003).

O *Renewable Energy Source Act*, ocorrido nos anos 2000, estabeleceu mudanças quanto a diferenciação de preços por fonte de energia, contudo, manteve o sistema de preços baseados nas tarifas *feed-in* (CAMILLO, 2013). Cada tecnologia passava, portanto, a ter sua remuneração própria, deixando evidente para o investidor o retorno associado a cada uma delas. A partir dessa medida, o preço da tarifa de energia passou a considerar questões como as curvas de aprendizado de cada tecnologia, a programação de redução das tarifas no longo prazo e a inclusão das concessionárias como desfrutadoras do incentivo, que estava antes limitado aos produtores independentes de energia (CAMILLO, 2013).

Em dezembro de 2006, a Alemanha adotou o *Infrastructure Planning Acceleration Act* que assegurava a conexão de plantas eólicas offshore à rede elétrica, obrigando os operadores a custearem essa infraestrutura de conexão. A medida era válida para construções que se iniciaram no período anterior a dezembro de 2011 e se justificou dado o elevado custo das fazendas eólicas offshore, superior, em média, a 30% do custo total, ao realizarem suas conexões à rede em terra firme (ALBERS, 2007 apud MESQUITA, 2011).

Tabela 2 - Instrumentos de política de mercado utilizados na Dinamarca, Estados Unidos e Alemanha

Principais instrumentos	Fatos principais		
	Dinamarca	Estados Unidos	Alemanha
Subsídio/ Garantia de preço mínimo	1981: subsídio ao preço da eletricidade 1984: primeira versão do FIT (garantia 85% do preço de varejo, excluindo taxas) 1991: preço fixo mandatário (<i>Wind Mill Law</i>) 1999: reforma do setor elétrico - reduz incentivo ao preço para <i>onshore</i> (período de transição) 2008: redução progressiva do incentivo ao preço (<i>Renewable Energy Act</i>)	1978: <i>Public Utility Regulatory Act (PURPA)</i> , subsídio ao preço das NFRs 1992-2013: <i>Renewable Electricity Production Tax Credit (PTC)</i> - crédito fiscal sobre o preço da energia ajustado à inflação	1979: tarifa especial para NFRs 1989-1996: 100/250 MW <i>program</i> , subsídio ao preço da eletricidade 1991: <i>Electricity Feed-in Law</i> , introduz garantia de preço fixo (90% do preço de varejo) 2000: EEG - diferenciação de preços por fonte e redução progressiva do incentivo
Subsídio/ Incentivos ao investimento	1979-1989: reembolso de parte dos custos de investimento (redução progressiva) 1976-1996: isenção do imposto sobre a renda dos investimentos A partir de 1997: esquema especial de tributação para pequenos produtores Desde 2000: linhas preferenciais de crédito	1977-1984: crédito fiscal sobre o investimento em parques eólicos 1982-1987: Califórnia tem versão própria do incentivo 2009-2012: <i>American Recovery and Reinvestment Act (ARRA)</i> , crédito fiscal sobre investimento e custo da propriedade	1989-1996: 100/250 MW <i>program</i> , subsídio ao custo dos investimentos A partir de 1990: <i>Environmental Fund</i> (DfA e KfK), créditos em condições especiais A partir de 1990: incentivos fiscais Desde 2000: linhas preferenciais de crédito
Metas de médio e longo prazo	1985-1997: impõem metas de expansão da capacidade instalada em energia eólica 1990-2000: associa metas de consumo à capacidade instalada em energia eólica A partir de 2000: metas conjuntas de consumo para todas as renováveis	1989-1995: metas de redução de custo da eólica 2000-2005: <i>Wind Powering America</i> , metas de produção e capacidade instalada em eólica 2002: metas estaduais de expansão da capacidade instalada 2005: EPAAct coloca metas de curto prazo para consumo de eletricidade de NFRs	EEG 2000, 2004 e 2008: planos gerais de expansão para renováveis 2010: cenários de expansão conjunta para renováveis
Acesso da energia eólica ao sistema elétrico	1981: garantia de acesso da eólica à rede elétrica 1985-2003: impõem compartilhamento dos custos de conexão às concessionárias; libera energia eólica dos encargos de uso da rede 2003: custos de conexão passam a ser de responsabilidade do gerador 2003: gerador passa a pagar encargos de rede 2003: prioridade de despacho se torna mandatária	1978: PURPA – garante acesso das NFRs à rede elétrica 2003: FERC determina que os geradores de NFRs são responsáveis por todos os custos de conexão	2000: EEG – garante legalmente acesso da eólica à rede elétrica e prioridade de acesso às renováveis 2004: EEG – dá despacho prioritário 2006: <i>Infrastructure Acceleration Act</i> , pagamento dos custos de conexão <i>offshore</i> pelos operadores

Fonte: CAMILLO, 2013.

Com a finalidade de reduzir o custo de capital associado aos empreendimentos eólicos, observou-se na Alemanha a adoção de medidas associadas as linhas de financiamento, subsídios diretos ao investimento e créditos fiscais. Os primeiros incentivos ao investimento em fontes eólicas de energia tiveram início com o programa 100/250 MW *Wind Program* (1989-1996), que oferecia subsídios de até 60% do custo do investimento em projetos eólicos. Concomitantemente a essa medida, foram comuns benefícios fiscais no país, tais como as deduções do imposto de renda, e o financiamento a taxas de juros reduzidas destinados a projetos de energia eólica (MIZUNO, 2007 apud CAMILLO, 2013).

Os mecanismos de política industrial buscaram garantir vantagens para a indústria doméstica que emergia, assim como permitir que novos mercados orientados para a tecnologia fossem abertos. A primeira evidência de proteção às empresas nascentes se deu na década de 90, em que foram oferecidos subsídios através do *Federal Ministry of Finance* para a construção de parques eólicos que faziam uso de turbinas de origem nacional (JOHNSON; JACOBSSON, 2002 apud CAMILLO, 2013). Da mesma forma, as linhas preferenciais de financiamento, com taxas de juros reduzidas em relação ao mercado,

também estavam subordinadas a exigência de emprego de turbinas domésticas na implantação dos empreendimentos eólicos.

No início dos anos de 1990, a Alemanha se apoiou sobre a diversificação dos mercados através de dois programas. O primeiro deles, o *El Dorado* (1991-1999), coordenado pelo *Federal Ministry of Finance*, garantia recursos financeiros subsidiados para aquisição de tecnologia, além de permitir que os custos do projeto fossem cobertos em até 50% do total. A meta do programa era, portanto, a exportação de equipamentos e a construção de parques eólicos em países em desenvolvimento que se localizavam em zonas climáticas favoráveis para a implantação desse tipo de energia (CAMILLO, 2013).

O segundo programa, o *Technical Expertise for Renewable Energy Application*, concebido em 1995, fazia uso do suporte técnico especializado para oferecer orientações e recomendações para projetos de energia eólica que apresentavam certo potencial. Todavia, em virtude do rápido amadurecimento da indústria e consolidação da Alemanha como líder tecnológico no setor eólico, os programas em questão foram substituídos por garantias de crédito para exportação (CAMILLO, 2013).

Tabela 3 - Instrumentos de política industrial utilizados na Dinamarca, Estados Unidos e Alemanha

Principais instrumentos	Fatos principais		
	Dinamarca	Estados Unidos	Alemanha
Incentivos/linhas preferenciais de financiamentos atrelados ao uso de tecnologia nacional	A partir de 1990: garantias para financiamento de projetos eólicos com turbinas nacionais	-	A partir de 1990: linhas de financiamento preferenciais para parques construídos com turbinas nacionais; subsídios e subsídios regionais (BMF)
Imposição de parâmetros específicos de certificação de qualidade	1991-2004: exigência de certificação da <i>Danish Wind Turbine Guarantee A/S</i> para instalação de turbinas no país	-	1992: certificação se torna mandatória
Incentivos à exportação de equipamentos/construção de parques eólicos no exterior	Anos 1980-1990: subsídios para parques eólicos de países em desenvolvimento; 1986-1989: incentivos fiscais para investidores em parques eólicos nos EUA Desde 1990: garantia de crédito para exportação (EKF - <i>Export Credit Agency</i>)	2010: <i>Environmental Exports Program</i> - garantia de crédito atrelada ao conteúdo local	1991-1999: Programa <i>El Dorado</i> ; 1995: Programa TERNA Anos 2000: garantia de crédito para exportação

Fonte: CAMILLO, 2013.

2.4 Perspectivas para o crescimento do mercado global de energia eólica

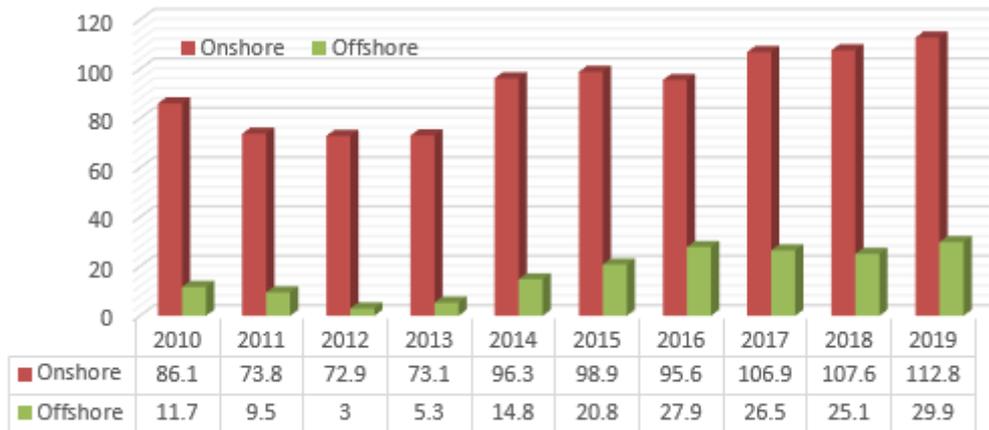
Segundo IEA (IEA, 2019), para que a temperatura global se mantenha abaixo dos 1,8 graus Celsius, com 66% de probabilidade, estima-se que sejam necessários investimentos anuais em fontes renováveis que chegam, em 2040, a 840 bilhões. No acumulado, o volume investido atingiria cerca de 16 trilhões no período relatado. Esse cenário, por sua vez, possibilitaria que a participação das fontes renováveis alcançasse dois terços da geração elétrica total e 37% do consumo de energia final, garantindo o cumprimento do Acordo de Paris, que prevê uma redução das emissões de CO₂ no setor energético em torno de 10 Gigatonelada (Gt) até 2050.

Dado que a energia solar e a energia eólica são as fontes que apresentam a maior participação nos investimentos em energia renovável no intervalo em questão, estima-se que a geração elétrica advinda dos ventos atinja valores próximos a $8,3 \times 10^{12}$ QuiloWatt-hora (kWh), enquanto a solar alcance valores na ordem de $7,2 \times 10^{12}$ QuiloWatt-hora (kWh). Nesse caso, ambas excederiam a energia gerada a partir de fontes hídricas, que é estimada em torno de $6,9 \times 10^{12}$ QuiloWatt-hora (kWh) (IEA, 2019). Em 2019, os investimentos em energia eólica, segundo GWEC (GWEC, 2019), cresceram 7,5% em relação ao ano anterior, resultando em um valor próximo de 142,7 bilhões de dólares. Esse crescimento dos investimentos em energia eólica deve-se às políticas de financiamentos de projetos eólicos onshore na China, nos Estados Unidos, na África do Sul, Índia e Suécia, assim como uma vasta quantidade de projetos offshore negociados na Europa (GWEC, 2019).

Seriam necessários, de acordo com a instituição IRENA (IRENA, 2019a), que até 2050 sejam investidos por ano, em média, um valor de 146 bilhões de dólares para que sejam implantados 5000 GW de capacidade instalada onshore a nível global. Da mesma forma, 211 bilhões de dólares por ano seriam exigidos para o período de 2030-2050. Essa previsão significaria que os investimentos de 2018 até 2030 teriam mais do que dobrar em relação aos investimentos efetuados em 2018 (IRENA, 2019a)

Até 2030, de acordo com projeções realizadas pelo relatório GWEC (GWEC, 2019), o mundo deve aumentar sua capacidade instalada em 3,5 vezes e até 2050, em 10 vezes. Isso significaria um crescimento de mais de 100 GW anuais de instalações de energia onshore e offshore nos próximos 10 anos.

Gráfico 7- Investimento anual global médio em energia eólica 2010-2019 (bilhões de dólares/ano)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da BNEF, 2019.

A nível regional, as previsões colocam a Ásia no topo dos investimentos globais de energia eólica para os próximos anos. Com uma previsão de cerca de 98 bilhões de dólares por ano no período de 2018-2030 e 101 bilhões de dólares no período de 2030-2050, os investimentos asiáticos corresponderão a mais da metade da média dos investimentos. Em seguida, aparece a América do Norte com USD 26 bilhões/ano até 2030 e USD 51 bilhões/ano até 2050. Regiões no Oriente Médio e no Norte da África, por outro lado, demandariam um investimento médio anual de 9 bilhões até 2030 e 25 bilhões até 2050 (Gráfico 8) (IRENA, 2019a).

Gráfico 8 - Investimento anual médio de energia eólica onshore (bilhões de dólares/ano)

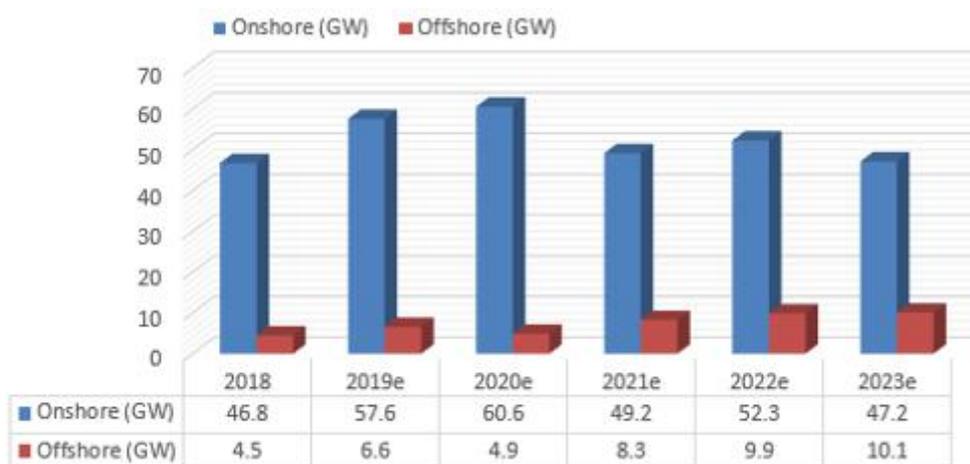


Fonte: IRENA, 2019a

A expectativa, de acordo com o GWEC (GWEC, 2019), é que haja um acréscimo de 300 GW de nova capacidade até o ano de 2023. O apoio governamental, via políticas públicas e leilões, exerce um papel determinante para viabilizar tal processo. Na medida em que adquire competitividade, em termos de custos, as oportunidades para que a energia eólica opere com bases comerciais se ampliam. A redução do preço atua, não só acelerando os desenvolvimentos técnicos, como também as melhorias de eficiência, permitindo que a indústria de energia eólica se consolide (GWEC, 2019).

Dessa forma, a consolidação da energia eólica tem como pilar de sustentação os incentivos públicos, que atuam estimulando ou suprindo um mercado já existente. Tais incentivos podem, segundo Ferreira et al. (2006), se manifestar diretamente, por meio da compra governamental da energia produzida por empreendimentos eólicos, financiamento dos projetos de energia eólica e incentivos fiscais; ou indiretamente, via incentivos para atração de indústrias que produzem componentes dos empreendimentos eólicos e estímulos para pesquisa e avanços tecnológicos.

Gráfico 9 - Perspectiva da instalação de nova capacidade esperada para os próximos 5 anos (2018-2023), em GW



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do GWEC, 2019.

No que se refere aos mercados regionais, espera-se que a queda dos custos de geração implique no aumento da capacidade instalada de geração eólica de todas as regiões nas próximas décadas. A projeção para a América Latina prevê que a capacidade instalada onshore se amplie em 50 GW até 2030 e 160 GW até 2050. Esses valores significariam, em média, cerca de 3 GW anuais de instalações até 2030 e 5 GW no período de 2031-2050 (GWEC, 2019).

Seguindo a mesma trajetória de crescimento, o mercado de energia eólica asiático projeta uma média de 70 GW por ano até 2030 e 80 GW no período que vai de 2031-2050. Tal desempenho evidencia a alta participação chinesa no mercado asiático de capacidade instalada. Em 2030, o país representou mais de 60% de toda a capacidade instalada total da região, enquanto em 2050 sua participação alcançaria os 50% (IRENA, 2019a).

Gráfico 10 - Perspectiva regional de instalação de nova capacidade nos anos de 2018, 2030 e 2050 (em GW)



Fonte: IRENA, 2019a

Conclusão

Como observado ao longo do segundo capítulo, o progresso tecnológico e nos métodos de produção da cadeia eólica de energia garantiram um aumento no tamanho das torres e pás do sistema que, gerando instalações mais eficientes, contribuíram para ganhos no fator de capacidade dos parques eólicos, assim como estimularam um movimento de queda contínua nos custos totais de instalações desses empreendimentos. Essas duas tendências, por sua vez, possibilitaram uma queda no custo nivelado dessa fonte de energia, que permitiu uma redução nos valores do kW de energia ao longo dos anos.

A queda nos custos dos investimentos associado às plantas eólicas em conjunto com as políticas governamentais de incentivo à essa nova fonte de energia foram responsáveis pela trajetória ascendente assumida pela curva de capacidade instalada mundial de geração de energia eólica. Como relatado no capítulo, desde 2001 a capacidade instalada de turbinas eólicas vem se expandindo, alcançando valores próximos a 651 GW de energia em 2019.

O próximo capítulo buscará analisar o panorama da energia eólica no Brasil, enfatizando os principais indicadores que refletem o comportamento expansivo dessa fonte alternativa no país, assim como os fatores que justificam seu crescimento no decorrer dos anos. Ao final do capítulo será apresentada a estrutura de custos do setor no país, assim como os principais obstáculos produtivos que afetam a conquista dos chamados ganhos competitivos para a indústria de energia eólica brasileira.

III. ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Introdução

Pode-se dizer que a energia eólica vem se expandindo no Brasil no decorrer dos anos. A razão para tal comportamento está nas políticas governamentais adotadas a partir da crise energética¹³ de 2001 e no avanço tecnológico dos aerogeradores, que estimularam a adoção dessa fonte energética a partir da redução dos custos e da conquista de importantes ganhos competitivos para o setor eólico brasileiro.

Diante disso, o capítulo em questão se encontra dividido em 3 seções. Na primeira seção serão apresentados os principais indicadores que refletem o crescimento do setor eólico no Brasil, assim como seu impacto sobre a competitividade dessa fonte energética. Na segunda parte do capítulo, serão analisados os fatores que justificam o crescimento relatado na seção anterior. Por último, será apresentada a estrutura de custo da energia eólica, com ênfase nos possíveis impactos dos gargalos produtivos existentes sobre os ganhos de competitividade no setor.

3.1 A indústria eólica brasileira

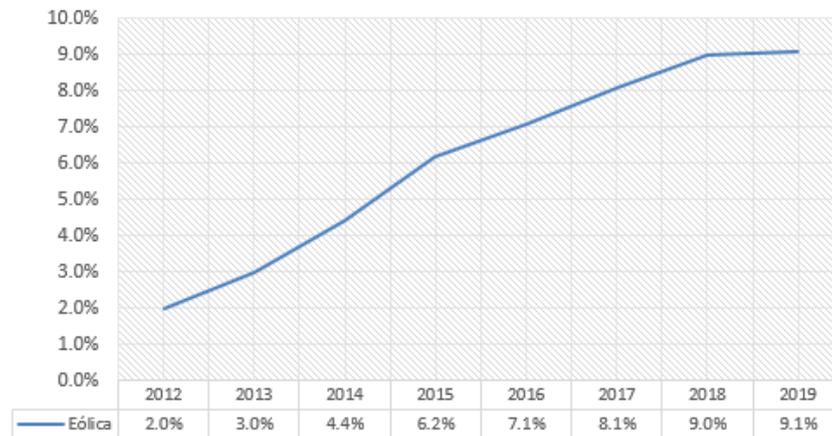
No Brasil, o desenvolvimento da energia eólica é considerado um caso de sucesso. Os principais fatores que refletem esse desempenho são a participação crescente dessa fonte na matriz elétrica brasileira e o nível de investimento em projetos eólicos no país, que vem se ampliando ao longo dos anos. Como evidenciado no gráfico 11, a participação da fonte eólica na matriz brasileira vem se ampliando ao longo dos anos. Como pode ser observado, entre 2012 e 2015, a participação da energia eólica na matriz elétrica cresceu a taxas cada

¹³ A crise energética de 2001 ou crise do Apagão, como ficou popularmente conhecida, acometeu, principalmente as regiões Sudeste e Centro-Oeste do país. Ocorrida entre 1 de julho de 2001 e 19 de fevereiro de 2002, sendo causada pela ausência de planejamento e investimentos na geração e distribuição de energia, e intensificada pelo reduzido volume de chuvas no período. Além da escassez de chuvas, o aumento do consumo de energia, em decorrência do crescimento populacional e da ampliação da produção pelas indústrias, também foi responsável pelo racionamento de energia no país (PORTAL SOLAR, 2015).

vez maiores. A razão para tal comportamento se baseia nas elevadas contratações de projetos eólicos, ocorridas entre os anos de 2004 e 2015, nos chamados leilões de energia¹⁴.

Gráfico 11 - Histórico de participação da fonte eólica na matriz elétrica brasileira 2012-2019

(em %)



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da ABEEÓLICA.

Entre os anos de 2015 e 2018, verifica-se um crescimento da energia eólica a taxas menores em comparação com o período anteriormente analisado (2012-2015). Em decorrência da crise econômica que atingiu o país em 2015, reduziu-se a demanda por energia, impactando a contratação de energia eólica mediante leilões de energia nos anos seguintes. Somente em dezembro de 2017, as contratações foram retomadas, contudo, ainda em ritmo lento. No ano de 2019, a energia eólica representou 9,1% do consumo de energia na matriz elétrica brasileira.

Pode-se dizer que o crescimento da participação da energia eólica ao longo dos anos foi reflexo, em último caso, da redução da presença hegemônica da geração hídrica na matriz elétrica brasileira. Questões de cunho legal, geográfico e ambiental, ao atuarem como obstáculos na construção de usinas hidrelétricas que apresentam reservatórios de grande

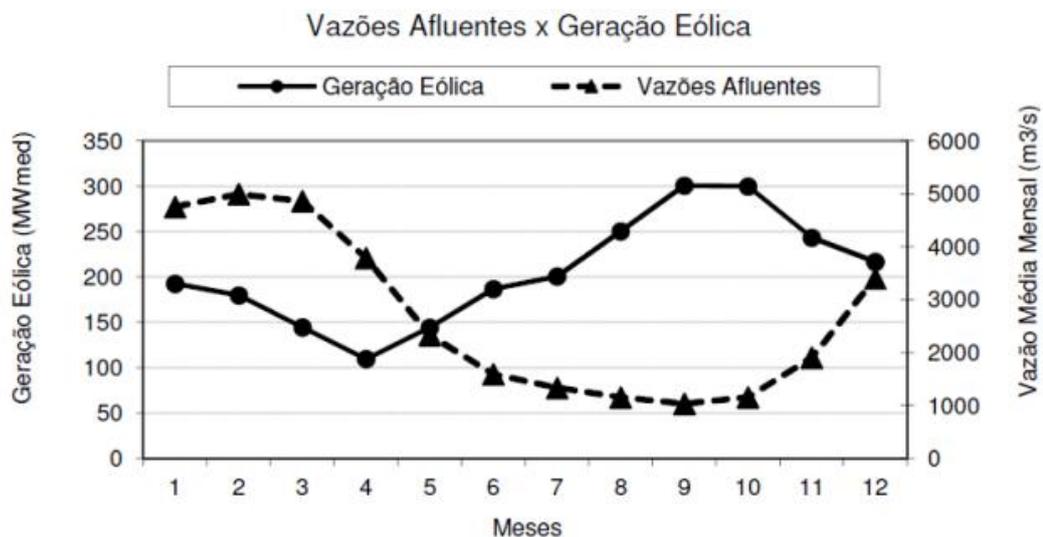
¹⁴ Os leilões de energia, realizados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e concedidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), atuam como um mecanismo de aquisição de energia elétrica por meio das distribuidoras de energia. Com o objetivo de reduzir o custo que é transmitido aos consumidores com a compra de energia elétrica, esse modelo de contratação faz uso do critério da menor tarifa (CCEE) e será objeto de estudo do capítulo 4 desse trabalho (CCEE, 2020).

porte, dificultaram, progressivamente, o atendimento regular da demanda de energia elétrica brasileira (CASTRO et al., 2010).

O impacto disso sobre a matriz elétrica brasileira ocorreu por meio da introdução, cada vez maior, de fontes de energia que deveriam complementar a geração das hidrelétricas durante o período mais seco do ano. Segundo Castro et al. (2010), as principais fontes que apresentam essas características são a energia eólica e a biomassa, fontes renováveis de energia que mantêm sua operação nas estações mais secas do ano.

A complementariedade no caso da fonte eólica ocorre em função dos ventos mais intensos e frequentes estarem presentes principalmente nos momentos mais secos do ano, sobretudo no que se refere a região nordeste do país, que apresenta um potencial eólico elevado (Gráfico 12). A bioeletricidade, por sua vez, se mostra como uma fonte complementar a hídrica na medida em que a safra sucroenergética ocorre no período de Maio a Novembro, justamente os meses mais secos na região onde concentram 70% dos reservatórios brasileiros, a região Centro sul do país (CASTRO et al., 2010).

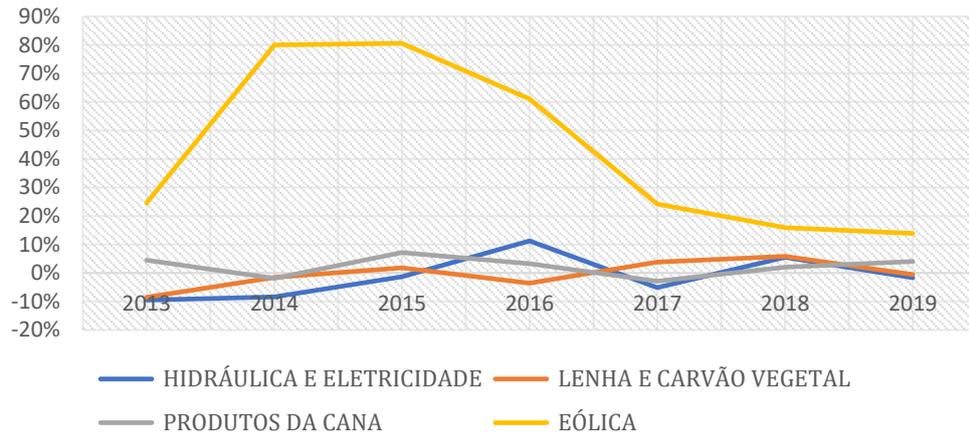
Gráfico 12 - Complementariedade eólica-hidráulica no Nordeste brasileiro



Fonte: BAGATINI, 2015.

Sob a perspectiva da matriz energética brasileira, a participação da fonte eólica cresce a uma taxa superior quando comparada com as demais fontes renováveis de energia¹⁵ durante todo o período que compreende os anos de 2013 a 2019 (Gráfico 13).

Gráfico 13 - Evolução das taxas de crescimento entre as fontes renováveis de energia (2013-2019)

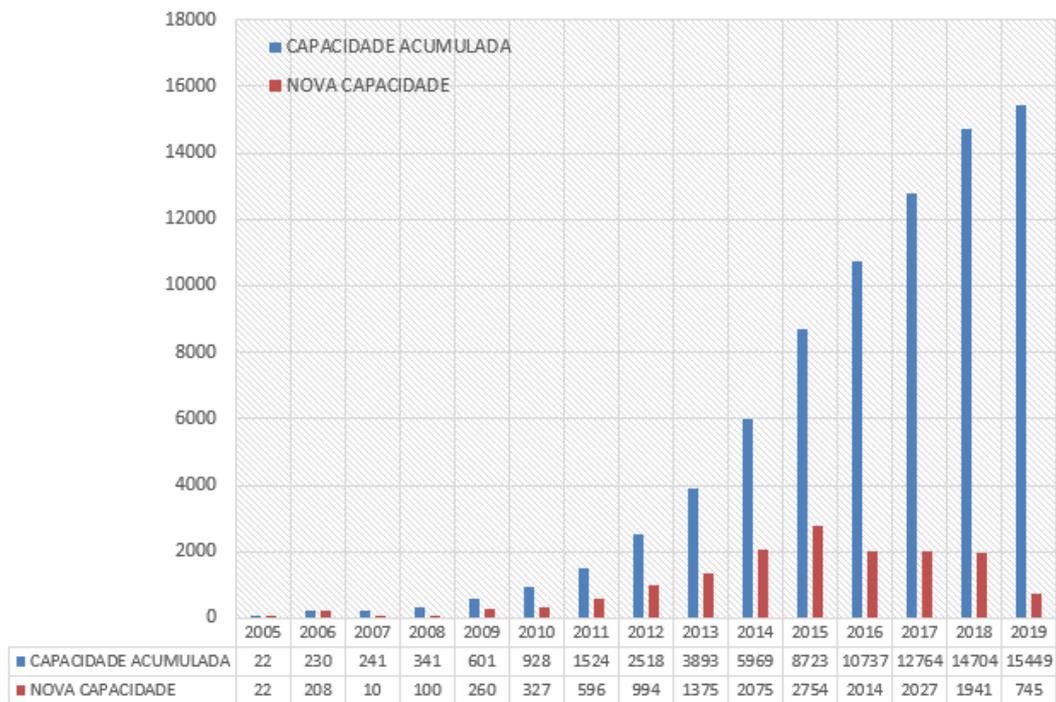


Fonte: Elaboração própria a partir de dados da EPE, 2020a.

O segundo indicador de expansão do setor eólico é a evolução da capacidade instalada de energia eólica no decorrer dos anos. O crescimento da capacidade instalada no Brasil foi impulsionado pela política dos leilões de energia, iniciada em 2004. Até o início do ano de 2020, verificou-se um crescimento anual médio de 59%, de forma que a capacidade instalada em junho daquele ano girava em torno de 16,4 GW (Gráfico 14). Até 2018, tinha-se mais de 600 parques eólicos e 7.000 aerogeradores em operação (ABEEólica, 2018).

¹⁵ A análise em questão não considera a taxa de crescimento da energia solar, de modo a evitar distorções sobre o resultado. A participação dessa fonte de energia na matriz, em termos absolutos, é reduzida, embora sua taxa de crescimento seja expressiva.

Gráfico 14 - Evolução da capacidade eólica instalada brasileira 2005-2019 (em MW)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANEEL/ABEEÓLICA, 2019.

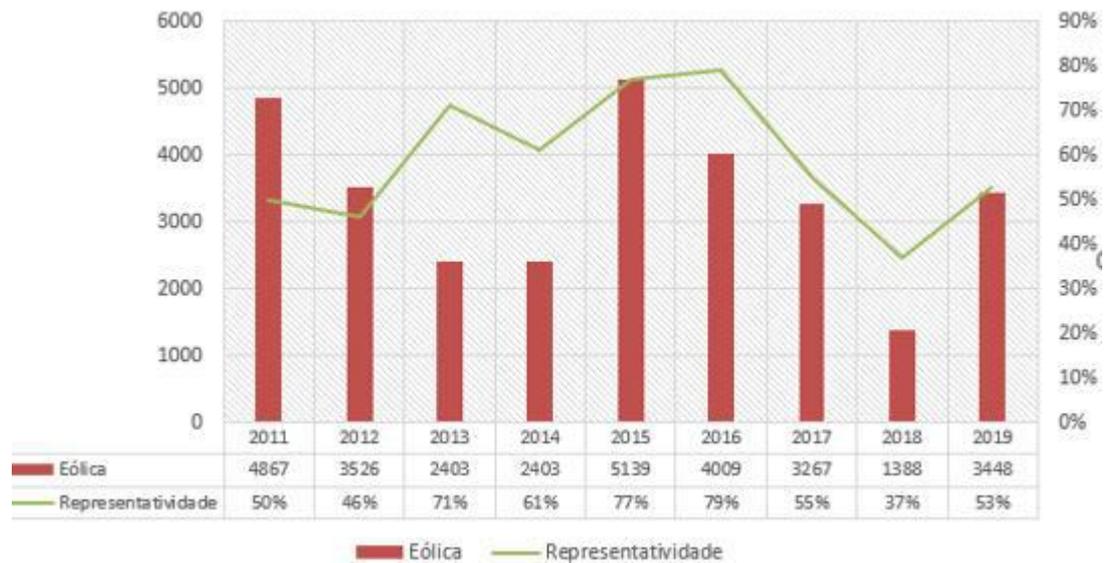
Sob o ponto de vista regional, o Brasil foi o principal responsável pelo crescimento da capacidade instalada de energia eólica na América Latina. Segundo o relatório do GWEC (GWEC, 2019), o Brasil assumiu o oitavo lugar em termos de adição de capacidade instalada, atingindo valores próximos a 745MW. Com esse incremento, passou a ocupar também a oitava posição no mundo em capacidade instalada.

Por último, pode-se citar o nível de investimento como um parâmetro de dinamismo do setor eólico, uma vez que o montante investido no setor é capaz de promover, não só a redução dos custos de geração, como a maior participação dessa fonte de energia na matriz elétrica nacional.

No ano de 2019, foram investidos cerca de US\$ 3,45 bilhões (R\$ 13,6 bilhões) em novos projetos eólicos, o que equivale a 53% dos investimentos em energias renováveis no

país. No acumulado do ano de 2011 ao ano de 2019, esse valor subiu para US\$ 31,3 bilhões (Gráfico 15) (ABEEÓLICA, 2019).

Gráfico 15 - Investimento em novos projetos no setor eólico entre 2011-2019 (milhões de US\$)



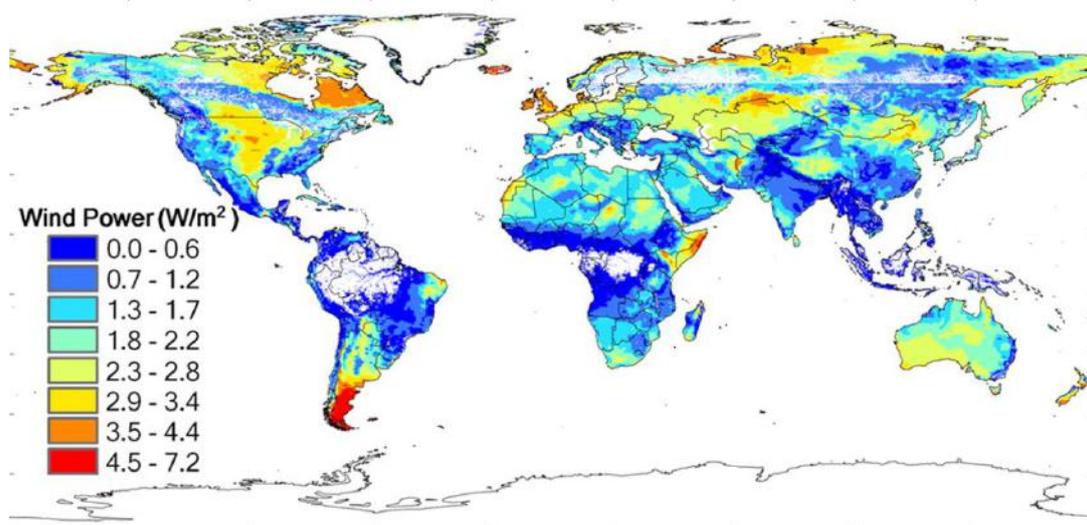
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BNEF/ABEEÓLICA, 2019.

3.2 Fatores que explicam o crescimento do setor eólico brasileiro

Os dois principais fatores que justificam o rápido desenvolvimento da energia eólica no Brasil são o elevado potencial eólico apresentado no país, sobretudo na região Nordeste, e o histórico de políticas públicas adotadas logo após a crise energética de 2001. Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001), elaborado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB/CEPEL, o Brasil dispõe de um potencial eólico onshore de mais de 140 GW (considerando a instalação de aerogeradores com alturas média de 50 metros).

Dentre as regiões brasileiras, destaca-se a região Nordeste do país. Nessa localidade o potencial pode chegar aos 75 GW, o que representa mais de 50% da potência estimada do país (Tabela 4). A velocidade média anual dos ventos se aproxima dos 7,5 m/s nessa área. Sob o ponto de vista mundial, o potencial eólico dessa região também se sobressai, como pode ser verificado na figura 2.

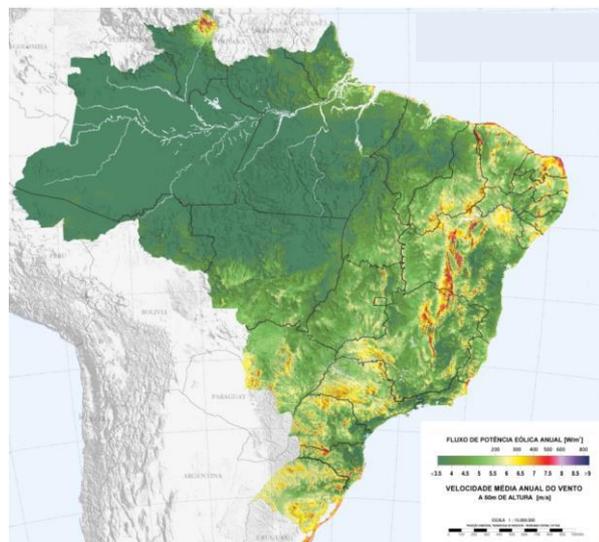
Figura 2 - Distribuição do potencial eólico mundial



Fonte: PNAS, 2019.

Dados mais recentes do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-Clima) estimam que, devido ao desenvolvimento tecnológico experimentado pelo setor ao longo dos anos e considerando torres de 100 metros de altura, o potencial eólico brasileiro pode alcançar hoje um valor próximo a 880 GW, dos quais 522 GW são considerados tecnicamente viáveis. O estudo em questão indica que, desses 880 GW, 309 GW estariam concentrados na região Nordeste do país (PEREIRA, 2016 apud FERREIRA, 2017). Dessa maneira, é possível notar que, apesar da evolução recente da capacidade instalada no país, ainda há muito espaço para sua expansão.

Figura 3 - Potencial eólico brasileiro



Fonte: CRESESB, 2001.

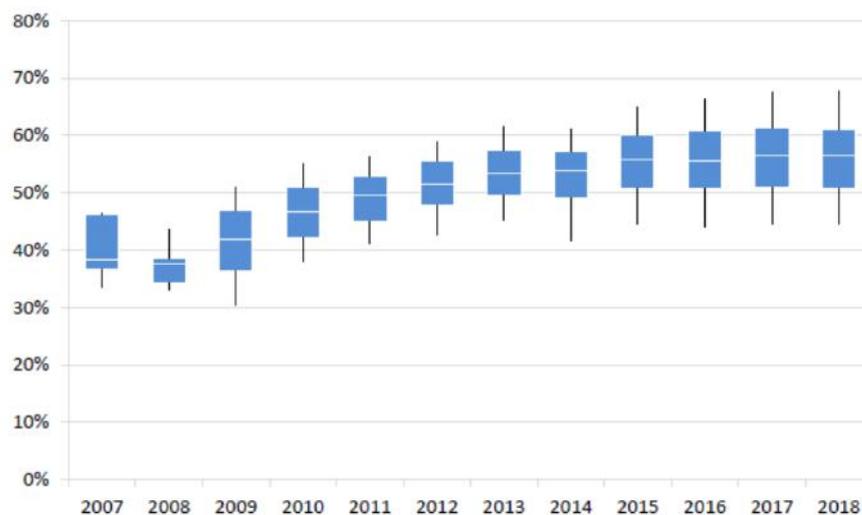
Tabela 4 - Potencial eólico brasileiro por região geográfica

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

Fonte: CRESESB, 2001

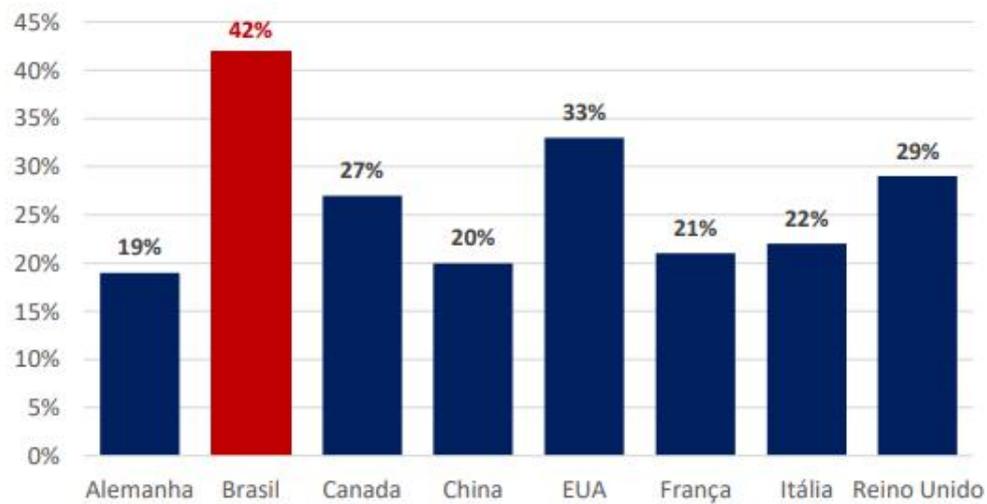
Esse potencial eólico é explicado pela presença de ventos estáveis, unidirecionais e constantes, principalmente quando consideramos a região Nordeste do país. A existência de diversas áreas com essa característica de ventos evidencia o elevado fator de capacidade brasileiro quando comparado com o resto do mundo. De acordo com a ABEEólica (2018), a média mundial do fator de capacidade se encontra em torno de 25%, enquanto no Brasil essa média é superior a 40% (Gráfico 16).

Gráfico 16 - Brasil: evolução do fator de capacidade médio (2007-2018)



Fonte: EPE, 2018.

Gráfico 17 - Comparativo do fator de capacidade de geração eólica do Brasil com os demais países



Fonte: MME apud SILVA, 2019.

Como mencionado anteriormente, as políticas públicas adotadas após a crise energética de 2001 no Brasil, é um dos fatores que explicam o desenvolvimento do setor eólico, na medida em que foram decisivas na redução dos custos e conseqüentemente na conquista dos ganhos competitivos para a fonte em questão. Tais políticas governamentais foram orientadas tanto para o estímulo à demanda, como é o caso da PROEÓLICA (Programa Emergencial de Energia Eólica), do PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia) e dos leilões de energia quanto para o estímulo à oferta dessa fonte alternativa de energia, tais como as linhas de financiamento público, as políticas de conteúdo local, os incentivos fiscais e financeiros e as políticas de P&D.

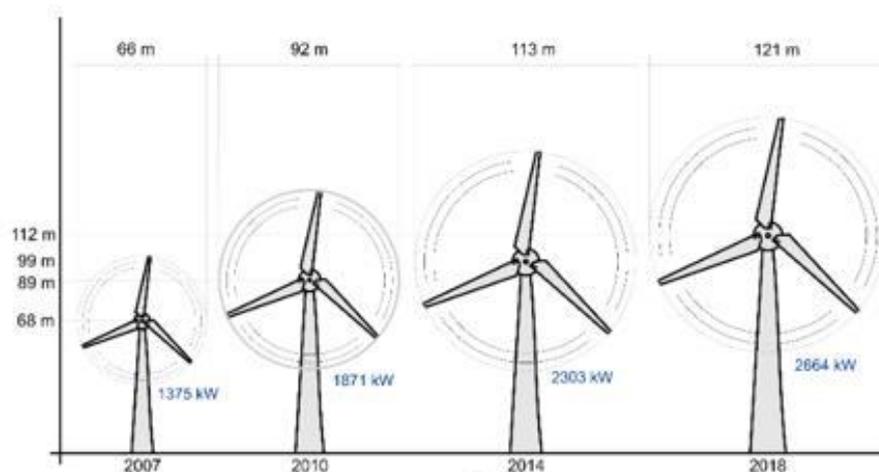
Pode-se dizer que as políticas de incentivo à demanda por energia eólica possibilitam a existência de uma demanda consistente com a produção de aerogeradores. São as políticas denominadas de estruturação ou criação de mercado, como é o caso dos leilões de energia, citado no parágrafo anterior. Por outro lado, políticas de estímulo à oferta dessa fonte de energia buscam fomentar o desenvolvimento tecnológico dos produtores domésticos de aerogeradores. São as chamadas políticas industriais e tecnológicas (FERREIRA, 2017).

3.3 Estrutura de Custos da Energia Eólica

Como visto no capítulo 2, com o passar dos anos, as médias da altura das torres, do diâmetro dos rotores e da potência das turbinas foram ampliadas, possibilitando um melhor aproveitamento dos ventos. Tal avanço tecnológico, permitiu uma redução significativa nos custos de construção dos empreendimentos eólicos através da conquista de ganhos de escala consideráveis. A justificativa para essa tendência está na possibilidade de produzir mais energia por unidade geradora, na medida em que, turbinas com altura, eixo de rotação e diâmetros maiores conseguiram captar ventos com reduzida turbulência e com velocidades médias constantes (DUTRA, 2001).

No Brasil, no ano de 2001, logo após a crise energética, as torres de energia eólica caracterizavam-se por turbinas com diâmetro e altura de aproximadamente 50 metros. Com o desenvolvimento tecnológico de novos materiais exigidos para a construção das plantas eólicas, a altura média das torres passou para 110 metros, enquanto o diâmetro médio atingiu a marca de 120 metros no ano de 2018. Entre os empreendimentos que foram considerados habilitados nesse ano para participar dos leilões de energia, 92% deles fizeram uso de turbinas cujo diâmetro ultrapassava os 110 metros (PONTE, 2019).

Figura 4 - Evolução das alturas, diâmetro e potência média dos equipamentos eólicos no Brasil



Fonte: EPE apud PONTE, 2019.

Os avanços tecnológicos que atravessaram o setor eólico ao longo dos anos, garantiram a conquista de importantes ganhos competitivos da fonte eólica frente a outras

fontes convencionais. Esses ganhos se manifestaram no comportamento de queda dos preços médios eólicos e do custo médio dos investimentos em parques eólicos à medida que ocorriam os leilões de energia.

Contudo, apesar dos ganhos de competitividade observados, que serão objetos de estudo do próximo capítulo, a cadeia brasileira de energia eólica ainda enfrenta gargalos produtivos significativos. Pode-se dizer que a cadeia produtiva de energia eólica ainda mantém uma relação de dependência externa, na medida em que está fortemente sustentada pela importação de componentes e subcomponentes dos aerogeradores. A aquisição de tais itens no mercado interno ainda apresenta inúmeros obstáculos, contribuindo para que a importação represente cerca de 75% do investimento total requerido para a implantação de uma planta eólica. Elevados custos internos, capacidade produtiva local limitada, ausência de fabricantes locais para dados elementos que compõem a produção e capacidade ociosa em alguns países são alguns dos fatores que reforçam a escolha pelo mercado externo (ABDI, 2014).

Conclusão

Como observado ao longo do capítulo 3, o elevado potencial eólico em território brasileiro, em conjunto com as políticas governamentais adotadas a partir da crise de abastecimento, garantiram a expansão e o desenvolvimento da geração eólica no Brasil.

Apesar do avanço tecnológico experimentado pelo setor, o desenvolvimento dessa fonte energética no país encontra barreiras no que diz respeito a sua cadeia produtiva tais como a elevada dependência externa e a capacidade produtiva local limitada.

No próximo capítulo, investigaremos as políticas públicas adotadas após a crise de abastecimento ocorrida no Brasil no ano de 2001 e os impactos desses instrumentos de incentivo para a promoção da competitividade no setor eólico brasileiro.

IV. HISTÓRICO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE INCENTIVO À ENERGIA EÓLICA PÓS CRISE ENERGÉTICA DE 2001 E SUA IMPORTÂNCIA NA PROMOÇÃO DA COMPETITIVIDADE DO SETOR

Introdução

A atuação do Estado por meio de políticas de incentivo à implantação de energia eólica, até o ano de 2020, tem se mostrado necessária, uma vez que a geração de energia por meio de novas fontes renováveis (eólica, solar, biomassa, geotermia, hidrogênio) ainda apresenta maiores custos unitários do que as fontes convencionais. É importante ressaltar que as políticas públicas de incentivos às novas fontes de energia devem abranger diferentes níveis da cadeia produtiva, tratando de diferentes dimensões, como por exemplo, a dimensão regulatória e de financiamento. Dentro dessa visão abrangente das políticas públicas, deve-se prestar atenção na coerência e consistência dos instrumentos de políticas públicas para que os efeitos desejados de cada um dos instrumentos adotados não se anulem ou mesmo converjam para direções diversas da objetivada inicialmente.

Com base no exposto acima, esse capítulo tem como objetivo analisar os principais instrumentos governamentais adotados após a crise energética de 2001 e os seus impactos sobre os ganhos competitivos do setor eólico ao longo das últimas décadas. Para isso, o capítulo foi estruturado de forma que na primeira seção serão apresentados os principais instrumentos das políticas de incentivo voltadas para o setor eólico empregados no Brasil pós crise de abastecimento. Para facilitar a análise, os instrumentos serão divididos em cinco grupos: a) Instrumentos Regulatórios, b) Instrumentos de Política Industrial, c) Instrumentos de Financiamento, d) Instrumentos de Inovação e e) Instrumentos Fiscais.

Uma vez identificados os instrumentos de política pública adotados no Brasil, a segunda seção buscará investigar o efeito dos instrumentos governamentais sobre a estruturação da cadeia de fornecedores, sobre o aumento da capacidade instalada, sobre a redução dos custos, decorrentes do aumento da escala de produção e, por fim, sobre os ganhos de competitividade do setor.

A partir das reflexões feitas na segunda seção, a terceira e última parte desse capítulo buscam verificar se o ganho de competitividade decorrentes da adoção de políticas públicas

analisadas nas seções anteriores justificam a redução dos incentivos governamentais à essa nova fonte de energia.

4. Políticas de Incentivo para Energia Eólica no Brasil.

De uma forma geral, o governo brasileiro dispõe de um papel relevante no setor elétrico brasileiro. Mesmo com as privatizações, ocorridas no setor por volta dos anos 90, a maior parte do controle em relação a geração de energia ainda permanece sobre as mãos do Estado brasileiro. Apesar do Brasil ainda apresentar um elevado potencial hidroelétrico, os impactos sociais e ambientais, decorrentes da construção de grandes reservatórios, assim como a seca responsável pela crise de abastecimento em 2001, acabam por reforçar a necessidade em torno da diversificação da matriz energética através da maior participação de novas fontes de energia (AQUILA et al., 2016).

Em concordância com Wachsmann e Tomalsquim (2003 apud AQUILA et al., 2016), antes de 2001 não havia incentivos públicos que facilitassem os empreendedores a estabelecerem pequenos projetos de energias renováveis no Brasil. Contudo, a implantação do PROINFA, em 2001, tornou viável a adoção de uma política direcionada especialmente para o setor de energia renovável (DUTRA; SZKLO, 2006). Nessa seção, iremos analisar não somente o PROINFA, mas também os demais instrumentos de política pública adotados no Brasil em direção ao incentivo a energia eólica.

4.1 Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA)

Diante da necessidade de diversificar a matriz energética brasileira após a crise energética de 2001, foi criado o primeiro programa governamental que tinha como objetivo o estímulo a geração de energia eólica no Brasil. O Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA), originou-se da resolução nº 24, em 5 de julho de 2001 da Câmara de Gestão da Crise da Energia Elétrica (CGE) (FERREIRA, 2008).

O programa tinha como finalidade a implantação de 1500 MW de capacidade instalada, até dezembro de 2003, que deveriam ser gerados a partir da fonte eólica. De modo a garantir o sucesso do programa, ficou estabelecido que a Eletrobrás asseguraria a compra da energia produzida por até 15 anos e o preço da energia comprada teria o Valor

Normativo¹⁶ como referência, sendo esse repassado para a tarifa dos consumidores de energia elétrica. Sob o valor de compra (VC) da eletricidade seriam aplicados incentivos adicionais que variavam entre 10% e 20%, conforme a data de início da operação do projeto (Tabela 5) (RINGER, 2014).

Tabela 5 - Incentivos para a implementação dos projetos eólicos no PROEÓLICA

Data de Implementação do projeto	Incentivo
até 31 de dezembro de 2001	1,2 x VC
até 31 de março de 2002	1,175 x VC
até 31 de junho de 2002	1,15 x VC
até 30 de setembro de 2002	1,125 x VC
até 31 de dezembro de 2002	1,1 x VC

Fonte: FERREIRA, 2014.

O objetivo dos incentivos acima mencionados era estimular e acelerar a entrada de novos projetos eólicos, uma vez que aqueles projetos que fossem implementados nos meses subsequentes a implantação do PROEÓLICA, seriam favorecidos com valores de compra de energia mais elevados. Ao final do período, observou-se um total de 39 projetos aprovados pela ANEEL, que somavam cerca de 3.340 MW de capacidade instalada (FERREIRA, 2014).

Apesar dos incentivos tarifários, a dependência da importação de equipamentos criava uma forte barreira a expansão dos projetos de energia eólica no país. Nesse sentido, ao lado dos repasses regulados, o governo brasileiro, tomou a decisão, em 2002, de isentar o IPI para alguns produtos voltados para a produção de energia elétrica (decreto nº 3.827/2001) (FERREIRA, 2008).

Fatores como o desinteresse dos próprios investidores, o reduzido intervalo de tempo entre o lançamento do programa e o prazo para os incentivos sobre os valores de compra serem obtidos e a ausência de uma regulamentação clara e coerente explicam o fracasso do

¹⁶ Valor regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

programa, que não foi capaz de alcançar os 1500 MW de capacidade instalada previsto inicialmente (FERREIRA, 2014).

Entretanto, apesar do eventual fracasso, o PROEÓLICA serviu como modelo para a implantação das subsequentes políticas de incentivo para a energia renovável no Brasil. Assim, em 2001, a medida provisória nº 14, regulamentada através da lei 10.438 criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, o PROINFA.

4.2 Programa de Incentivo às fontes alternativas de energia (PROINFA)

O programa de incentivo às fontes alternativas de energia, criado em 2002, atuava, conforme Dutra e Szklo (2006), na busca pela diversificação da matriz elétrica brasileira, pela redução das emissões de gases do efeito estufa, pela ampliação da segurança energética e pela geração de renda e empregos locais.

O programa contou com a participação de três agentes fundamentais, sendo eles o Ministério de Minas e Energia (MME), a Eletrobrás e a Agência Nacional de Energia Elétrica, cada um desenvolvendo funções específicas. Em concordância com Lima, Santos e Moizinho:

“O programa é administrado pelo Ministério de Minas e Energia, o qual é responsável pelo planejamento anual dos projetos a serem implementados e pela avaliação de impacto dos projetos já implementados. Enquanto a Eletrobrás assume o papel de celebrar os contratos de compra de energia elétrica de instalações de produção. E, por fim, a Agência Nacional de Energia Elétrica é responsável pela fiscalização técnica dos projetos submetidos ao programa, fiscalização do cumprimento dos critérios propostos pelo decreto em que se baseia o programa e regulação dos procedimentos que compõem a execução dos projetos”. (LIMA; SANTOS; MOIZINHO, 2018, p. 228).

O programa de incentivo às fontes alternativas de energia foi dividido em duas etapas e tinha como objetivo ampliar a oferta de energia elétrica advinda de pequenas centrais hidrelétricas (PCH), da biomassa e da fonte eólica através dos chamados Produtores Independentes Autônomos (PIA)¹⁷. O diferencial promovido pelo programa estava na busca

¹⁷ A figura do Produtor Independente Autônomo foi instituída pela lei 10.438, em abril de 2002. O Produtor Independente é considerado autônomo quando sua sociedade não é controlada pelo concessionário de serviço público ou de uso de bem público para geração, transmissão ou distribuição de energia, nem de seus

pela inserção da biomassa, energia eólica e energia hidráulica no Sistema Interligado Nacional¹⁸ (SIN), assim como no estabelecimento de um novo marco institucional para as fontes alternativas (CAMILLO, 2013).

Para a primeira etapa, que deveria ser concluída até dezembro 2006, foi estipulado como meta um aumento da capacidade instalada de 3.300 MW, que deveriam ser distribuídos igualmente entre as fontes citadas. Na segunda etapa, por sua vez, foi estabelecido que a participação das fontes no consumo total anual de energia elétrica deveria atingir 10% dentro de um período de 20 anos (CAMILLO, 2013).

Em novembro de 2003, com a implementação da lei 10.762¹⁹, ampliou-se para 20 anos o prazo dos contratos de compra da energia assegurados pela Eletrobrás, antes definidos para um período de 15 anos. De acordo com Araújo e Willcox (2018, p. 205), “A existência de contratos de longo prazo e a centralização da contratação na Eletrobras reduziram a percepção de risco desses empreendimentos e alavancaram a capacidade de financiamento”.

Como foi observado um atraso²⁰ em relação ao cumprimento das metas do programa, o prazo para o seu encerramento foi postergado até dezembro de 2011, através da lei de nº 12.431 (PANTOJA, 2013).

Apesar de terem sido contratados e encomendados cerca de 54 projetos de energia eólica na primeira fase do programa, só havia 4 parques em operação na data prevista para o início da operação (2006). Como pode ser observado na tabela abaixo, ao final de dezembro de 2011, foram instalados um total de 41 projetos de energia eólica, que somaram aproximadamente 936,99 MW de capacidade instalada.

controladores, sociedade controlada ou coligada com controlador comum, de acordo com o § 1º do art. 3º da lei nº10.438 de 2002 (BRASIL, 2002).

¹⁸ É o conjunto de instalações, constituídas por quatro subsistemas: sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte, que garantem o abastecimento da energia elétrica no país (ANEEL, 2014).

¹⁹ A lei 10.762 teve por objetivo a criação do Programa de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica, modificando a lei 10.438, Art. 3º, § 3º, que dispõe acerca das etapas do PROINFA (BRASIL, 2003).

²⁰ O atraso na implantação e execução dos projetos de energia ocorreu em decorrência da dificuldade no cumprimento do índice de nacionalização estabelecido, demora no licenciamento ambiental e demanda aquecida no mercado externo, que pressionava o preço das turbinas eólicas (PANTOJA, 2013).

Quadro 2 - Projetos no âmbito do PROINFA

PROJETOS NO ÂMBITO DO PROINFA				
PROINFA 1ª Fase	Total Selecionado		Total Instalado do PROINFA até Dez - 2011	
Fonte	Número de Projetos	Potência Total (MW)	Número de Projetos	Potência Total (MW)
Biomassa	27	700,90	19	533,34
Eólica	54	1.422,96	41	963,99
PCH	63	1.191,40	59	1.152,54
Total	144	3.315,26	119	2.649,87

Fonte: COSTA et al. (2009) apud PANTOJA (2013).

De uma forma geral, pode-se dizer que o PROINFA consiste em um conjunto de instrumentos de políticas públicas, que abrangem as dimensões regulatórias, de política industrial, de financiamento e de inovação. Abaixo serão apresentados os principais instrumentos que compõem o programa:

a) Instrumentos Regulatórios

Tarifa Feed in

De modo a permitir a implantação de projetos de cada fonte alternativa de energia, estabeleceu-se tarifas no padrão *feed-in*²¹. Primeiramente adotadas na Alemanha e na Dinamarca, as tarifas do tipo *feed-in* buscavam estimular o uso de energias renováveis e a compra da eletricidade advinda dessas fontes através de valores acima do mercado. As tarifas, em um primeiro momento, eram definidas segundo o valor econômico correspondente a tecnologia específica de cada fonte, que seria o valor de energia elétrica capaz de viabilizar econômica e financeiramente um projeto considerado padrão. Dessa forma, os consumidores finais pagavam pela energia elétrica derivada de cada fonte alternativa de maneira proporcional ao seu consumo (CAMILLO, 2013).

Na segunda fase do programa, contudo, esse cálculo sofreria alterações. O valor da tarifa, nessa segunda etapa estaria baseado no custo médio de geração de aproveitamentos hidráulicos com potência acima de 30.000 kW e de centrais térmicas a gás natural, acrescido

²¹ Para maiores informações sobre esse instrumento regulatório, ver seção 2.4 do capítulo 2.

de um crédito originado da chamada Conta de Desenvolvimento Energético (CDE)²². A exceção a essas regras seriam os consumidores pertencentes a subclasse residencial de baixa renda, cujo consumo mensal não ultrapassa os 80kWh (BARROSO NETO, 2010).

b) Instrumentos de Política Industrial:

Política de Conteúdo Local

Esse instrumento de política industrial visa o aumento da participação de fatores locais, tais como a constituição de uma mão de obra local, a contratação de serviços internos e a compra de materiais nacionais (FERREIRA, 2017). A política de conteúdo local, de acordo com Ferreira (2017), se mostrou uma política com regras claras, cronograma definido, metas exequíveis, compromissos progressivos e flexíveis.

A exigência de um índice mínimo de 60% de conteúdo nacional nos serviços e equipamentos dos empreendimentos eólicos nessa primeira fase do PROINFA buscava estimular a indústria local. Contudo, dada a existência de uma única empresa de componentes eólicos até o ano de 2008, a *Wobben Wind Power*, o objetivo esperado não foi atingido. Em função do aquecimento na demanda de aerogeradores e de suas obrigações com a matriz, a *Wobben Wind Power* do Brasil (única empresa atuante na época), destinou a maior parte dos seus investimentos para fora do país (CAMILLO, 2013).

Como o desenvolvimento da cadeia de fornecedores na indústria nacional não foi observado, o índice de nacionalização dos equipamentos e máquinas foi revisto para a segunda fase do PROINFA. Em resposta a lei nº 10.762, em novembro de 2003, esse índice subiu para 90% durante a segunda fase do PROINFA (CAMILLO, 2013).

c) Instrumentos de Política de Financiamento

Linhas de Financiamento

O programa buscou oferecer subsídios para os investimentos por meio das linhas especiais de crédito do BNDES. Tais linhas foram garantidas por meio do Programa de

²² A Conta de Desenvolvimento Energético é um fundo que tem como principal finalidade o financiamento de algumas políticas públicas do setor elétrico, tais como a universalização do acesso à energia, os descontos ofertados a determinados clientes dos serviços e a modicidade tarifária em sistemas isolados de energia elétrica (ANEEL, 2015).

Apoio Financeiro a Investimentos em Fontes Alternativas de Energia Elétrica do BNDES, através da lei de número 10.438/2002 (ARAÚJO; WILLCOX, 2018).

O incentivo ao financiamento, sobretudo para a aquisição de bens de capital, associado a regra de credenciamento do BNDES tinham como alvo o adensamento produtivo, de forma a impulsionar a geração de uma demanda para a indústria local. Conforme Araújo e Willcox (2018, p.206), “Os aerogeradores representam, no Brasil, entre 70% e 80% do investimento total. Assim, financiar a implantação dos parques eólicos é, predominantemente, apoiar aquisição e implantação dos aerogeradores”.

d) Instrumentos de Inovação

Políticas de P&D

Durante o PROINFA, uma série de instrumentos de estímulo à P&D em energia eólica foram financiados por algumas instituições, entre elas a ANEEL, o Fundo Setorial de Energia Elétrica (CT-Energ), Ministério de Minas e Energia, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Assim como na Alemanha, as políticas de P&D no Brasil se apoiaram em programas de incentivo que buscavam subsidiar atividades de pesquisa, além de prover recursos não reembolsáveis para empresas desenvolverem produtos, serviços e processos inovadores (CAMILLO, 2013).

As políticas de P&D contribuem para o desenvolvimento da indústria nacional de energia eólica por diversos fatores. Em primeiro lugar, a difusão do conhecimento produzido nos centros de pesquisa, ao auxiliar no desenvolvimento de equipamentos domésticos, reduz a dependência em relação a importação de equipamentos externos. Além disso, é capaz de reduzir os custos destinados aos investidores das plantas eólicas, permitindo o surgimento de aerogeradores cada vez mais eficientes na captação de energia. Por fim, a existência de centros de pesquisa locais possibilita que os equipamentos eólicos estejam em harmonia com às condições do país, sejam elas de temperatura, salinidade, dentre outras (FERREIRA, 2017).

Além dos instrumentos de políticas públicas desenvolvidos no âmbito do PROINFA, outras iniciativas governamentais foram empregadas no sentido de promover a expansão da fonte eólica no Brasil.

4.3 Outros instrumentos regulatórios

Leilões de Energia

O estabelecimento de um novo marco regulatório para o setor elétrico brasileiro ocorreu antes mesmo da segunda fase do PROINFA ser regulamentada (leis 10.487/2003 e do decreto 5.163/2004). Esse novo modelo de desenvolvimento, baseado nos leilões públicos de energia, tinha como principal finalidade a segurança do suprimento, a modicidade tarifária, a regulação estável e a universalização da energia elétrica (BARROSO NETO, 2010).

Conduzidos pela ANEEL, os leilões podem ser de três tipos principais: A-3, A-5 e leilões de reserva. Leilões do tipo A-3 e A-5, utilizados para a contratação de energia nova, são aqueles que promovem a contratação de energia de empreendimentos que só entrarão em funcionamento em 3 a 5 anos após a ocorrência do leilão. Leilões do tipo A-1, utilizados na contratação de energia existentes, já contratam projetos em operação há no máximo um ano. Por último, os leilões de reserva, buscando garantir a continuidade do abastecimento de energia, contratam projetos de forma a constituir uma reserva de capacidade (CEE, 2012 apud CAMILLO, 2013).

A energia comercializada no ambiente de contratação regulada advém de usinas existentes e novas, visando atender a um consumo atual ou futuro por energia. Os contratos de energia são firmados entre as distribuidoras de eletricidades e os vencedores dos leilões, sendo esses últimos, realizados mediante chamadas públicas.

Algumas medidas, direcionadas para as particularidades da energia eólica e o contexto local, também foram adotadas de forma simultânea a ocorrência dos leilões de energia. Em primeiro lugar, o acesso ao mercado de energia eólica deixou de ficar restrito ao PIA, figura criada com o PROINFA, e se expandiu para as concessionárias de energia, que puderam se responsabilizar pelos investimentos em empreendimentos eólicos (CAMILLO, 2013).

Em segundo lugar, houve modificação no que se refere ao índice econômico utilizado para o ajuste anual do preço da energia comercializada. Durante o PROINFA o preço da energia contratada era corrigido anualmente pelo índice Geral de Preço do Mercado (IGPM), altamente suscetível às variações de câmbio. Com a entrada do modelo de leilões em vigor, o preço da energia passou a ser ajustado por meio do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) (CAMILLO, 2013).

A última medida diz respeito ao destino dos créditos de carbono no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)²³. No contexto do PROINFA, a Eletrobrás assumia o papel de gerenciadora da conta na qual os créditos eram depositados. Com o novo modelo de desenvolvimento do setor elétrico, os ganhadores dos leilões também passaram a desfrutar e a barganhar no mercado de créditos de carbono (CAMILLO, 2013).

O primeiro leilão o qual a fonte eólica participou ocorreu em junho de 2007, o chamado Leilão de Fontes Alternativas (LFA). Leilões de Fontes Alternativas podem contratar tanto energia nova, como existente, porém são orientados exclusivamente para a contratação de energia proveniente de empreendimentos eólicos. Previam-se que as entregas dos projetos contratados nesses leilões fossem para o início do mês de janeiro de 2010, entretanto, não houve nenhum contrato de comercialização de energia eólica firmado. Com preço elevado em relação as demais fontes, a competitividade e a inserção da energia eólica no ambiente de energia regulado se viram prejudicadas (PANTOJA, 2013).

Em agosto de 2008, por deliberação do MME, realizou-se o primeiro Leilão de Energia de Reserva (LER), voltado exclusivamente para a contratação de energia eólica. Assim como o LFA, o primeiro LER não criou incentivos para que houvesse contratação de energia. Apenas em 2009, com o segundo leilão de reserva (2º LER), a contratação se tornou viável e alcançou os 1,8 GW (1.805,7 MW) de energia, com preço médio de R\$ 148,39/MWh. Pode-se verificar, portanto, uma queda abrupta quando comparado ao preço médio obtido pelos projetos submetidos ao PROINFA, que atingiam, em média, valores próximos aos R\$ 312,00/MWh (Revista Energia Eólica: Anuário 2012 apud PANTOJA, 2013).

²³ É um instrumento criado durante o Protocolo de Quioto (1997), com o objetivo de garantir a redução das emissões de gases do efeito estufa ou a captura de carbono pelos países (DE GODOY, 2007).

A partir de 2009, a energia eólica passou a competir com outras fontes de energia, após o governo brasileiro compreender que a fonte eólica conquistou consideráveis ganhos competitivos com o novo modelo de contratação estabelecido. Em função do baixo custo apresentado nos leilões, a energia eólica garantiu não só um montante mínimo a ser contratado pelo governo, como sua definitiva contratação.

4.4 Outros Instrumentos de Política Industrial

Plano de Nacionalização Progressiva do BNDES (2012-2015)

Em 2012, o BNDES criou o Plano de Nacionalização Progressiva (PNP), como maneira de credenciar novos fabricantes de aerogeradores, de modo a permitir o financiamento dos investidores nos parques eólicos. A partir dessa medida, o credenciamento das máquinas e equipamentos, antes realizado através da verificação da fabricação interna por meio do peso e do valor do aerogerador, sofreu alterações.

O novo modelo de credenciamento, que passou a vigorar em dezembro de 2012, determinou um nível mínimo de conteúdo local a ser cumprido por alguns componentes dos aerogeradores, assim como as etapas que deveriam ser executadas internamente, contribuindo para a seleção de componentes de alto valor tecnológico e trabalho-intensivo (ARAÚJO; WILLCOX, 2018).

Com a intenção de aumentar gradativamente o conteúdo de origem local dos aerogeradores, o plano buscava garantir uma maior participação no financiamento dos mesmos nos empreendimentos eólicos para aqueles que conseguissem inserir, progressivamente uma maior quantidade de componentes fabricados internamente. Para Mário Bernardini, diretor da ABIMAQ, ao ser entrevistado pela revista Carta Capital (nº 862, em agosto de 2015):

“[...] o BNDES há três anos criou uma política de financiamento que tornou o produto local capaz de concorrer com o importado. Alongou o prazo de financiamento e possibilitou um custo que, trazido ao valor presente, tornava competitivo o aerogerador nacional, antes entre 20% e 25% mais caro que o importado por causa do custo Brasil. Isso mudou completamente o jogo. A contrapartida do financiamento foi uma nacionalização progressiva do produto, feita de forma inteligente de modo a promover principalmente os elementos de maior valor agregado. Três anos depois, o resultado dessa política é brilhante. Temos uma indústria de aerogeradores que atende plenamente à demanda nacional e, com o câmbio

a 3,50 ou 3,60, poderia exportar. O setor tem entre 20 e 30 empresas com 40 mil empregados qualificados e bem remunerados e instala de 2 mil a 3 mil aerogeradores por ano, completamente nacionais”. (BERNARDINI, 2015).

4.5 Outros instrumentos de Financiamento

Linhas de Financiamento

Assim como na Alemanha, as linhas de financiamento representaram um mecanismo relevante na redução do custo do capital associados aos empreendimentos eólicos. As principais instituições responsáveis pela disponibilidade de crédito para o setor de energia eólica no Brasil são o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Banco do Nordeste (BNB) e a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE).

As três linhas de destaque do BNDES orientadas para o setor de energia eólica são o Finem, o Finame e o Inova Energia. O Finem tem linhas de financiamentos acima de R\$ 10 milhões direcionadas para projetos de investimentos que envolvem a modernização, ampliação e implantação de ativos nos setores de indústria, comércio, agropecuária, serviços, dentre outros. A linha de infraestrutura do Finem, que agrega as energias alternativas, estimula a implantação e ampliação dos projetos associados a energia eólica especificamente (CAMILLO, 2013).

O Finame, por outro lado, tem como foco o financiamento para a aquisição e produção de equipamentos e máquinas de origem local. De modo a estimular a indústria doméstica, as duas linhas de financiamento demandam um índice de nacionalização mínimo de 60% para máquinas e equipamentos (CAMILLO, 2013).

Lançado em 2013, o Inova Energia constitui uma linha de financiamento para inovação tecnológica no setor elétrico que contou com a participação de três órgãos governamentais: o BNDES, a FINEP e a ANEEL. O programa buscou estimular a inovação e a maior complementariedade entre os instrumentos de suporte à pesquisa, desenvolvimento e à inovação, destinados ao setor de energia no país, de modo a enfrentar os gargalos existentes no setor energético. Através desse programa, o Inova Energia atuou sobre o desenvolvimento de empresas e tecnologias da cadeia produtiva por meio das redes

inteligentes (*smart grids*), transmissão em ultra-alta tensão, geração de energia através de fontes alternativas (solar fotovoltaica, termosolar e eólica), veículos híbridos e eficiência energética veicular (BNDES, 2020).

No que tange a cadeia produtiva de energia eólica, buscou-se desenvolver tecnologias para o melhor aproveitamento energético. O projeto conta com apoio de diversos instrumentos financeiros, tais como a subvenção econômica garantida pela FINEP, com valores que podem atingir até 10 milhões, o acesso a crédito proporcionado pelo BNDES, os recursos obrigatórios de P&D da ANEEL, o financiamento não reembolsável, assim como os investimentos diretos ou por meio de fundos (FINEP, 2020).

Ao final do plano, as três instituições terão disponibilizado cerca de R\$ 3 bilhões para o período que compreende os anos de 2013 a 2016, sendo R\$ 1,2 bilhão advindos da FINEP, R\$ 1,2 bilhão do BNDES e R\$ 600 milhões da ANEEL (BNDES, 2020).

Regionalmente, destaca-se a atuação do BNB²⁴ e da SUDENE, instituições direcionadas para o desenvolvimento da região Nordeste do país. Os créditos advindos dessas organizações são provenientes do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FND)²⁵ e do Fundo de Desenvolvimento do Nordeste (FDNE)²⁶, que garantiram o financiamento de diversos parques eólicos a taxas de juros acessíveis.

4.6 Outros Instrumentos Fiscais

Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI)

Do ponto de vista fiscal, à medida que mais se destacou foi a implantação do Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI), por meio da lei de nº 11.488, em junho de 2007. Esse regime buscava desenvolver a infraestrutura do país através da desoneração de tributos federais incidentes sobre a receita dos projetos, assim

²⁴ A linha de crédito ao qual o BNB tem forte atuação é o PRONAF Eco (Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar), criado em 2007, com o objetivo de financiar agricultores e produtores rurais que invistam em projetos de cunho sustentáveis que busquem recuperar e conservar o meio ambiente, tais como o uso das tecnologias de energia renovável (CAMILLO, 2013).

²⁵ O FND se destina aos setores agropecuários, mineral, industrial, agroindustrial, de empreendimentos comerciais e de serviços. A Portaria nº 68 do Ministério de Integração Nacional permitiu que os parques eólicos fossem incluídos nesse esquema de financiamento apenas no ano de 2016 (FERREIRA, 2017).

²⁶ O FNDE se destina a projetos voltados para infraestrutura, serviços públicos e empreendimento produtivo (FERREIRA, 2017).

como almejava reduzir o Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) sobre equipamentos, máquinas e componentes produzidos internamente. Em termos gerais, o REIDI tinha como meta a concessão de incentivos fiscais para estimular o investimento nos projetos de infraestrutura em alguns setores selecionados, entre eles o de energia (FERREIRA, 2017).

Ferreira (2017) destaca que entre 2007 e 2016, o esquema do REIDI conseguiu abranger um total de 500 projetos de energia eólica, permitindo que o custo do empreendimento fosse reduzido em até 9,25% (RITTNER, 2013 apud FERREIRA, 2017).

5. Resultado das políticas de incentivos sobre a competitividade da indústria eólica

A principal finalidade da adoção de estratégias de incentivos pelo setor público no setor eólico é induzir a formação de uma indústria competitiva e consolidada, através da redução do diferencial de custos existente entre as fontes ditas convencionais e as fontes alternativas de energia. Conforme o GWEC:

“(...) market design must be adapted to enable accelerated growth of renewable energy deployment towards 2030 and beyond. It discusses how policymakers must shift the focus on LCOE to address the policy and regulatory frameworks needed to carry out the energy transition. This includes providing the enabling environment to install capacity at the necessary pace and sending the right market signals: adopting system value for energy sources, structuring markets to ensure adequate remuneration for renewable energy and mobilising financing for the transformation of grids”. (GWEC, 2019, p. 16).

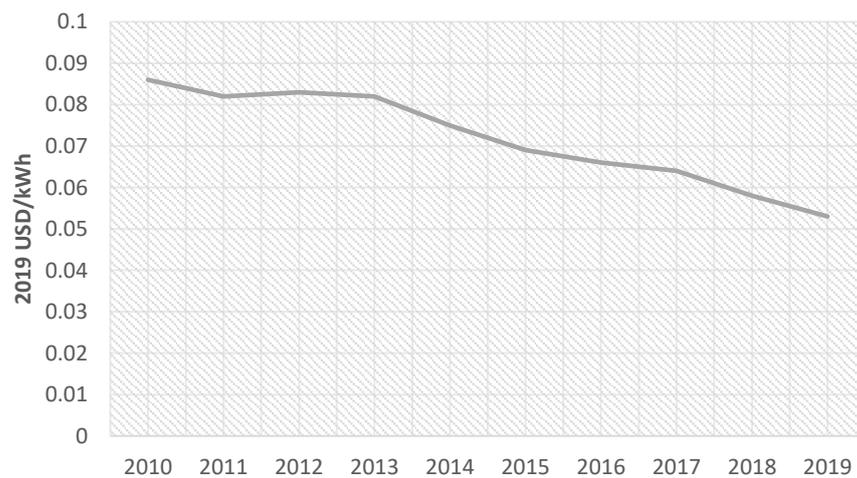
Pode-se dizer que a nível mundial, o LCOE²⁷ da energia eólica vem apresentando um comportamento de queda. No ano de 2019, o custo nivelado da energia eólica atingiu os USD 0.053/kWh, o que significou um valor 9% menor do que o apresentado no ano anterior e 39% mais baixo em relação ao seu valor no ano de 2010. A redução do custo nivelado da eólica, reflexo da queda dos custos de instalação e da ampliação dos fatores de capacidade,

²⁷ Levelized Cost of Energy (LCOE) ou custo nivelado de energia avalia o custo por megawatt-hora referente a construção e operação de uma planta de geração durante sua vida útil estimada. Esse custo, expresso em unidade monetária, abrange o custo de capital, os custos financeiros, os custos fixos e variáveis de operação e manutenção, o fator de capacidade, o custo total de instalação, dentre outros (GUIMARÃES, 2019).

permitiu que o setor eólico conquistasse ganhos de competitividade consideráveis ao longo dos anos (IRENA, 2019b).

A queda dos preços das turbinas eólicas, em torno de 55%-60% desde 2010 contribuiu para a redução dos custos de instalação, enquanto a evolução tecnológica nas turbinas resultou no aumento do fator de capacidade e na queda dos custos de operação e manutenção. O custo global médio de instalação de parques eólicos vem apresentando queda desde 2010 e passou de USD 1.549/kW para USD 1.473/kW em 2019. O fator de capacidade médio, por outro lado, se ampliou em 1/3 no período que compreende os anos de 2010 a 2019, saltando de 27% em 2010 para 36% em 2019. Diante desse cenário, no ano de 2019, o custo nivelado médio de energia para novos projetos eólicos era mais baixo em relação a opção de fonte fóssil mais barata, o carvão, em países como a Argentina, Brasil, China, Egito, Finlândia, Índia, Suécia e Estados Unidos (IRENA, 2019b) (Gráfico 18).

Gráfico 18 - Trajetória de queda do custo nivelado mundial de energia eólica (2010-2019)



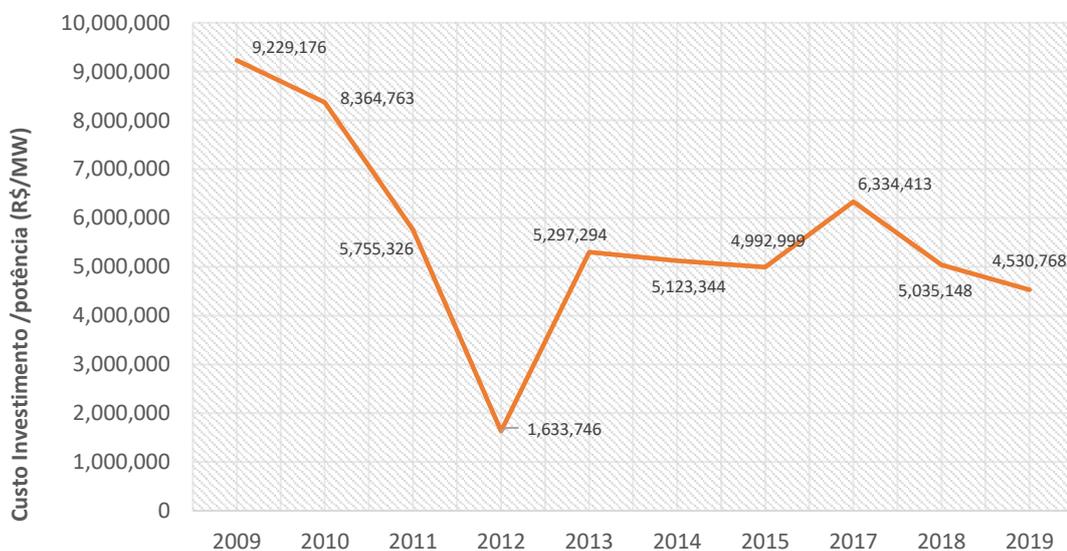
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da IRENA, 2019b.

5.1 Análise dos impactos dos instrumentos das políticas públicas no Brasil

Apesar de apresentarem falhas, os instrumentos governamentais adotados no setor eólico de energia foram decisivos na redução dos custos dessa fonte alternativa de energia e, em último caso, na conquista dos chamados ganhos de competitividade.

Desde a execução do PROINFA, os custos por MW instalado dos investimentos em parques eólicos vêm apresentando queda (Gráfico 19²⁸) como resultado dos ganhos de escala obtidos e do aumento observado do fator de capacidade, fruto das melhorias técnicas dos aerogeradores. Custos médios mais baixos resultam em preços de energia reduzidos, uma vez que o preço médio é calculado a partir da soma dos custos do empreendimento eólico acrescido de uma taxa de retorno e divididos pela energia gerada pelo parque durante a sua vida útil. (EPE, 2018).

Gráfico 19 - Evolução do custo de investimento (em R\$) por MW de potência (2009-2019)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANEEL, 2020.

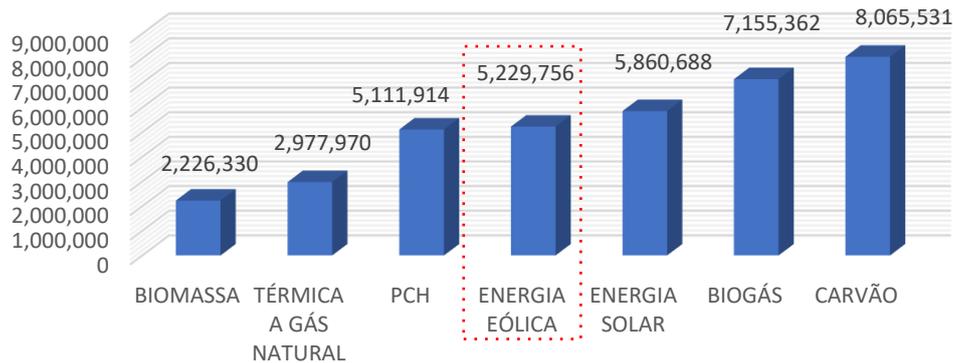
Como reflexo do declínio dos preços de energia contratados ao longo dos programas governamentais implementados, o setor de energia eólica foi se consolidando e se constituindo como uma fonte competitiva. Assim, quando comparado com outras fontes de energia, a eólica apresenta um custo médio de investimento por MW, considerando o resultado dos leilões de contratação de energia entre os anos de 2010 e 2019, próximo a R\$ 5.229.756/MW (Gráfico 20), um custo inferior ao carvão, ao biogás, a energia solar e com custos bem próximos das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) (ANEEL, 2020).

Considerando apenas o ano de 2019, o custo do investimento das plantas eólicas atingiu um valor próximo a R\$ 4.530.768/MW, contribuindo para que a energia eólica se

²⁸ O ano de 2016 foi desconsiderado no gráfico em questão, uma vez que nesse ano não foi realizado nenhum leilão de energia para a fonte eólica.

destacasse como uma fonte de energia mais barata em relação a fontes como a biomassa (R\$ 3.466.887/MW) e as térmicas a gás natural (R\$ 2.829.430/MW); e com custos semelhantes a energia solar (R\$ 4.188.242/MW) e a energia advinda das PCHs (R\$ 4.199.431/MW) (ANEEL, 2020).

Gráfico 20 - Custo médio do investimento por fonte de energia (2010-2019)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANEEL, 2020.

O primeiro instrumento de política pública que contribuiu para a consolidação do setor e a conquista de ganhos de competitividade foi a tarifa *Feed In*, adotada no PROINFA. A razão por trás disso está no fato de que no sistema *Feed In*, o potencial eólico consegue ser maximizado, o que incentiva a construção de aerogeradores progressivamente maiores. Aerogeradores maiores tendem a operar abaixo da sua capacidade nominal, apresentando, portanto, uma alta relação MW por área e um menor fator capacidade. Nesse sentido, o sistema *Feed In*, que tem como característica um preço fixo de energia e uma receita total variável, acaba atuando como motor indutor da tecnologia, visto que sua remuneração está alinhada a tarifas atrativas (MELO, 2013).

Em segundo lugar, se encontra a política de conteúdo local, um instrumento de política industrial que foi adotado em dois momentos distintos a partir da crise de abastecimento de 2001. Em um primeiro momento, durante a execução do PROINFA, o instrumento de política industrial foi incapaz de atrair fornecedores externos, dada a ausência de pesquisa nacional na área, a falta de mão de obra especializada e as incertezas no que tange as projeções futuras para o setor de energia eólica no Brasil (FERREIRA, 2017).

Contudo, na medida em que passou a representar uma condição para que o financiamento dos parques eólicos pelo BNDES fosse aprovado, durante o PNP, a exigência mínima de requisitos locais foi decisiva nos ganhos competitivos do setor eólico. A nova metodologia de credenciamento, associada a elevada procura por máquinas e equipamentos advinda dos leilões e o financiamento de longo prazo do BNDES, foram responsáveis por atrair novos investimentos no setor, assim como novos fabricantes de aerogeradores, que iniciaram o novo processo de credenciamento. Segundo Araújo e Willcox:

“Grandes empresas transnacionais credenciaram-se no BNDES e assumiram compromissos de localização da fabricação dos aerogeradores. Até os primeiros leilões, a maioria realizava, com raras exceções, apenas a montagem local e dispunha de um corpo de engenharia ligado ao setor eólico muito limitado”. (ARAÚJO; WILLCOX, 2018, p. 209).

Com a alteração nas regras de nacionalização, houve uma tendência de aumento gradativo da nacionalização de itens com elevado valor tecnológico e trabalho-intensivos, contribuindo para o processo de transferência tecnológica e para geração de empregos qualificados. O esforço em torno da tentativa de produção de equipamentos em território nacional, por sua vez, contribuiu para o desenvolvimento de tecnologia própria adequada para as condições climáticas do país (FERREIRA, 2017).

Assim, ao estimular a criação de uma cadeia produtiva de origem nacional, a política de conteúdo local foi capaz de reduzir a dependência e vulnerabilidade externa. Na medida em que a dependência dos insumos importados se torna menor, os riscos e incertezas advindos da variação cambial também o são.

A atração de subsidiárias de turbinas eólicas para o território brasileiro colocou fim ao monopólio da *Wobben Windpower*, subsidiária da empresa alemã Erecon, na produção de aerogeradores de médio e grande porte no país. Com a abertura de uma fábrica pela empresa argentina Impsa na região de Pernambuco, no ano de 2008, a fabricação de aerogeradores no Brasil passa a ser dividida entre as duas empresas. Em meados de 2011, verificou-se a inauguração de fábricas de aerogeradores na Bahia pela empresa espanhola Gamesa e francesa Alstom, assim como a produção de aerogeradores, ainda em níveis

iniciais, pela empresa brasileira WEG²⁹. Em seguida, verifica-se a entrada da dinamarquesa Vestas, em 2015, e da alemã Nordex Acciona, em 2016 (SIMAS, 2012).

Tabela 6 - Fabricantes de turbinas eólicas em operação no Brasil

EMPRESA	PAÍS DE ORIGEM	INÍCIO DAS OPERAÇÕES NO BRASIL	LOCALIZAÇÃO DA UNIDADE PRODUTIVA
Alstom	França	2011	Camaçari (BA)
Siemens	Alemanha	2011	Camaçari (BA)
Vestas	Dinamarca	2015	Itaitinga (CE)
Wobben Wind Power	Alemanha	1998	Sorocaba (sp); Caucaía (CE); Juazeiro (BA); Guaíba (RS)
Impsa	Argentina	2008	Cabo de Santo Agostinho (PE)
GE	Estados Unidos	2010	Camaçari (BA)
Gamesa	Espanha	2011	Camaçari (BA)
WEG	Brasil	2012	Jaraguá do Sul (SC)
Nordex Acciona	Alemanha	2016	Simões Filho (BA)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABDI, 2018.

Ao criar demanda para o mercado de energia eólica que se expandia, as linhas de financiamento público e as políticas de desoneração tributária também foram responsáveis pela redução dos custos dos empreendimentos. A razão disso está no fato de que o custo dos parques eólicos se encontra comprometido, em grande parte, pelo custo do capital e pela carga tributária. Ao reduzir os principais encargos que compõem os custos de construção e implantação dos empreendimentos eólicos, os instrumentos citados estimulam novos

²⁹ Em junho de 2016 foi anunciada a fusão da Siemens e a Gamesa, com 59% e 41% do capital, respectivamente, dando origem a SIEMENS GAMESA Renewable Energy. Em novembro de 2015 houve a compra-fusão da Alstom pela GE, por US\$ 10,6 bilhões (ABDI, 2018).

investimentos no setor e permitem os ganhos de competitividade do mesmo. Para Podcameni:

“As linhas de financiamento preferenciais 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).

Seguindo a mesma lógica, Castro et al. (2010) afirmam a efetividade da desoneração tributária na redução dos custos da energia eólica, em face do elevado peso dos tributos sobre o custo das turbinas eólicas:

“Atualmente no Brasil, os tributos representam cerca de 30% do custo de turbinas eólicas. Na hipótese de zerar a tributação incidente sobre os aerogeradores, a energia eólica poderia ser viabilizada com uma tarifa US\$ 83,30 por MWh, valor extremamente competitivo comparado com os das usinas térmicas a gás natural e a carvão. Este tipo de política garantiria a competitividade dos produtores nacionais ao mesmo tempo em que permitiria a entrada de firmas internacionais estimulando-se a concorrência no mercado, o que tenderia a reduzir o preço dos bens de capital necessárias em um parque eólico”. (CASTRO et al., 2010, p. 35).

Além dos incentivos fiscais implementados, um outro estímulo do governo à expansão do setor eólico ocorreu com a mudança tarifária. A partir desse momento, o governo abdicou do instrumento regulatório baseado em tarifas do tipo *Feed In* e adotou um novo modelo de contratação de energia, os leilões.

Com os leilões de energia, o preço estabelecido passou a ser delimitado pelo ambiente concorrencial, enquanto a receita se sustentou sobre a produção de energia anual esperada. Dessa forma, com o objetivo de atingir o menor preço ofertado no leilão, os investidores apostam em turbinas com geradores menores ou uma pequena quantidade de aerogeradores por parque eólico. Tais características contribuem para uma menor relação MW por área e um fator de capacidade elevado, de forma que não são capazes de maximizar o potencial de geração eólica (MELO, 2013). De acordo com o autor:

“O modelo do Proinfa e o Feed-in pagam ao produtor de energia pela energia gerada, o que faz que se busque o máximo de geração possível por máquina e uma máquina mais eficiente para uma determinada área. No caso do leilão brasileiro, a metodologia dos contratos é por disponibilidade e não há forte incentivo ao gerador para que esse gere mais energia. O que

se contrata é uma determinada disponibilidade, a partir daí a energia excedente é, até certo ponto, utilizada como hedge de períodos ruins, e o que ultrapassar o hedge permitido é liquidado no curto prazo. Não há incentivo para maximização da extração energética por área de empreendimento. Dessa forma, o parque gerador é dimensionado para atender uma determinada disponibilidade, e o projeto resultante não é necessariamente aquele que mais produz energia por área de influência do empreendimento. O modelo brasileiro otimiza custo, mas não otimiza a produção. Dessa forma, o modelo de leilões não é, por definição, um mecanismo propulsor de tecnologia”. (MELO, 2013, p.138).

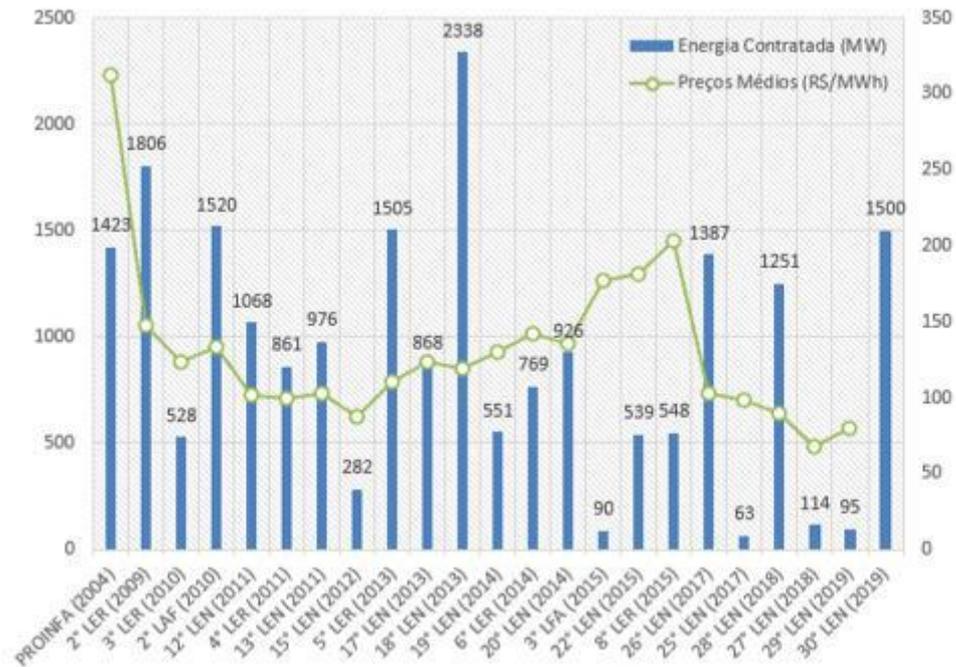
Mesmo não sendo impulsionadores de tecnologia, ao garantir custos de investimentos mais baixos, os regimes assentados nos leilões de energia possibilitaram a obtenção de tarifas de energia mais reduzidas. Os próprios contratos de compra e venda de energia utilizados nos leilões permitiram que as tarifas médias de energia atingissem níveis abaixo de US\$ 99,00 por MW, na medida em que delimitavam, de maneira clara e precisa, um marco regulatório para o setor elétrico. (CASTRO et al., 2010).

A partir de 2010, a energia eólica passou a competir com outras fontes de energia a custos reduzidos. Entre 2010 e 2019, a fonte eólica participou de 21 leilões, entre Energia de Reserva (LER), Energia Nova de três e cinco anos (LEN A-3 E A-5) e Fontes Alternativas (LFA), acrescentando um total de 17.785 MW para o sistema elétrico brasileiro. Como pode ser verificado no gráfico abaixo (Gráfico 21), os preços eólicos apresentam uma trajetória de declínio à medida que ocorrem os leilões de energia³⁰, enquanto a capacidade instalada de energia eólica se amplia (Gráfico 22).

Da mesma forma, é possível observar que no ano de 2013, em que o investimento em energia eólica atinge o ápice de 24 bilhões, o número de projetos eólicos contratados é o mais elevado, cerca de 202 projetos (Gráfico 23). Essa relação, dentre outros fatores, evidencia o grau de efetividade das políticas públicas na consolidação do setor eólico e na conquista dos ganhos competitivos.

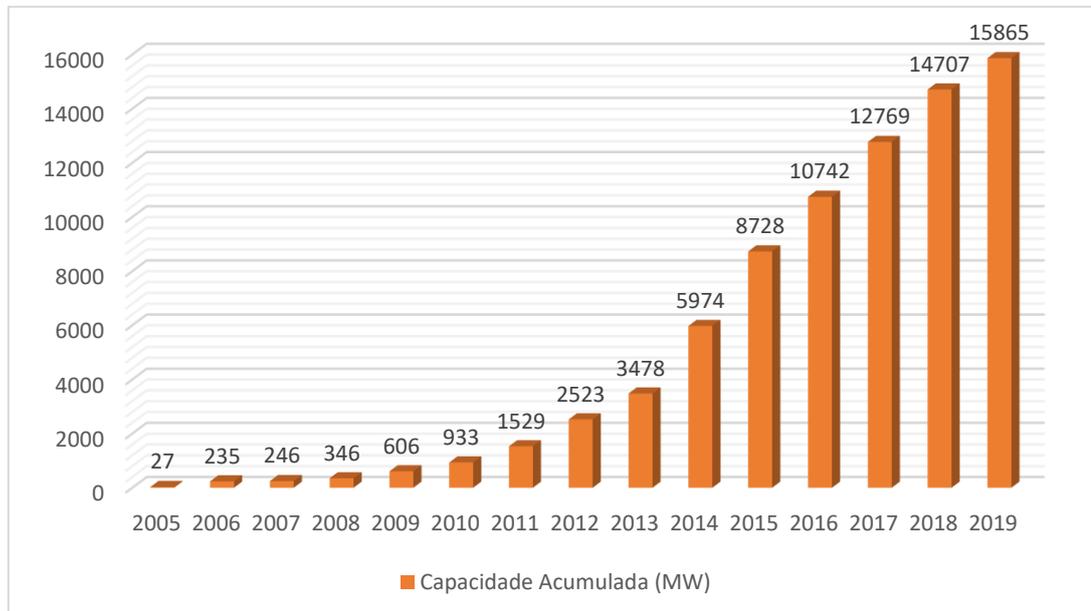
³⁰ Em decorrência da crise econômica que atingiu o país em 2015, resultando em uma baixa demanda por energia, não houve energia contratada mediante leilões no ano de 2016. Apenas em dezembro de 2017 foram retomadas as contratações. (ABEEÓLICA, 2019).

Gráfico 21 - Evolução dos preços médios eólicos no Brasil (R\$/MWh) e da energia contratada (MW) entre 2004-2019



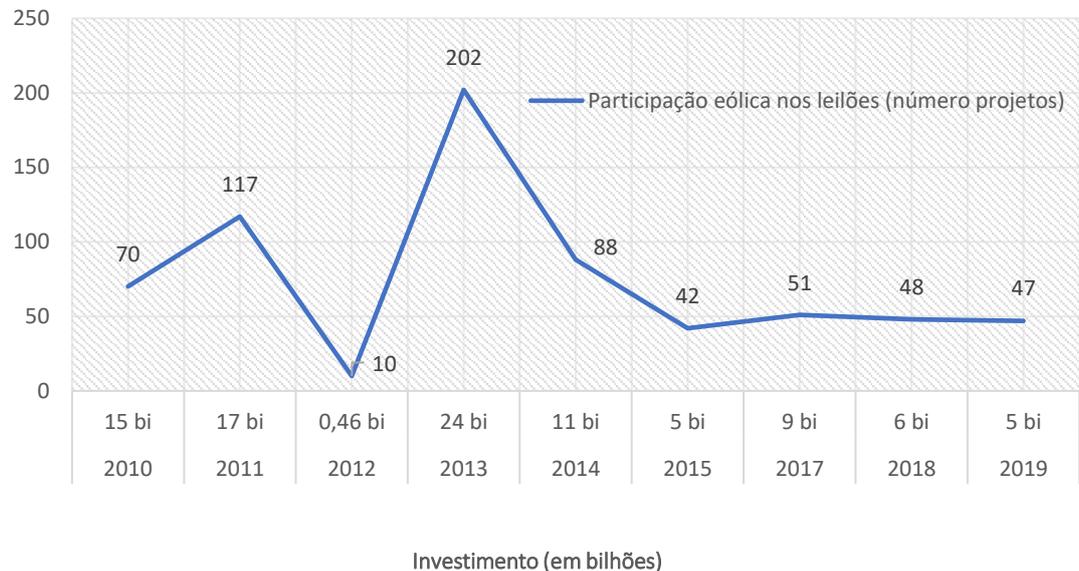
Fonte: Adaptado a partir dos dados da ANEEL, 2020.

Gráfico 22 - Evolução da capacidade instalada em geração eólica no Brasil (2005-2019)



Fonte: Adaptado a partir de dados da ABEEÓLICA, 2019.

Gráfico 23 - Evolução no número de projetos eólicos contratados nos leilões de energia elétrica x investimento realizado (2010-2019)



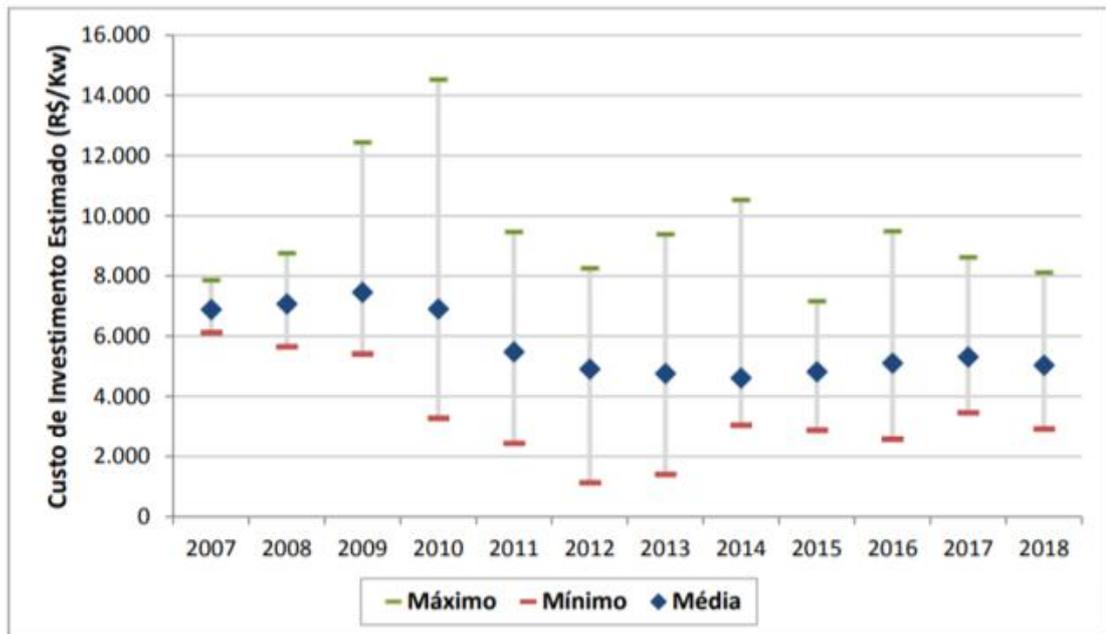
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANEEL, 2020.

Diante da evolução tecnológica desde a ocorrência do PROINFA até a inserção da energia eólica nos leilões, notou-se uma queda em relação ao custo médio dos investimentos³¹ em parques eólicos e uma ampliação do fator capacidade dos projetos de origem eólica. Segundo Camillo:

“Os empreendimentos participantes dos leilões utilizaram aerogeradores de maior porte, comparativamente aos projetos do PROINFA, o que contribuiu para ampliar o aproveitamento energético. O fator capacidade dos empreendimentos que participaram dos leilões também foi maior, resultado da combinação de turbinas melhores e localização com melhor potencial de geração; e também do conhecimento que já se tinha adquirido desde o PROINFA”. (CAMILLO, 2013, p. 150).

³¹ A trajetória de queda do custo dos investimentos dos empreendimentos eólicos também pode ser explicada pelo contexto internacional entre os anos de 2008 e 2010. Em função da demanda por energia mais reprimida, a crise econômica mundial, iniciada em 2008, contribuiu para a redução dos preços das turbinas eólicas e para a valorização do real, facilitando a importação dos insumos a preços reduzidos (CAMILLO, 2013).

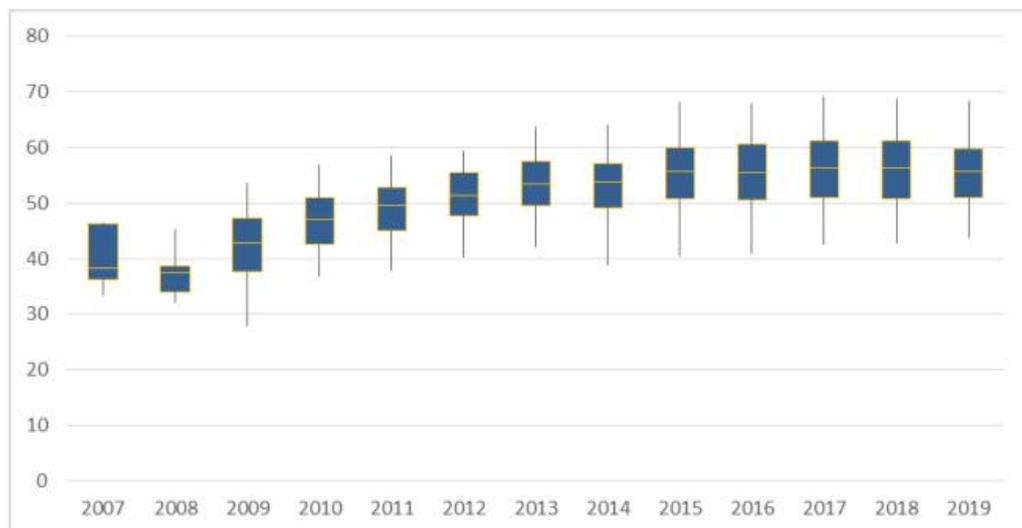
Gráfico 24 - Evolução do custo do investimento estimado (R\$/Kw)



Fonte: EPE, 2018.

Enquanto o custo médio dos investimentos em parques eólicos no período do PROINFA era superior a R\$ 6.000/kW instalado, o custo médio dos parques que ganharam o leilão de 2018 alcançou o valor de R\$ 5.820/kW, enquanto em 2019 esse custo atingiu os R\$ 5.066/kW. Da mesma forma, o fator de capacidade médio, que girava em torno de 31% durante o PROINFA, passou a oscilar, em 2019, entre 50% e 60% (EPE, 2020b).

Gráfico 25 - Evolução do fator de capacidade médio da energia eólica (2007-2019)



Fonte: EPE, 2020b.

Conclusão

Como observado ao longo do capítulo, o setor de energia eólica iniciou seu desenvolvimento a partir de incentivos públicos, que possibilitaram o avanço da tecnologia, a estruturação do mercado e a queda dos custos do investimento relacionados a implantação de empreendimentos eólicos.

A adoção desses mecanismos de coordenação do governo estimulou os investimentos em projetos de energia eólica no Brasil, uma vez que criou condições favoráveis para o financiamento a longo prazo, caracterizado por reduzidos riscos e incertezas. Da mesma maneira, os instrumentos financeiros adotados foram responsáveis por estruturar uma cadeia interna de fornecedores e um mercado capaz de absorver essa oferta. Diante disso, a indústria de energia eólica foi se consolidando e garantindo seus ganhos competitivos, com condições favoráveis para seu estabelecimento. Pode-se dizer que, à medida que passa a concorrer com outras fontes de energia, em função dos ganhos competitivos obtidos com a redução dos custos, a energia eólica garante sua rentabilidade e sua expansão no mercado nacional de energia (AQUILA et al., 2016).

Contudo, apesar de já apresentar níveis de custos competitivos em comparação com outras fontes de energia, a adoção de instrumentos de incentivo direcionados para o setor eólico brasileiro ainda se mostra necessária, devendo ser adaptados para permitir a conquista dos ganhos de eficiência e competitividade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se analisar os principais instrumentos de políticas públicas adotados no Brasil no pós crise energética de 2001 e seus respectivos impactos sobre a consolidação e a competitividade do setor eólico de energia, esta pesquisa teve por objetivo investigar se os ganhos de competitividade obtido ao longo das últimas décadas legitimam a redução dos mecanismos de incentivo governamentais à fonte eólica de energia.

O debate em torno da necessidade de continuidade das políticas públicas de apoio ao setor de energia eólica torna-se relevante diante da pressão em torno da redução dos preços da energia elétrica ao consumidor final, assim como dos custos financeiros da manutenção de tais políticas pelo Estado. De acordo com Gannoum e Leite (2018), decisões de políticas públicas devem ser reavaliadas, frequentemente, para aferir se os resultados obtidos são desejáveis ou se a evolução do setor foi prejudicada como resultado da criação de um círculo vicioso de dependência do mecanismo de incentivo utilizado. Para que os estímulos concebidos pelo setor público sejam revistos, é necessário um diálogo transparente entre as esferas envolvidas, de forma a garantir um tratamento isonômico entre os agentes que fazem parte do acordo (GANNOUN; LEITE, 2018).

Pode-se dizer que a introdução dos mecanismos de coordenação do investimento, de estruturação da cadeia produtiva e de criação de um mercado de energia eólica no país permitiram a redução dos riscos e dos custos de investimentos associados aos empreendimentos eólicos. A partir daí, tornaram a energia eólica economicamente viável no país, impulsionando sua expansão, consolidação e garantindo a conquista de ganhos de competitividade consideráveis.

A adoção do regime de leilões para a contratação de energia no país a partir de 2004 reforçou o papel relevante dos instrumentos de políticas públicas na atração de investidores e na redução das incertezas em torno do investimento em plantas eólicas. Ao garantir previsibilidade e estabilidade do fluxo de caixa nos contratos de longo prazo, a implantação desse mecanismo de contratação foi capaz de criar as condições necessárias para os financiamentos de longo prazo a custos competitivos e reduzido risco. O menor custo dos investimentos em empreendimentos eólicos se refletiu na queda imediata nos preços das tarifas de energia e na expansão da capacidade instalada de geração eólica no país a partir da execução do primeiro leilão de energia, em junho de 2009 (REGO; RIBEIRO, 2018).

Da mesma forma, as linhas de financiamento público e as políticas fiscais de desoneração tributária, ao garantir uma demanda para o mercado de energia eólica que se desenvolvia, foram decisivas na atração de novos investimentos eólicos e na conquista dos ganhos de competitividade no setor. Essa demanda crescente por energia eólica foi atendida graças a atração de novos fabricantes de aerogeradores no país, que assumiram os compromissos de exigência mínima de requisitos locais, estabelecidos pelo BNDES através da implementação do PNP. Com a nova regra de nacionalização definida, criaram-se as bases para a consolidação de uma cadeia produtiva de origem nacional, sustentada pela produção de itens trabalho intensivos e com elevado valor tecnológico.

Apesar do desenvolvimento da fonte eólica representar um caso de sucesso no Brasil, existem uma série de barreiras inerentes a cadeia produtiva de energia eólica que ameaçam sua expansão e a manutenção de sua competitividade frente a outras fontes de energia. O reconhecimento e a superação de tais obstáculos exigem um papel ativo do Estado que, por meio de instrumentos de incentivos empregados no setor eólico, criam os estímulos necessários para o investimento nessa fonte alternativa de energia (DIÓGENES et al., 2020).

Alguns fatores como o elevado preço dos insumos internamente, os custos logísticos, os elevados encargos sobre a mão de obra, o capital, a infraestrutura e a elevada carga tributária desempenham um papel prejudicial no que tange o desenvolvimento da indústria de energia eólica, na medida em que elevam os custos de geração associados aos empreendimentos eólicos (ABDI, 2014).

Em concordância com o artigo de Diógenes et al. (2020), existem atualmente cerca de 24 barreiras ao desenvolvimento da energia eólica no Brasil, que estão presentes nas esferas econômicas e financeiras, de mercado, institucionais, técnicas e sociais. Ainda de acordo com Diógenes et al. (2020), três dessas barreiras são mais comuns na região Nordeste do país, como a infraestrutura deficiente, os empréstimos financeiros pouco atrativos e o ambiente macroeconômico instável.

Apesar de estar fora do escopo dessa pesquisa, o artigo em questão prevê que o tratamento dessas barreiras seja realizado por meio da adoção de iniciativas pró-mercado, como por exemplo os empréstimos-ponte junto aos bancos privados como solução ao elevado custo do capital no país. Embora a maior parte das barreiras deva ser enfrentada por meio dos mecanismos de mercado, o trabalho elaborado por Diógenes et al. (2020) ressalta

os benefícios das políticas públicas de apoio ao mercado na superação de barreiras, sobretudo nos momentos em que há elevação na demanda por energia elétrica. A atuação desse último estaria direcionada para a prática de taxas de juros reduzidas e flexíveis e o investimento na expansão da infraestrutura da rede.

Dessa maneira, vemos que a indústria eólica brasileira não atingiu um nível de maturidade suficiente que permita que ela seja competitiva em relação a outras fontes de energia fósseis de forma independente do aparato estatal. Tal fenômeno demanda, em último caso, fortes mecanismos de estímulos à pesquisa, suporte financeiro à infraestrutura, assim como outros incentivos públicos e privados que buscam, dentre outras coisas, mitigar os efeitos causados pelos gargalos existentes na cadeia produtiva de energia eólica. Pode-se dizer, portanto, que as políticas públicas representam ainda um fator decisivo na promoção da competitividade no setor de geração de energia eólica no Brasil.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria de Energia Eólica no Brasil**. Brasília, 2014. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/wp-content/uploads/2017/07/Mapeamento-da-Cadeia-Produtiva-da-Ind%C3%BAstria-E%C3%B3lica-no-Brasil.pdf>>. Acesso em 22 mar. 2020
- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Atualização do Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria de Energia 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>. Acesso em 22 mar. 2020
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL, nº 622, 2014**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2014622.pdf>>. Acesso em 9 ago. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Conta de Desenvolvimento Energético (CDE)**. 2015. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/conta-de-desenvolvimento-energetico-cde/654800?inheritRedirect=false>. Acesso em 18 set. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resultados dos leilões**. 2020. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/resultados-de-leiloes>>. Acesso em 19 set. 2020.
- AMAZONAS, Maurício. Economia verde e Rio+ 20: recortando o desenvolvimento sustentável. **Revista do Núcleo de Estudos de Economia Catarinense (NECAT)**, n. 2, p. 24-39, 2012.
- AQUILA, Giancarlo. **Análise do impacto dos programas de incentivos para viabilizar economicamente o uso de fontes de energia renovável**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.
- AQUILA, Giancarlo et al. *Wind Power Generation: Na impact analysis of incentive strategies for cleaner energy provision in Brazil*. *Journal of Cleaner Production*, n. 137, p. 1100-1108, 2016.
- ARAÚJO, Bruno Plattek 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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS – ABIMAQ. **Impacto do Custo Brasil na competitividade da indústria brasileira de máquinas e equipamentos**. 2018. São Paulo, p. 1-19.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA – ABEEólica. **Boletim Anual de Geração Eólica 2018**. São Paulo, 2018. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Boletim-Anual_2018.pdf>. Acesso em 21 mar. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA – ABEEólica. **Boletim Anual de Geração Eólica 2019**. São Paulo, 2019. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Boletim-Anual_2019.pdf>. Acesso em 21 mar. 2020.

BAGATINI, Marcos. **Estudo da complementariedade no tempo entre as energias hídrica, eólica e solar fotovoltaica no estado do Rio Grande do Sul**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES. **Plano Inova Energia**. 2020. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/plano-inova-empresa/plano-inova-energia>>. Acesso em: 6 mai. 2020.

BARROSO NETO, Hildeberto. **Avaliação do processo de implementação do programa de incentivo às fontes alternativas de energia – Proinfa, no estado do Ceará: a utilização da fonte eólica**. 2010. Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas) – Políticas Públicas, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

BERNARDINI, Mario. Conteúdo quase nacional. **Carta Capital**, Rio de Janeiro, n. 862, 12 de agosto de 2015. Entrevista concedida a Carlos Drummond.

BICALHO, Ronaldo. A transição energética: aberta, indefinida e indeterminada. **Boletim Infopetro**, Rio de Janeiro, n. 4, p. 20-24, 2013.

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE – BNEF. **Emerging Markets Outlook 2019: energy transition in the world's fastest growing economies**. Climatescope 2019. Disponível em <<http://global-climatescope.org/assets/data/reports/climatescope-2019-reporten.pdf>>. Acesso em 18 mar. 2020.

BRASIL. Lei Nº 10.438, de abril de 2002. Ministério de Minas e Energia.

BRASIL. Lei Nº 10.762, de 11 de novembro de 2003. Ministério de Minas e Energia.

BUENO, Régis Diogo da Rosa. **Energia e Desenvolvimento Sustentável: as fontes alternativas de energia e as políticas energéticas no âmbito nacional e internacional**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Entenda o modelo brasileiro**. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/setor_eletrico?_adf.ctrl-state=165t0ohnf6_5&_afLoop=410703849731713#!>. Acesso em 4 set. 2020.

CAMARGO, Fernando. Desafios e Oportunidades para a energia eólica no Brasil: recomendações para políticas públicas. **WWF-Brasil – Fundo Mundial para a Natureza**, Brasília, v. I, p. 4-32, jun. 2015.

CAMILLO, Edilaine Venancio. **As Políticas de Inovação da Indústria de Energia Eólica: uma Análise do Caso Brasileiro com base no estudo de Experiências Internacionais**. 2013. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CASTRO, N. J. et al. **Perspectivas para a Energia Eólica no Brasil**. Texto de Discussão do Setor Elétrico n. 18. GESEL/IE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2010.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA – CRESESB. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencia1%20Eolico%20Brasileiro.pdf>. Acesso em 1 abr. 2020.

COSTA, Ricardo Cunha da; PRATES, Cláudia Pimentel Trindade. O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 21, p. 5-30, mar. 2005.

DA SILVA, E. P et al. Recursos energéticos, meio ambiente e desenvolvimento. **Revista Multiciência**, São Carlos, v. 1, nov. 2003.

DE ABREU, Mônica Cavalcante Sá et al. Fatores determinantes para o avanço da energia eólica no estado do Ceará frente aos desafios das mudanças climáticas. **Revista Eletrônica de Administração**, Porto Alegre, v. 78, n. 2, p. 274-304, 2014.

DE GODOY, Sara Gurfinkel marques; PAMPLONA, João Batista. O protocolo de Kyoto e os países em desenvolvimento. **Revista Pesquisa e Debate**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 329-353, 2007.

DIÓGENES, Jamil Ramsi Farkat et al. **Overcoming barriers to onshore wind farm implementation in Brazil**. Journal of Energy Policy, n. 138, p. 111-165, 2020.

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

DUTRA, Ricardo Marques; SZKLO, Alexandre Salem. A Energia Eólica no Brasil: Proinfa e o Novo Modelo do Setor Elétrico. **Anais do XI Congresso Brasileiro de Energia – CBE**, Rio de Janeiro, v. 2, p. 842-868, 2006.

EGUINO, Mikel Gonzáles. La pobreza energética y sus implicaciones. **Basque Centre for Climate Change (BC3)**, Bilbao, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no horizonte 2050**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico456/NT%20PR%200007-2018%20Premissas%20e%20Custos%20Oferta%20de%20Energia%20El%3%A9trica.pdf>>. Acesso em 1 abr. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional – séries históricas completas - oferta e demanda de energia por fonte (1970-2019)**. Rio de Janeiro, 2020a. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>>. Acesso em 10 set. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Projetos eólicos nos leilões de energia: Evolução dos projetos cadastrados e suas características técnicas. Atualização Leilões 2018-2019**. Rio de Janeiro, 2020b. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-468/NT_EPE-DEE-NT-017-2020-r0.pdf>. Acesso em 23 set. 2020.

FERRAÇO, Anaide Luzia. **Transição Energética no Brasil: entraves e possibilidades no âmbito institucional**. 2016. Dissertação (Mestrado em Estudos Latino Americanos) – Departamento de Estudos Latino Americanos, Universidade de Leiden, Leiden.

FERREIRA, Henrique Tavares et al. Energia Eólica: Políticas Públicas. In: **Inovação Tecnológica e desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, p. 701-723, 2006.

FERREIRA, Henrique Tavares. **Energia Eólica: Barreiras a sua participação no Setor Elétrico Brasileiro**. 2008. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE), Universidade de São Paulo, São Paulo.

FERREIRA, Daniel Viana. **Desafios para o crescimento sustentável e integração da energia eólica no Brasil**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FERREIRA, Welinton Conte. **Política de conteúdo local e energia eólica: a experiência brasileira**. 2017. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.

FIELDS, Spencer. **Feed-in tariffs: a primer on feed-in tariffs for solar**. 2018. Disponível em: < <https://news.energysage.com/feed-in-tariffs-a-primer-on-feed-in-tariffs-for-solar/>>. Acesso em 28 mar. 2020.

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS – FINEP. **O que é o programa Inova**. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/historico-de-programa/programas-inova/inoва-energia/119-apoio-e-financiamento/programas-e-linhas/sobre-programas-e-linhas/o-que-sao-programas-e-linhas>>. Acesso em: 6 mai. 2020.

FLEURBAEY, Marc et al. Sustainable development and equity. In: Edenhoger, Ottmar et al. (Ed.). **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. New York e Cambridge, Cambridge University Press, p. 283-350, 2014.

GANNOUM, Élbina Silva; LEITE, Nelson Fonseca. **A maturidade das fontes renováveis**. 2018. Disponível em: <<http://abeeolica.org.br/noticias/a-maturidade-das-fontes-renovaveis/>>. Acesso em 4 abr. 2020.

GAVINO, Natália Azevedo. **Energia Eólica: uma análise dos incentivos à produção (2002-2009)**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Econômicas) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL – GWEC. **Global Annual Report 2017**. Bruxelas, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/324966225_GLOBAL_WIND_REPORT_-_Annual_Market_Update_2017>. Acesso em 11 mar. 2020.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL – GWEC. **Global Wind Report 2019**. Bruxelas, 2019. Disponível em: < <https://gwec.net/global-wind-report-2019/>>. Acesso em 11 mar. 2020.

GOUVEIA, Diego Alves. **Forçante radiativa, propriedades ópticas e físicas das nuvens Cirrus na Amazônia**. 2018. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GUIMARÃES, Leonam dos Santos. O custo nivelado da eletricidade e seu impacto na transição energética. **Boletim de Conjuntura do Setor Energético junho 2019- FGV Energia**, São Paulo, p. 4-9, 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Energy Access Outlook 2017: from poverty to prosperity**. Paris, 2017 Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/energy-access-outlook-2017>>. Acesso em 19 mai. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **World Energy Outlook 2019**. Paris, 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>>. Acesso em 7 jul. 2020.

INTERNACIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – IRENA. **Future of Wind: deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects**. Abu Dhabi, 2019a. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2019/Oct/Future-of-wind>>. Acesso em 11 mar. 2020.

INTERNACIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – IRENA. **Renewable Power Generation Costs in 2019**. Abu Dhabi, 2019b. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>>. Acesso em 12 set. 2020.

JACOBS, Michael; MAZZUCATO, Mariana. **Rethinking Capitalism: Economics and Policy for Sustainable and Inclusive Growth**. Chichester, West Sussex, United Kingdom: 2016.

JUNGES, Alexandre Luis et al. Efeito Estufa e Aquecimento Global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Revista Experiências em Ensino de Ciências**, v.13, n. 5, p. 126-151, 2018.

JUNGES, Alexandre Luis; MASSONI, Neusa Teresinha. O Consenso Científico sobre Aquecimento Global Antropogênico: Considerações Históricas e Epistemológicas e Reflexões para o Ensino dessa Temática. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 455-491, 2018.

KLAASSEN, Ger et al. Public R&D and Innovation: The Case of Wind Energy in Denmark, Germany and the United Kingdom. **Interim Report, International Institute for Applied Systems Analysis Schlossplatz 1**, Laxemburg, p. 1-17, 2003.

KRUGMAN, Paul; WELLS, Robin. Comércio Internacional. In: Kugman, Paul; Wells, Robin. **Introdução à Economia**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2007.

LADISLAW, Sarah; BENOIT, Philippe. Energy and development: providing access and growth. **Center for strategic & internacional studies (CSIS)**, Washington DC, p. 1-25, 2017.

LIMA, Elaine Carvalho de; SANTOS, Isabela Amâncio; MOIZINHO, Luzélia Calegari Santos. Energia Eólica no Brasil: Oportunidades e Limitações para o Desenvolvimento Sustentável. **Revista Estudo & Debate**, Lajeado, v. 25, n. 1, p. 216-236, 2018.

MANKIW, N. Gregory et al. **Introdução à economia**. 6. Ed. São Paulo: Pioneira Thompson, 2005.

MARQUES, Luiz. **A sustentabilidade deve ser uma meta da sociedade**, 2014. Disponível em: <<https://www.fronteras.com/artigos/a-sustentabilidade-deve-ser-uma-meta-da-sociedade>>. Acesso em: 12 fev. 2020.

MELO, Elbia. Fonte Eólica de Energia: aspectos de Inserção, Tecnologia e Competitividade. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 125-142, jan. 2013.

MESQUITA, Juliana Moniz Freire. **Políticas Públicas da União Européia na promoção de energias renováveis no setor elétrico: o caso da energia eólica na Alemanha de 1989 aos dias de hoje**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Conferência da ONU na Alemanha discute implementação do Acordo de Paris para o clima**, 2017. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/conferencia-da-onu-na-alemanha-discute-implementacao-do-acordo-de-paris-para-o-clima/>>. Acesso em: 12 fev. 2020.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS. **Boletim Mensal de Geração Eólica março 2019**, p. 4-39, 2019.

PANTOJA, Caroline da Silva. **Teoria das Opções Reais: Uma Abordagem em Energia Eólica**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio, Rio de Janeiro.

PODCAMENI, Maria Gabriela. **Sistemas de Inovação e a Energia Eólica: a experiência brasileira**. 2014. 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.

PONTE, Gustavo et al. **Eólicas e Leilões de Energia: Uma história de 12 anos. 2019**. Disponível em: <<https://cenarioeolica.editorabrasilenergia.com.br/2019/01/14/eolicas-e-leiloes-de-energia-uma-historia-de-12-anos/>>. Acesso em 9 set. 2020

PORTAL SOLAR. **Crise de Energia: Como se prevenir?**. 2015. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/crise-de-energia--como-se-prevenir-.html>>. Acesso em 15 set. 2020.

PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA – PNAS. **Global potential for wind-generated electricity**. 2019. Disponível em: <<https://www.pnas.org/content/106/27/10933>>. Acesso em 10 set. 2020.

RAMOS, Kaio de Assis. **Transição Energética: conceituações, recursos energéticos e perspectivas para a Alemanha e os EUA**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Relações Internacionais) – Departamento de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

REGO, Erik Eduardo; RIBEIRO, Celma de Oliveira. **Successful Brazilian experience for promoting wind energy generation**. The Electricity Journal, n. 31, p. 13-17, 2018.

RINGER, Naya Jayme. **Desafios do Setor de Energia Eólica no Brasil: uma abordagem sistêmica**. 2014. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.

SALINO, Pedro Jordão. **Energia Eólica no Brasil: uma comparação do PROINFA e dos novos leilões**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica da UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SILVA, Douglas Souza. **Participação e perspectivas das fontes renováveis e os seus impactos provocados no sistema elétrico brasileiro**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SIMAS, Moana Silva. **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada**. 2012. Dissertação (Mestrado em Energia) – Escola Politécnica, Instituto de Eletrotécnica e Energia, Instituto de Física, Faculdade de Economia e Administração, São Paulo.

VAZ, Djalma. **Rio+20 Conferência**. 2013. Disponível em: <<https://ecoenergias.wordpress.com/2013/01/29/rio20-conferencia/>>. Acesso em: 12 fev. 2020

WORLD WIDE FUND FOR NATURE BRAZIL – WWF BRAZIL. **As mudanças climáticas**. Disponível em:

<https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/>. Acesso em 16 mai. 2020.