

Sistema FIEB



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
GESTÃO DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL

MÁRIO JOEL RAMOS JÚNIOR

PERSPECTIVAS PARA A GERAÇÃO E EXPANSÃO
DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Salvador
2022

MÁRIO JOEL RAMOS JÚNIOR

**PERSPECTIVAS PARA A GERAÇÃO E EXPANSÃO
DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu do Centro Universitário SENAI CIMATEC,
como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre
em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Figueiredo Soares
Coorientador: Prof. Dr. Xisto Lucas Travassos Júnior

Salvador
2022

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Centro Universitário SENAI CIMATEC

R175p Ramos Júnior, Mário Joel

Perspectivas para a geração e expansão da energia eólica no Brasil / Mário Joel Ramos Júnior – Salvador, 2022.

97 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Soares Figueiredo.

Coorientador: Prof. Dr. Xisto Lucas Travassos Júnior.

Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2022.

Inclui referências.

1. Energia renovável. 2. Energia eólica. 3. Parque eólico. 4. Estudo de viabilidade. 5. Onshore e Offshore. I. Centro Universitário SENAI CIMATEC. II. Figueiredo, Paulo Soares. III. Travassos Júnior, Xisto Lucas. IV. Título.

CDD 621.312136

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia Industrial

A Banca Examinadora, constituída pelos professores abaixo listados, aprova a Defesa de Mestrado, intitulada “**Perspectivas para a Geração e Expansão da Energia Eólica no Brasil**” apresentada no dia 10 de fevereiro de 2022, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador:

DocuSigned by:
Paulo Soares Figueiredo
119819C57A69419
Prof. Dr. Paulo Soares Figueiredo
SENAI CIMATEC

Coorientador:

DocuSigned by:
Xisto Lucas Travassos Junior
923F571954843
Prof. Dr. Xisto Lucas Travassos Júnior
UFSC

Membro Interno:

DocuSigned by:
Francisco Uchoa Passos
8F0ED0740580470
Prof. Dr. Francisco Uchoa Passos
SENAI CIMATEC

Membro Externo:

DocuSigned by:
Felipe Tumenas Marques
BC878712ACED48B
Prof. Dr. Felipe Tumena Marques
UFBA

Dedico este trabalho a minha querida irmã Marilena Rodrigues Ramos
que no ciclo 2018/2019 superou o maior desafio da sua vida,
mas nunca deixou de sorrir.

Que ela esteja fora da minha vista agora,
não quer dizer que esteja fora da minha mente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado vida e saúde, além de mais uma oportunidade de seguir estudando, mesmo em um ambiente remoto, por conta de uma pandemia que afetou tantas famílias nos últimos anos.

A minha mãe Filomena Rodrigues da Cruz – minha pérola negra – que sempre me incentivou e “aceitou” a minha ausência por entender que eu estava em busca do meu sonho.

Ao meu pai Mário Joel Ramos que trabalhou duro para que eu pudesse cursar os melhores ambientes acadêmicos disponíveis, por ter me ensinado que o conhecimento não tem preço e ser um grande exemplo de dedicação a um propósito.

Ao meu professor orientador Professor Paulo Soares Figueiredo que esteve disponível às 24 horas do dia para solucionar as minhas dúvidas, além da grande paciência para esclarecer temas recorrentes.

Ao meu coorientador Professor Lucas Travassos, ao Professor Francisco Uchoa e ao Professor Felipe Tumenas – equipe multidisciplinar – que aceitou participar da banca e terem contribuído bastante para a evolução desta dissertação.

Aos meus professores do Centro Senai Cimatec que se adaptaram de forma rápida à tecnologia remota e puderam passar todo o conhecimento para os alunos, sem impactar no resultado final, além do incentivo para a divulgação dos trabalhos acadêmicos em eventos nacionais e internacionais.

Aos meus companheiros de classe que permitiram tornar as aulas noturnas dinâmicas e divertidas, após uma jornada de trabalho exaustiva na construção civil durante o turno diurno. Aos especialistas que participaram deste estudo, se mostraram disponíveis e verdadeiros motivadores em relação ao mundo da energia renovável.

Às empresas que trabalhei pela oportunidade de me engajar em projetos em distintas cidades, estados e países desse mundo. A construção civil é fascinante!

Aos grandes líderes que tive na minha trajetória profissional: Caique Turolla, Danilo Abdanur, Carlos Nostre, Roberto Yaselli e José Celestino Godinho que me ensinaram, através do exemplo, como criar um clima de cooperação e participação dentro de uma equipe, além de valorizar as ideias e iniciativas do grupo.

Aos meus alunos do curso Descomplicando as Finanças na Comunidade da cidade de Barcarena (Pará) que me incentivaram e deixaram claro que o trabalho voluntário feito com amor traz bons frutos para a sociedade como um todo. Obrigado por me ensinar que nesta vida são pessoas que ajudam pessoas.

Em geral, gostaria de agradecer a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, foram partes decisivas nesta etapa da minha vida. Muito Obrigado!

RESUMO

A maior capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil é proveniente de usinas hidrelétricas. Entretanto, o cenário de escassez hídrica com crescimento populacional e da economia tem se tornado um desafio para as autoridades brasileiras. Após a crise de energia de 2001, o país vem desenvolvendo políticas públicas com o objetivo de incentivar a expansão de outras fontes renováveis de energia elétrica, além da hidráulica. Como destaque, a energia eólica acrescentou 17.747 MW de capacidade instalada ao Sistema Interligado Nacional até o fim de 2020. Entretanto, em condições hidroenergéticas desfavoráveis, a possibilidade de um novo “Apagão” no futuro se torna iminente. Essa dissertação tem como objetivo avaliar as perspectivas para o uso e expansão da energia eólica no Brasil. Para tal, foram realizados três estudos. No primeiro estudo, foi verificado como a energia eólica está contribuindo para o Brasil atingir os compromissos assumidos no Acordo de Paris para o setor elétrico. Os resultados demonstram que a energia eólica é a fonte renovável que mais se beneficiou dos incentivos fiscais e, assim, contribuiu para a expansão da participação da energia renovável na matriz elétrica brasileira, através do aumento da capacidade instalada, e pode contribuir para ganhos em eficiência elétrica. O segundo estudo avaliou as barreiras e rumos para expansão dos parques eólicos no Brasil. Os resultados demonstram que, apesar do recente crescimento da energia eólica no país, ações devem ser tomadas para mitigar as barreiras identificadas. Diferentes medidas são discutidas. Pôde-se concluir que as barreiras mais complexas precisam de intervenções do governo federal para serem removidas ou mitigadas, pois o mercado de energia elétrica é altamente regulado e complexo no Brasil. O terceiro estudo analisou as possíveis rotas para a geração de energia eólica no Brasil, a partir da viabilidade técnica e econômica. Os resultados evidenciam que, nas condições atuais, a rota *onshore* com maior potência unitária do aerogerador e torre cônica de aço se mostrou como a mais vantajosa. Entretanto, ficou demonstrado que, no médio prazo, a energia eólica *offshore* deverá se tornar uma realidade no país, desde que haja a definição de regulações e modelos de licenciamento favoráveis, estabilidade política e econômica e políticas públicas de longo prazo em termos de incentivos e subsídios para atrair investimentos para esse tipo de geração de energia.

Palavras-chave: Energia Renovável. Energia Eólica. Parque Eólico. Estudo de Viabilidade. *Onshore* e *Offshore*.

ABSTRACT

The largest installed capacity for power generation in Brazil comes from hydroelectric plants. However, the scenario of water scarcity with population and economic growth has become a challenge for Brazilian authorities. After the energy crisis of 2001, the country developed public policies with the objective of encouraging the expansion of other renewable sources of electricity. As a highlight, wind energy added 17.747 MW of installed capacity to the National Interconnected System until the end of 2020. However, under unfavorable hydro-energy conditions, the possibility of a new "Blackout" becomes eminent in the future. This dissertation aims to evaluate the prospects for the use and expansion of wind energy in Brazil. To this end, three studies were carried out. In the first study, it was verified how wind energy is contributing for Brazil to reach the commitments assumed in the Paris Agreement for the electric sector. The results show that wind energy is the renewable source that benefited the most from tax incentives and, thus, contributed to the expansion of the participation of renewable energy in the Brazilian energy matrix, by increasing the installed capacity, and can contribute to gains in energy efficiency. The second study evaluated the barriers and directions for the expansion of wind farms in Brazil. The results show that despite the recent growth of wind energy in the country, actions must be taken to mitigate the barriers that were identified. Different measures are discussed. It is concluded that the most complex barriers need interventions from the federal government to be removed or mitigated, as the electricity market is highly regulated and complex in Brazil. The third study analyzed the possible routes for wind power generation in Brazil, based on technical and economic feasibility. The results show that, under current conditions, the onshore route with higher unit power of the wind turbine and tubular tower was the chosen one. However, it was shown that in the medium term, offshore wind energy should become a reality in the country, provided that favorable regulations and licensing models, political and economic stability, and long-term public policies in terms of incentives and subsidies are defined to attract investments for this type of energy generation.

Key-words: Renewable Energy. Wind Energy. Wind Farm. Feasibility Study. Onshore and Offshore.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 1. Participação de Energias Renováveis e não Renováveis na Matriz Elétrica Brasileira e Mundial em 2019.....	22
Figura 2. Participação de Energias Renováveis na Matriz Elétrica Brasileira (Exceto Energia Hidráulica)	23
Figura 3. Contribuição da Fonte Biomassa, Eólica e Solar para a Matriz Elétrica Nacional...24	
Figura 4. Porcentagem de Perda de Energia Elétrica no Brasil.....	27
Figura 5. Análise dos Resultados das Políticas Públicas para a Energia Eólica no Brasil.....	29
Figura 6. Evolução da Capacidade Instalada em Usinas Eólicas no Brasil (MW).....	31

CAPÍTULO 3

Figura 1. Comparação do Número de Publicações nas Combinações Pesquisadas de 1 a 6....	39
--	----

CAPÍTULO 4

Figura 1. Percorso Metodológico.....	72
--------------------------------------	----

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 3

Quadro 1. Pergunta Norteadora.....	38
Quadro 2. Relação de Palavras-Chave Utilizadas nas Plataformas de Busca.....	38
Quadro 3. Critérios para Seleção de Artigos.....	39
Quadro 4. Barreiras para a Expansão das Energias Renováveis.....	40
Quadro 5. Resumo das Barreiras para Expansão dos Parques Eólicos no Brasil.....	41
Quadro 6. Resumo das Principais Barreiras à Expansão da Energia Eólica no Brasil.....	51

CAPÍTULO 4

Quadro 1. Pontuação Ponderada para Avaliação da Relação de Palavras-chave Utilizadas nas Plataformas de Busca.....	73
Quadro 2. Características do Parque Eólico.....	74
Quadro 3. Potência Outorgada de Parques Eólicos do Ceará.....	74
Quadro 4. Características das Rotas Tecnológicas.....	75
Quadro 5: Informações dos Especialistas Entrevistados.....	76
Quadro 6: Resultado do Método Ponderado de Fatores.....	77
Quadro 7. Seleção de Rotas pelos Especialistas após Avaliação dos Riscos e Incertezas.....	77

ANEXO A

Quadro 1. Características Técnicas dos Empreendimentos Eólicos <i>Offshore</i> com Licenciamento Ambiental em Andamento no Brasil (atualizado até abril 2021) ...	96
---	----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Dados da Oferta Interna de Energia Elétrica.....	22
Tabela 2. Dados das Perdas de Energia Elétrica	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABEEÓLICA	Associação Brasileira de Energia Eólica
ADECE	Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento
CCC-Isol	Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis dos Sistemas Isolados
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CIPP	Complexo Industrial e Portuário do Pecém
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GWEC	<i>Global Wind Energy Council</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INWEA	<i>Indian Wind Energy Association</i>
IPCA	Índice Nacional de Preço ao Consumidor
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
IWPA	<i>Indian Wind Power Association</i>
LCOE	<i>Levelized Cost of Energy</i>
MDA	Ministério do Desenvolvimento Agrário
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NDC	<i>Nationally Determined Contributions</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PEN	Política Energética Nacional
PIB	Produto Interno Bruto

PL	Projeto de Lei
PNG	Plano de Negócios e Gestão
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROEÓLICA	Programa Emergencial de Energia Eólica
PROGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
SAU	<i>Sea Around Us Project</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional
TAESA	Transmissora Aliança de Energia Elétrica S.A.
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
ZEE	ZEE - Zona Econômica Exclusiva

SUMÁRIO

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO.....	15
Capítulo 2 – ARTIGO 1 – COMO A ENERGIA EÓLICA ETA CONTRIBUINDO PARA O BRASIL ATINGIR OS COMPROMISSOS ASSUMIDOS PARA O SETOR ELÉTRICO NO ACORDO DE PARIS.....	17
2.1 INTRODUÇÃO.....	18
2.2 METODOLOGIA.....	19
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	20
2.3.1 O Acordo de Paris.....	20
2.3.2 Matriz Elétrica Mundial e Brasileira.....	21
2.3.3 Participação das Energias não Renováveis e Renováveis na Matriz Elétrica brasileira	22
2.3.4 Eficiência no Setor Elétrico.....	24
2.3.4.1 <i>Marcos Regulatórios de Incentivo à Eficiência Energética no Brasil</i>	25
2.3.4.2 <i>Dados da Eficiência Energética no Setor Elétrico Brasileiro</i>	25
2.3.4.3 <i>Energia Eólica como Solução para Reduzir Perdas na Transmissão de Energia</i>	27
2.3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A ENERGIA EÓLICA NO BRASIL.....	28
2.3.5.1 <i>Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA)</i>	29
2.3.5.2 <i>Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA)</i>	29
2.3.5.3 <i>Outros Programas Governamentais</i>	29
2.3.5.4 <i>Resultado das Políticas: o Crescimento da Energia Eólica no Brasil</i>	30
2.4 CONCLUSÕES.....	31
REFERÊNCIAS.....	31
Capítulo 3 – ARTIGO 2 – BARREIRAS E RUMOS PARA A EXPANSÃO DOS PARQUES EÓLICOS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO.....	35
3.1 INTRODUÇÃO.....	36
3.2 METODOLOGIA.....	38
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
3.3.1 Categorias de Barreiras para a Expansão das Energias Renováveis.....	40
3.3.2 Revisão Sistemática da Literatura sobre Barreiras à energia Elétrica	41
3.3.3 Avaliação dos Dados Encontrados na Literatura.....	42

3.3.3.1	<i>Falha/Imperfeição do Mercado</i>	42
3.3.3.2	<i>Distorções do Mercado</i>	43
3.3.3.3	<i>Econômica e Financeira</i>	45
3.3.3.4	<i>Institucional</i>	46
3.3.3.5	<i>Técnica</i>	48
3.3.3.6	<i>Social, Cultural e Comportamental</i>	49
3.3.3.7	<i>Outras Barreiras</i>	50
3.3.4	MEDIDAS PARA SUPERAR AS BARREIRAS PARA A EXPANSÃO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL.....	51
3.4	CONCLUSÕES.....	55
	REFERÊNCIAS.....	56
Capítulo 4 – ARTIGO 3 – ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL: UM ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA.....		
		62
4.1	INTRODUÇÃO.....	63
4.2	REVISÃO DA LITERATURA.....	65
4.2.1	Energia Eólica <i>Onshore</i> e <i>Offshore</i>	65
4.2.2	Viabilidade Técnica e Econômica de Empreendimentos Eólicos.....	69
4.3	METODOLOGIA.....	72
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	74
4.4.1	Características do Parque Eólico Brasileiro.....	75
4.4.2	Mapeamento das Rotas Tecnológicas para a Geração Eólica.....	76
4.4.3	Perfil dos Especialistas.....	76
4.4.4	Desempenho Técnico-Econômico-Financeiro.....	77
4.4.5	Avaliação dos Riscos e Incertezas.....	78
4.5	CONCLUSÕES.....	84
	REFERÊNCIAS.....	85
Capítulo 5 – CONCLUSÕES.....		
		92
ANEXO A – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE EMPREENDIMENTOS EÓLICOS.....		
		96
ANEXO B – PRODUÇÃO TÉCNICA E CIENTÍFICA.....		
		97

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica no mundo é baseada, principalmente, pela queima de combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás natural em usinas termelétricas. Por outro lado, a matriz elétrica brasileira é mais renovável que a mundial, tendo a porcentagem de fonte renovável representado 83% no ano de 2019 (IEA, 2021).

A maior capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil é proveniente de usinas hidrelétricas. Enquanto que no ano de 2001 as usinas hidrelétricas representavam 83% da capacidade instalada, no ano de 2020 representavam 62% (IEA, 2021). Embora existam reservatórios em todas as regiões do Brasil, os principais se concentram no subsistema Sudeste/Centro-Oeste, que representa 70% da capacidade de armazenamento do País (EPE, 2021). A atual situação de escassez hídrica em 2021, o baixo nível dos reservatórios e a perspectiva de retomada da economia em um cenário pós pandemia do COVID-19 têm preocupado o governo federal, por conta da possibilidade de ocorrência de uma nova crise de energia, como a ocorrida em 2001, conhecida como “O Apagão de 2001”.

No cenário mundial, a energia eólica vem apresentando grande difusão seja no modelo *onshore* ou *offshore*. No Brasil, após o ano de 2001, houve um avanço significativo na capacidade instalada de outras fontes de energia com especial destaque para a energia eólica *onshore*. Em dezembro de 2000, a capacidade eólica instalada no país era de apenas 20 MW (ANEEL, 2001). Em dezembro de 2020, de acordo com dados da ABEEÓLICA (2021), essa capacidade saltou para 17.747 MW.

Nesta dissertação, três estudos foram elaborados sobre a energia eólica. O primeiro artigo avalia como a energia eólica está contribuindo para o Brasil atingir os compromissos assumidos para o setor elétrico no Acordo de Paris. Para tal, foram analisados os dados disponíveis pela Empresa de Pesquisa Energética entre o período de 2014 e 2020 e a literatura pertinente. Com base nesse estudo, se pode concluir que as políticas públicas de incentivos fiscais para a geração de energia eólica no Brasil, após a crise de energia elétrica de 2001, são as responsáveis pelo aumento significativo de investimentos em geração de energia eólica. Programas como PROEÓLICA, PROINFA, Programa de Geração Distribuída, inclusão de

equipamentos para produção eólica no Programa Mais Alimentos (taxas de juros menores e mais atrativas), entre outros programas, são exemplos.

O segundo estudo tem como objetivo avaliar quais são as barreiras para a almejada expansão dos parques eólicos, especificamente no território brasileiro, e apontar maneiras de contorná-las. Para tal, foi realizada uma revisão sistemática da literatura a partir de duas bases de dados: a *Science Direct* e o *Google Scholar*. Um total de 13 barreiras foram identificadas, sendo que nove estão relacionadas ao contexto econômico do Brasil e quatro estão relacionadas ao setor eólico. Pôde-se concluir que as barreiras mais complexas precisam de intervenções do governo federal para serem removidas ou mitigadas, pois o mercado de energia elétrica é altamente regulado e complexo no Brasil. Entre as medidas identificadas para contornar as barreiras encontradas neste estudo, as mais relevantes são: desenvolvimento de programas de longo prazo para o setor elétrico; reestabelecimento dos leilões de energia eólica de forma regular; e investimentos não somente na otimização da geração, mas também no aperfeiçoamento da infraestrutura de transmissão e distribuição.

O terceiro estudo avalia a viabilidade técnica, econômica e financeira de um parque eólico a ser instalado no Brasil. Foram verificadas distintas rotas tecnológicas que caracterizam os parques eólicos ao redor do mundo, com o intuito de se identificar qual é a melhor opção, especialmente em termos de relação custo-benefício, para o empreendimento. Para estes fins, realizou-se uma análise abrangente que incluiu, além de uma análise quali-quantitativa, uma avaliação qualitativa adicional focada em riscos, baseada na experiência de especialistas que trabalham em grandes empreendimentos de engenharia no Brasil. Os resultados demonstraram que, nas condições atuais, a rota *onshore* com maior potência unitária do aerogerador e torre cônica de aço se mostrou como a preferida. Entretanto, ficou demonstrado que, no médio prazo, a energia eólica *offshore* deverá se tornar uma realidade no país, desde que haja a definição de regulações e modelos de licenciamento favoráveis, estabilidade política e econômica e políticas públicas de longo prazo em termos de incentivos e subsídios para atrair investimentos para esse tipo de geração de energia.

Almeja-se que esta pesquisa possa fornecer subsídios para gestores e formuladores de políticas públicas para o setor elétrico nesse momento político conturbado por qual o país atravessa e diante de um governo que não prioriza o desenvolvimento sustentável e nem foca em políticas consistentes e de longo prazo, gerando o risco iminente de “apagões” e agindo prioritariamente para “apagar incêndios”. Esses três estudos também têm o objetivo de avançar o conhecimento teórico sobre energia eólica, pois foram identificadas as vantagens e desvantagens, assim como a importância dessa fonte de energia para o país.

Capítulo 2

ARTIGO 1

COMO A ENERGIA EÓLICA ESTÁ CONTRIBUINDO PARA O BRASIL ATINGIR OS COMPROMISSOS ASSUMIDOS PARA O SETOR ELÉTRICO NO ACORDO DE PARIS

Mario Joel Ramos Júnior
SENAI CIMATEC Centro Universitário/ Brasil

Paulo Soares Figueiredo
SENAI CIMATEC Centro Universitário/ Brasil

Xisto Lucas Travassos Júnior
Universidade Federal de Santa Catarina/ Brasil

Resumo

O Acordo de Paris foi assinado com o intuito de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e, neste acordo, o Brasil se comprometeu a aumentar a participação em energias renováveis na sua matriz elétrica. O objetivo deste estudo é avaliar como, na gestão do setor elétrico, a energia eólica está contribuindo para o cumprimento das metas assumidas no acordo. Por meio de uma revisão sistemática da literatura, foram identificados 10 estudos pertinentes e, juntamente com uma análise dos dados disponíveis no Relatório de Balanço Energético Nacional da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), foi possível comparar os dados obtidos no período com as metas estabelecidas e avaliar o sucesso das políticas para o setor no atingimento dos objetivos mencionados. Os resultados demonstram que a energia eólica é a fonte renovável que mais se beneficiou dos incentivos fiscais e, assim, contribuiu para a expansão da participação da energia renovável na matriz elétrica brasileira, através do aumento da capacidade instalada, e pode contribuir para ganhos em eficiência elétrica.

Palavras Chave: Acordo de Paris. Setor Elétrico. Energia Renovável. Energia Eólica. Eficiência Elétrica.

HOW WIND ENERGY IS CONTRIBUTING TO THE ACHIEVEMENT OF BRAZIL COMMITMENTS TO THE ELECTRICAL SECTOR IN THE PARIS AGREEMENT

Abstract

The Paris Agreement was signed with the aim of reducing greenhouse gas emissions and, in this agreement, Brazil is committed to increase the renewable energies participation in the electrical matrix. The objective of this study is to evaluate how, in the management of the electrical sector, wind energy is contributing to the fulfillment of the goals assumed in the agreement. By means of a systematic literature review, 10 relevant studies were identified and, together with the analysis of data available in the National Energy Balance Report from The Energy Research Company, it was possible to compare the data obtained in the period with the targets that were established, and to evaluate the success of the policies for the sector in reaching the before mentioned goals. The results show that wind energy is the renewable source that most benefited from tax incentives and, thus, contributed to the expansion of the share of renewable energy in the Brazilian electrical matrix by means of increasing the installed capacity, and can contribute to gains in energy efficiency.

Keywords: Paris Agreement. Electrical Sector. Renewable Energy. Wind Energy.

2.1 INTRODUÇÃO

O objetivo central do acordo de Paris é de fortalecer a resposta global à ameaça das mudanças climáticas, assegurando que o aumento da temperatura média global fique menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e prosseguir os esforços para limitar o aumento da temperatura a até 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (UNFCCC, 2016).

Para o alcance do objetivo final do Acordo, os governos se envolveram na construção de seus próprios compromissos, a partir da chamada Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, na sigla em inglês). Por meio da NDC, cada nação apresentou sua contribuição de redução de emissão dos gases de efeito estufa, seguindo o que cada governo considerava viável a partir do cenário social e econômico local (MMA, 2016).

Em termos de contribuição nacionalmente determinada, o Brasil comprometeu-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, sendo que há o compromisso de uma contribuição subsequente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030.

Após a crise de energia de 2001, o Brasil vem desenvolvendo políticas públicas para aumentar a participação da energia elétrica renovável no Sistema Elétrico Nacional, por

exemplo: o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA) e o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA).

De acordo com ABEEÓLICA (2021), a capacidade eólica instalada aumentou mais de duas vezes e meia entre 2014 e 2020, saindo de 5.974 MW para 17.747 MW, o que representa uma significativa taxa média de crescimento de 20% ao ano.

O objetivo deste trabalho é avaliar como a energia eólica está contribuindo para o Brasil atingir os compromissos assumidos para o setor elétrico no Acordo de Paris. Para tal, foram analisados os dados disponíveis da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) entre o período de 2014 e 2020 e a literatura pertinente.

Este trabalho está organizado em quatro seções: além desta Introdução, a seção 2 descreve a Metodologia utilizados; a seção 3 aborda os Resultados e Discussão e, finalmente, na seção 4, são realizadas as Conclusões.

2.2 METODOLOGIA

O estudo foi realizado através de uma revisão sistemática da literatura e pela análise de dados disponíveis no Relatório de Balanço Energético Nacional da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no Boletim Anual de Geração Eólica da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA) e no Relatório Global de Energia Eólica publicado pela *Global Wind Energy Council* (GWEC). O período selecionado para análise foi entre o ano de 2014 (antes da assinatura do Acordo de Paris) até 2020.

As bases de dados utilizadas para realização das buscas para a revisão sistemática foram o *Science Direct* e o *Google Scholar*. Os descritores utilizados foram: “Paris Agreement”, “Wind Energy” e “Brazil”. Os critérios de inclusão definidos para a realização da busca das publicações foram: pertinência dos conteúdos em relação ao tema abordado neste trabalho, avaliada pelos autores, e trabalhos escritos nos idiomas inglês e português. Foram excluídos todos os trabalhos publicados fora do período, e com idiomas diferentes dos definidos, além de teses e dissertações. A busca não foi restringida a nenhum período específico.

Após a realização da pesquisa, foi possível encontrar o total de 181 estudos pertinentes ao tema. Foram pré-selecionados os 50 mais relevantes. Após leitura dos títulos e resumos, 10 trabalhos foram selecionados como pertinentes para compor esta revisão sistemática.

Em relação a expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e

solar; foi avaliada a porcentagem da contribuição dessas fontes para a matriz elétrica brasileira entre 2014 e 2020.

Quanto a alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico, foram calculadas as perdas resultantes da diferença entre a oferta interna de energia elétrica (oferta) e o consumo final (demanda) por ano. O ganho de eficiência foi avaliado através da redução das perdas durante a geração, transmissão e distribuição da energia elétrica no período. A meta foi definida como a redução de 10% do valor das perdas registradas no ano de 2014.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção está organizada em cinco subseções: a subseção 2.3.1 descreve o Acordo de Paris, a subseção 2.3.2 mostra a matriz elétrica mundial e brasileira, a subseção 2,3.3 exibe a participação das energias renováveis e não renováveis na matriz elétrica brasileira, a subseção 2,3.4 aborda a eficiência no setor elétrico e na subseção 2.3.5 são avaliados os resultados das políticas públicas para a expansão da energia eólica no Brasil.

2.3.1 O Acordo de Paris

O Acordo de Paris é um tratado mundial que tem como objetivo reduzir as emissões de gases de efeito estufa no contexto do desenvolvimento sustentável. O acordo foi negociado durante a 21ª Conferência das Partes das Nações Unidas (COP 21) em Paris e aprovado pelos 195 países parte da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima em 12 de dezembro de 2015.

Na última década, a utilização da fonte eólica como energia renovável no setor elétrico está crescendo em um ritmo muito mais rápido que as outras fontes disponíveis no Brasil e no mundo. Para Arantegui e Jäger-Waldau (2018), a energia eólica é uma das principais opções tecnológicas para implementar a mudança para um suprimento de energia descarbonizada.

Em 2015, em torno de 27,3 GW de nova capacidade de geração de energia foram conectados na União Europeia. As fontes de energia renovável representaram 20,6 GW ou 75,6% de toda a nova capacidade de geração. A energia eólica aportou 12,2 GW, ou 44,6%, da capacidade recém-instalada (ARANTEGUI E JÄNGER-WALDAU, 2018).

Após a aprovação pelo Congresso Nacional, o Brasil concluiu o processo de ratificação do Acordo de Paris. No dia 21 de setembro, o instrumento foi entregue às Nações Unidas. Com isso, as metas brasileiras deixaram de ser pretendidas e tornaram-se compromissos oficiais. Em termos de contribuição nacionalmente determinada (NDC, em inglês), o

Brasil comprometeu-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, sendo que há o compromisso de uma contribuição subsequente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. Para isso, o país se comprometeu a aumentar a participação de bioenergia sustentável na sua matriz energética para aproximadamente 18% até 2030, restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas, bem como alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030 (MMA, 2016).

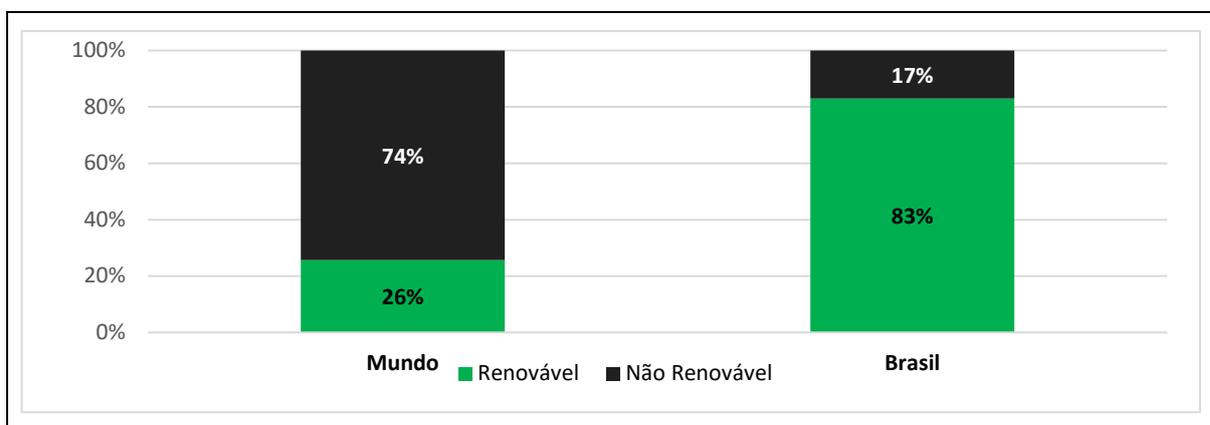
Para o setor elétrico, as metas assumidas foram (BRASIL, 2016):

- i. expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar.
- ii. alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030.

Conforme descrito por CEBDS (2017), as metas previstas pela NDC são interdependentes, assim, o desafio é atingir todas de maneira harmônica e coordenada: manter a alta proporção de energias renováveis em uma matriz, com maior inclusão de fontes renováveis além da hídrica, em um contexto incerto de crescimento do consumo de energia até 2030, incluindo o aumento de 10% de eficiência energética.

2.3.2 Matriz Elétrica Mundial e Brasileira

Figura 1: Participação de energias renováveis e não renováveis na Matriz Elétrica Brasileira e Mundial em 2019.



Fonte IEA (2021).

A Figura 1 mostra a utilização de fontes renováveis e não renováveis para a geração de energia elétrica no Brasil e no mundo para o ano de 2019 (IEA, 2021).

A matriz elétrica mundial é composta principalmente por fontes não renováveis de energia (74%), com especial destaque para o carvão e o gás natural que juntos correspondem a 60% da matriz elétrica mundial. Por outro lado, a matriz elétrica brasileira é mais renovável do que a mundial. Somando-se as fontes hidráulica, eólica, biomassa, solar e outras renováveis, 83% da matriz elétrica brasileira é formada por fontes renováveis de energia.

2.3.3 Participação das Energias não Renováveis e Renováveis na Matriz Elétrica Brasileira

A Tabela 1 mostra os dados da oferta interna de energia elétrica por fonte entre o período de 2014 (antes do Acordo de Paris) e 2020.

Tabela 1: Dados da Oferta Interna de Energia Elétrica.

Oferta de Energia	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	(GWh)						
Gás Natural	81.073	79.490	56.485	65.593	54.622	60.448	53.464
Nuclear	15.378	14.734	15.864	15.739	15.674	16.129	14.053
Carvão Vapor	18.385	18.856	17.001	16.257	14.204	15.327	11.946
Derivados de Petróleo	30.834	25.014	11.808	12.458	9.293	6.926	7.746
Outras Não Renováveis	12.127	11.826	11.919	12.256	12.314	12.061	11.121
Não Renováveis (total)	157.797	149.920	113.077	122.303	106.107	110.891	98.330
Hidráulica+ Importações Líquidas	407.239	394.143	421.711	407.306	423.971	422.877	421.081
Biomassa	47.079	49.880	51.335	52.913	54.383	54.920	58.742
Eólica	12.210	21.626	33.489	42.373	48.475	55.986	57.051
Solar	16	59	85	832	3.461	6.655	10.748
Renováveis (total)	466.544	465.708	506.620	503.424	530.290	540.438	547.622
Oferta Interna de Eletricidade	624.341	615.628	619.697	625.727	636.397	651.329	645.992

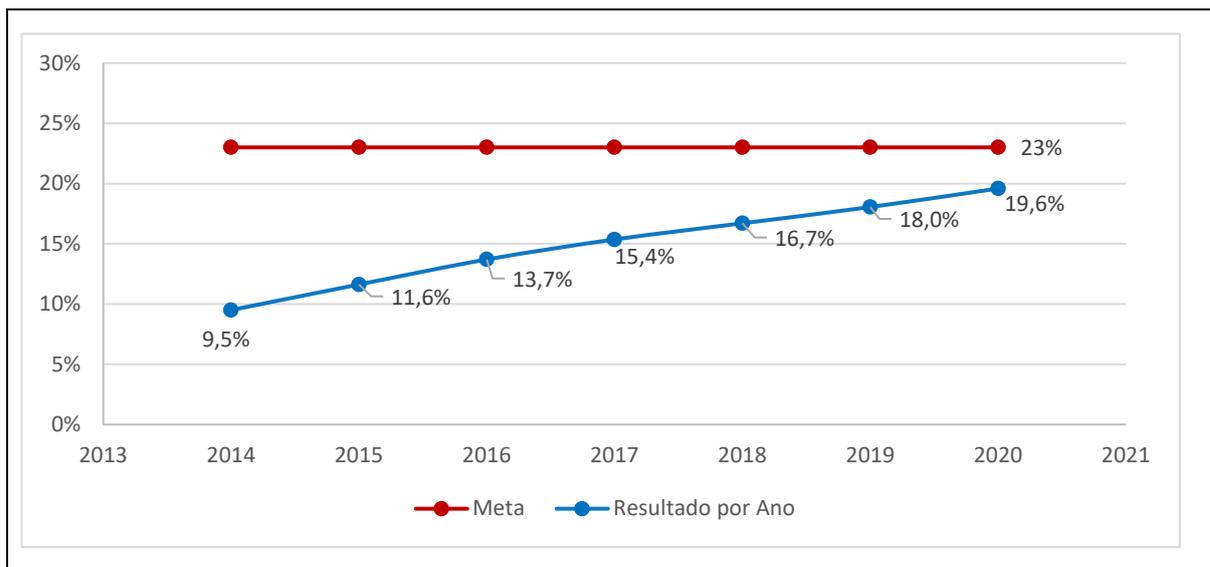
Fonte EPE (2021).

Os dados da Tabela 1 mostram que no ano de 2020 houve uma redução de 59.467 GWh na oferta de energia elétrica não renovável quando comparado ao ano de 2014. Por outro lado, houve um incremento na oferta de energia renovável em 81.078 GWh em 2020 quando comparado ao ano de 2014. Desta forma, se pode concluir que a matriz elétrica brasileira está migrando para um formato ainda mais renovável com o passar dos anos. Adicionalmente, as fontes renováveis biomassa, eólica e solar apresentaram crescimento na participação da matriz elétrica brasileira em todos os anos do período observado.

A Figura 2 mostra a oferta interna de energia elétrica renovável no Brasil – exceto energia hidráulica – entre 2014 e 2020. Como se pode observar, excluindo-se a energia

hidráulica, a participação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira segue uma trajetória de crescimento no período avaliado. Em relação a expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar; os resultados mostram que o país está no caminho para atingir a meta estabelecida no Acordo de Paris.

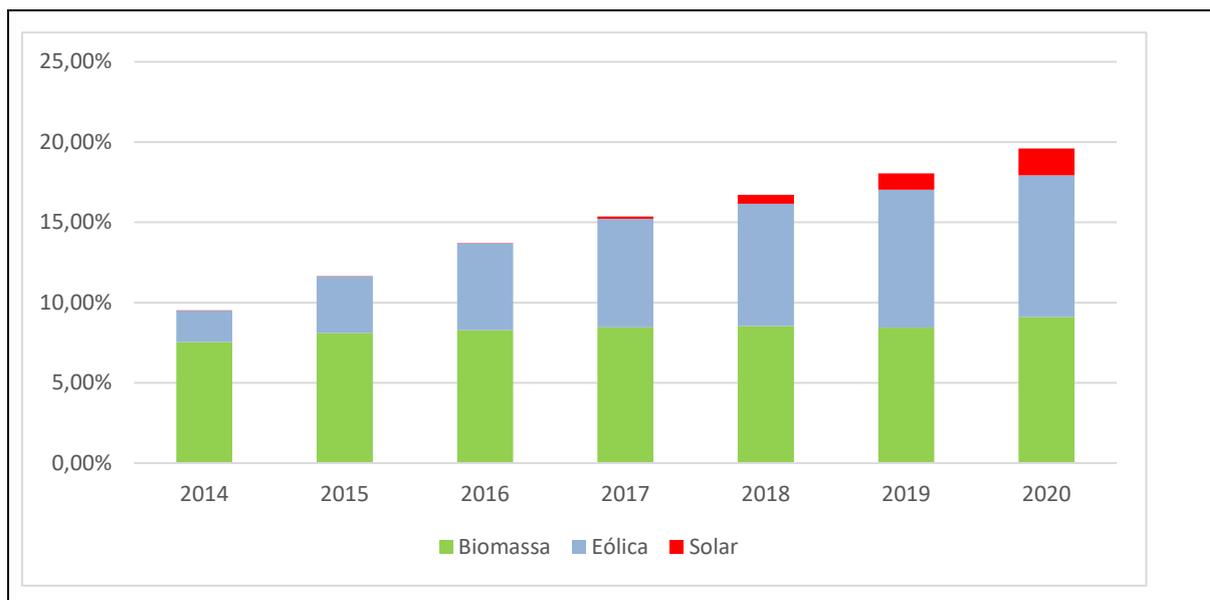
Figura 2: Participação de Energias Renováveis na Matriz Elétrica Brasileira (exceto energia hidráulica).



Fonte EPE (2021).

O principal destaque no período foi a contribuição da energia eólica para a matriz elétrica brasileira. Enquanto que em 2014 a geração de energia elétrica através da fonte eólica foi de 12.210 GWh, em 2020 o valor foi de 57.051 GWh (incremento de 44.811 GWh). O aporte da biomassa foi de 44.987 GWh para 51.876 GWh (incremento de 6.899 GWh) e a energia solar foi de 16 GWh para 3.461 GWh (incremento de 3.445 GWh).

A Figura 3 mostra a porcentagem da contribuição da fonte biomassa, eólica e solar para a matriz elétrica nacional entre o período de 2014 a 2020. Em 2014, a participação de 9,5% das energias renováveis para a matriz elétrica do Brasil (excluindo-se a fonte hidráulica) foi composta de 7,54% de biomassa e 1,95% da eólica e 0,01% de solar. Em 2020, foi de 9,09% de biomassa, 8,83% da eólica e 1,66% de solar. A Figura 3 evidencia que a fonte eólica foi a que apresentou maior crescimento na contribuição para a matriz elétrica brasileira entre as fontes avaliadas no período.

Figura 3: Contribuição da Fonte Biomassa, Eólica e Solar para a Matriz Elétrica Nacional.

Fonte EPE (2021).

2.3.4 Eficiência no Setor Elétrico

Conforme descrito por Arantegui e Jänger-Waldau (2018), no encontro do Conselho Europeu foi definido o Quadro das Políticas Climáticas e Energéticas para 2030 e, assim, atender às metas do Acordo de Paris. Foi estabelecido um objetivo indicativo para melhorar, em pelo menos 27%, a eficiência elétrica em 2030 em comparação com as projeções de consumo futuro de energia, segundo o cenário político da época.

Para o Brasil, a meta estabelecida no Acordo de Paris foi de alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030.

A crise de energia de 2001 (O Apagão de 2001) foi uma crise elétrica nacional, que afetou o fornecimento e distribuição de energia elétrica em todo o país. Ocorreu entre 1 de julho de 2001 e 19 de fevereiro de 2002, sendo causada principalmente por falta de planejamento e investimentos no setor elétrico brasileiro. Hage (2019) indica que, até a crise elétrica de 2001, o Brasil não havia feito investimentos necessários para o melhoramento técnico das usinas hidroelétricas, que continuariam estatais, e das empresas transmissoras de energia, também pertencentes ao Estado. Altoé et al. (2017) ressaltam que a crise hídrica, associada à falta de planejamento de longo prazo, tendo em vista a grande dependência de geração hidráulica na oferta interna de energia elétrica, ampliou a necessidade de acionar um número expressivo de usinas termelétricas. Galvão e Bermann (2015) advertem que as usinas termelétricas possuem custo de operação maior que as usinas hidrelétricas.

2.3.4.1 Marcos Regulatórios de Incentivo à Eficiência Energética no Brasil

A Lei no 9.478, lançada em 6 de agosto de 1997, dispôs sobre os princípios e objetivos da Política Energética Nacional (PEN). Nesta lei, ficaram determinadas as políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia visando proteger o meio ambiente, identificar as soluções mais adequadas para o suprimento de energia elétrica nas diversas regiões do país e atrair investimentos na produção de energia (BRASIL, 1997).

Em 17 de outubro de 2001, foi lançada a Lei 10.295 que dispôs sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia que visa a alocação eficiente de recursos energéticos e preservação do meio ambiente. Por esta lei se estabeleceu que o Poder Executivo ficaria responsável em desenvolver mecanismos que promovessem a eficiência energética de máquinas e equipamentos fabricados e comercializados e das edificações construídas no país (BRASIL, 2001).

De acordo com Altoé et al. (2017), nos anos seguintes, houveram avanços relevantes no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). O governo lançou o programa de certificação de eficiência energética para edifícios comerciais, públicos e de serviços em 2009, e para os edifícios residenciais, em 2010. Em 2009, também foi lançada a certificação de eficiência energética de veículos automotores. Tanto a certificação dos edifícios quanto a dos veículos é feita como parte do PBE, estando a primeira sob responsabilidade do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) e a segunda do Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural (Selo Conpet).

Altoé et al. (2017) ressaltam que outro importante marco regulatório na área de energias renováveis e de eficiência energética foi a Resolução Aneel no 482/2012. Essa resolução instituiu um sistema de compensação de energia elétrica no Brasil (*Net Metering*), no qual unidades consumidoras com micro ou minigeração distribuída (potência instalada de até 1 MW), a partir de fonte hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, poderiam compensar seu consumo de energia. Ao final do mês, realiza-se o balanço de energia elétrica, com base na energia injetada na rede e na energia consumida. Caso a produção de energia seja maior que o consumo, são gerados créditos que podem ser utilizados em até 36 meses. Essa resolução foi atualizada no ano de 2015.

2.3.4.2 Dados da Eficiência do Setor Elétrico Brasileiro

A Tabela 2 mostra os dados da oferta interna de energia elétrica por fonte (oferta), o consumo final (demanda) e as perdas comerciais e técnicas.

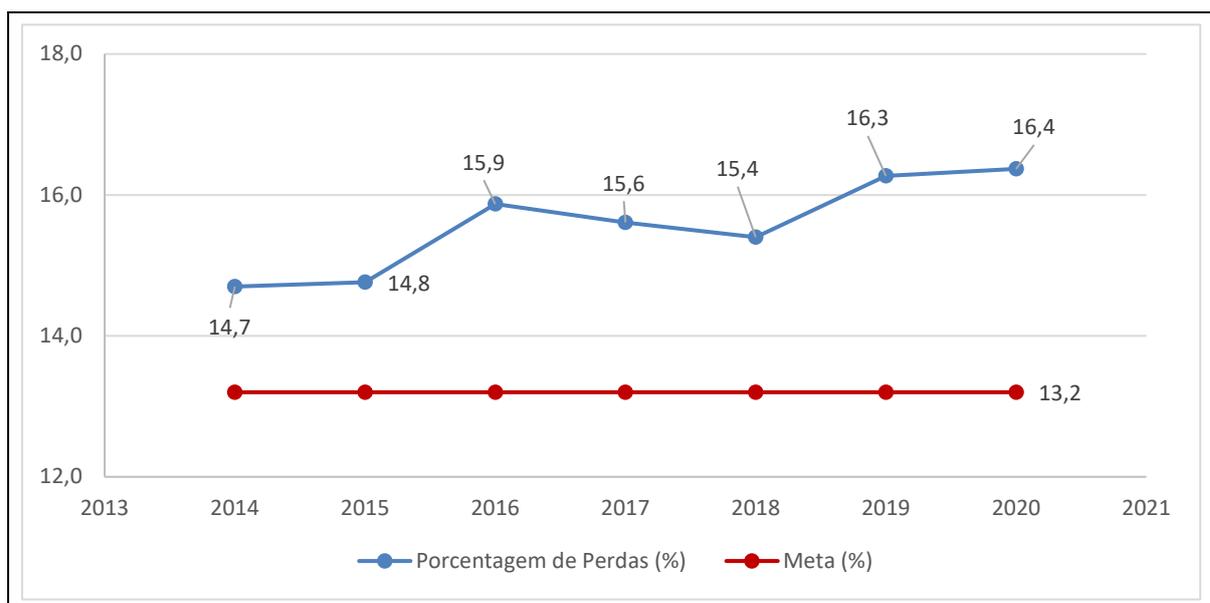
Tabela 2: Dados das Perdas de Energia Elétrica

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Oferta Interna de Energia Elétrica (GWh)	624.341	615.628	619.697	625.727	636.397	651.329	645.952
Consumo Final (GWh)	532.559	524.749	521.376	538.063	538.403	545.373	540.189
Perdas (Comerciais e Técnicas) (GWh)	91.782	90.879	98.321	97.664	97.994	105.956	105.763
Perdas (%)	14,70%	14,76%	15,87%	15,61%	15,40%	16,27%	16,37%

Fonte EPE (2021).

As perdas técnicas são inerentes à atividade de distribuição de energia elétrica, pois parte da energia é dissipada no processo de transporte, transformação de tensão e medição em decorrência das leis da física. As perdas não técnicas, apuradas pela diferença entre as perdas totais e as perdas técnicas, têm origem principalmente nos furtos (ligação clandestina, desvio direto da rede), fraudes (adulterações no medidor ou desvios), erros de leitura, medição e faturamento. Essas perdas, também denominadas popularmente de “gatos”, estão em grande medida associadas à gestão da concessionária e às características socioeconômicas das áreas de concessão (ANEEL, 2021).

Figura 4: Porcentagem de Perda de Energia Elétrica no Brasil.



Fonte EPE (2021).

A Figura 4 mostra as perdas comerciais e técnicas do período e a meta estipulada pelo governo brasileiro no Acordo de Paris. Com respeito a alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030, a Figura 4 revela que a porcentagem de perdas de energia elétrica no Brasil – diferença entre a oferta interna de energia – cresceu entre 2014 e 2016, apresentou diminuição em 2017 e 2018 e voltou a crescer em 2020. Em resumo, em nenhum dos anos subsequentes à ratificação do Acordo de Paris, o país conseguiu atingir a meta de ser mais eficiente no setor elétrico.

As perdas ocorrem na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. De acordo com EPE (2021), as maiores perdas ocorrem na transmissão da energia entre a geração elétrica nas usinas até o limite dos sistemas de distribuição – perdas inerentes ao transporte da energia elétrica na rede.

Altoé et al. (2017) relatam que, para atingir o potencial de eficiência elétrica traçado no Plano Nacional de 2030, será necessário planejamento efetivo para promover o uso racional de energia elétrica pelos diferentes setores econômicos e pela população em geral, ressaltando ainda que o potencial técnico é muito superior e passível de aproveitamento por meio da implementação de políticas de incentivo mais agressivas na área de conservação de energia elétrica.

2.3.4.3 Energia Eólica como Solução para Reduzir Perdas na Transmissão de Energia

Para Tolmasquim (2016), a geração mais próxima de centros de carga reduz drasticamente perdas em transmissão e distribuição. Para Arantegui e Jänger-Waldau (2018), a energia eólica tem a vantagem de poder ser implementada de maneira modular em quase todos os lugares do planeta.

Greenpeace (2005) informa que os sistemas descentralizados de geração de energia evitam desperdício em transmissão e distribuição, garantem energia às populações ainda sem acesso, produzem menos emissões de carbono, são mais baratos e criam mais empregos.

No Brasil, toda a energia eólica gerada é através do modelo *onshore*. Os parques eólicos *onshore* são as infraestruturas encarregadas de gerar energia elétrica a partir do vento que sopra em localizações em terra. A energia eólica *offshore*, ainda inexistente no Brasil, é a fonte de energia limpa e renovável que se obtém aproveitando a força do vento que sopra em alto-mar, onde este alcança uma velocidade maior e mais constante, devido à inexistência de barreiras. Ortiz e Kampel (2011) avaliaram o potencial de energia eólica *offshore* para toda a margem do Brasil e estimou que o potencial eólico *offshore* na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) é cerca de 12 vezes maior do que na área continental do país, sendo capaz de alavancar o desenvolvimento sustentável no longo prazo. Em 22 de agosto de 2018, a Petrobras anunciou o desenvolvimento do primeiro projeto de energia eólica *offshore* no Brasil no polo de Guamaré, no Rio Grande do Norte. Entretanto, em janeiro de 2020, a empresa comunicou ao Ibama – responsável pelo licenciamento ambiental do projeto – a suspensão do projeto piloto.

A implantação de parques eólicos *offshore* pode diversificar ainda mais a matriz elétrica brasileira e permitir a geração de energia próxima a grandes centros urbanos, reduzindo as perdas e os custos de transmissão. Esse tipo de geração de energia está em pleno crescimento

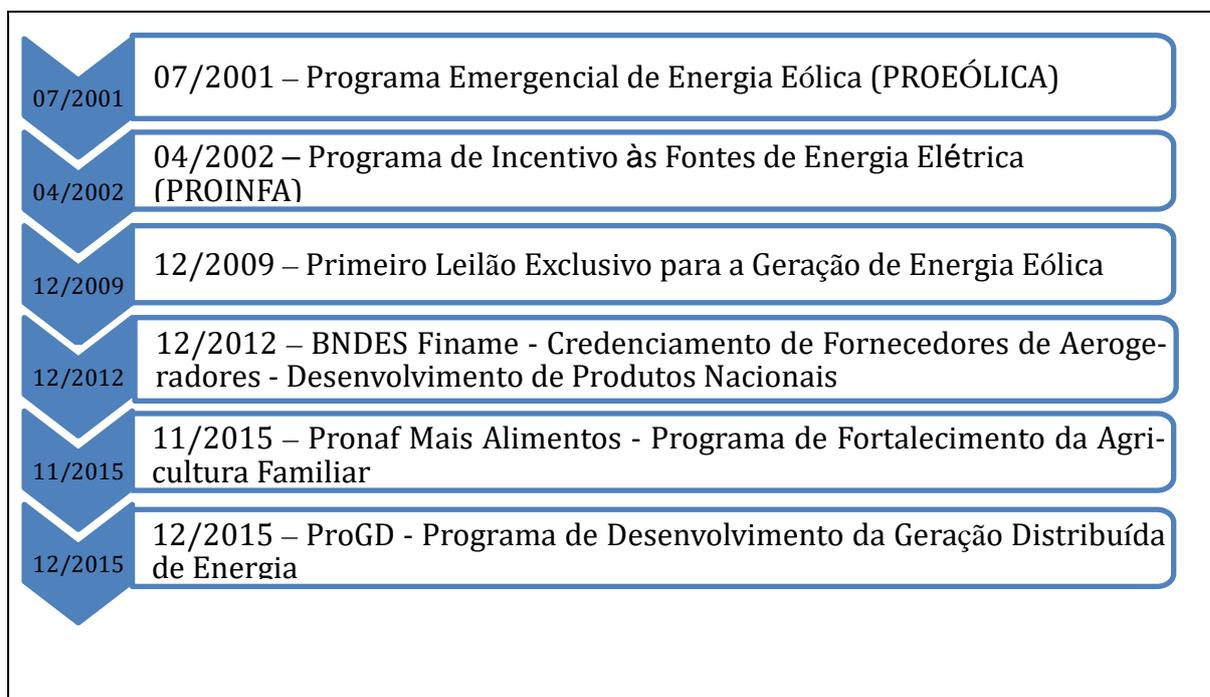
na Europa e na China. Kaldellis e Kapsali (2013) consideram que as principais razões que impulsionam esse crescimento são: a existência de ventos mais fortes e mais consistentes em locais *offshore*, a ausência de obstáculos (por exemplo, montanhas, prédios e árvores) em ambientes marinhos, o baixo impacto sobre os seres humanos e a possibilidade de construir parques eólicos *offshore* em áreas costeiras próximas a grandes centros urbanos.

O Reino Unido possui a maior capacidade eólica *offshore* instalada atualmente (GWEC, 2021) e o maior parque eólico *offshore* do globo - London Array. Kaldellis e Kapsai (2013) citam exemplos de parques eólicos *offshore* que foram instalados próximos à costa e que tem apresentado boa disponibilidade mecânica no Reino Unido: *Scroby Sands Wind Farm* que está localizado a uma distância média de 3 Km da costa apresentou disponibilidade de 84,2% e *North Hoyle Offshore Wind Farm* que se encontra 8 Km da costa apresentou disponibilidade de 91,2%.

2.3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Desde 2001, após a crise de energia, o Brasil vem adotando políticas de incentivo a fontes de energias renováveis no país. A seguir são detalhadas algumas delas. A Figura 5 resume as principais políticas públicas que beneficiaram à expansão da fonte eólica no Brasil.

Figura 5: Análise dos Resultados das Políticas Públicas para a Energia Eólica no Brasil



Fonte Brasil (2001), Brasil (2002), Luna et al. (2019).

2.3.5.1 Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA)

O PROEÓLICA foi criado pela Resolução no 24, de 2001, da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (BRASIL, 2001). O programa tinha como objetivo viabilizar a implantação de 1.050 MW de geração de energia a partir da fonte eólica conectada ao sistema elétrico integrado nacional até 2003; promover o aproveitamento da fonte eólica de energia, como alternativa de desenvolvimento energético, econômico, social e ambiental, bem como promover a complementaridade sazonal com os fluxos hidrológicos nos reservatórios do sistema interligado nacional.

2.3.5.2 Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA)

O PROINFA foi criado pela Lei Federal no 10.428, de 26 de abril de 2002 (Brasil, 2002), e regulamentado pelo Decreto no 4541 de 23 de dezembro de 2002 com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos, concebido com base em fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, no Sistema Interligado Nacional (SIN).

2.3.5.3 Outros Programas Governamentais

Luna et al. (2019) mostram o conjunto histórico de outros programas e incentivos fiscais criados pelo governo brasileiro para incentivar a geração de energia através de fontes renováveis: no dia 15/12/2015, o Ministério de Minas e Energia lançou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (PROGD) com o objetivo de aprofundar as ações para estimular a geração de energia pelos próprios consumidores (residencial, comercial e industrial); o Convênio ICMS 101/97 concede isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento da energia solar e eólica (aquecedores solares, geradores fotovoltaicos e aerogeradores de energia eólica); em novembro de 2015, o Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) incluiu o financiamento de equipamentos para produção de energia solar e eólica no Programa Mais Alimentos – ao adquirir os equipamentos por meio do programa, os produtores familiares financiaram os materiais com condições de crédito diferenciadas do mercado.

Conforme descrito por Lima et al. (2020), o governo brasileiro vem realizando leilões específicos de energia para tecnologias renováveis (solar e eólica), minimizando a concorrência com outras fontes de energia.

Tolmasquim (2016) reconhece que a característica continental do Brasil e a sua localização geográfica são pontos importantes para o aproveitamento da fonte eólica,

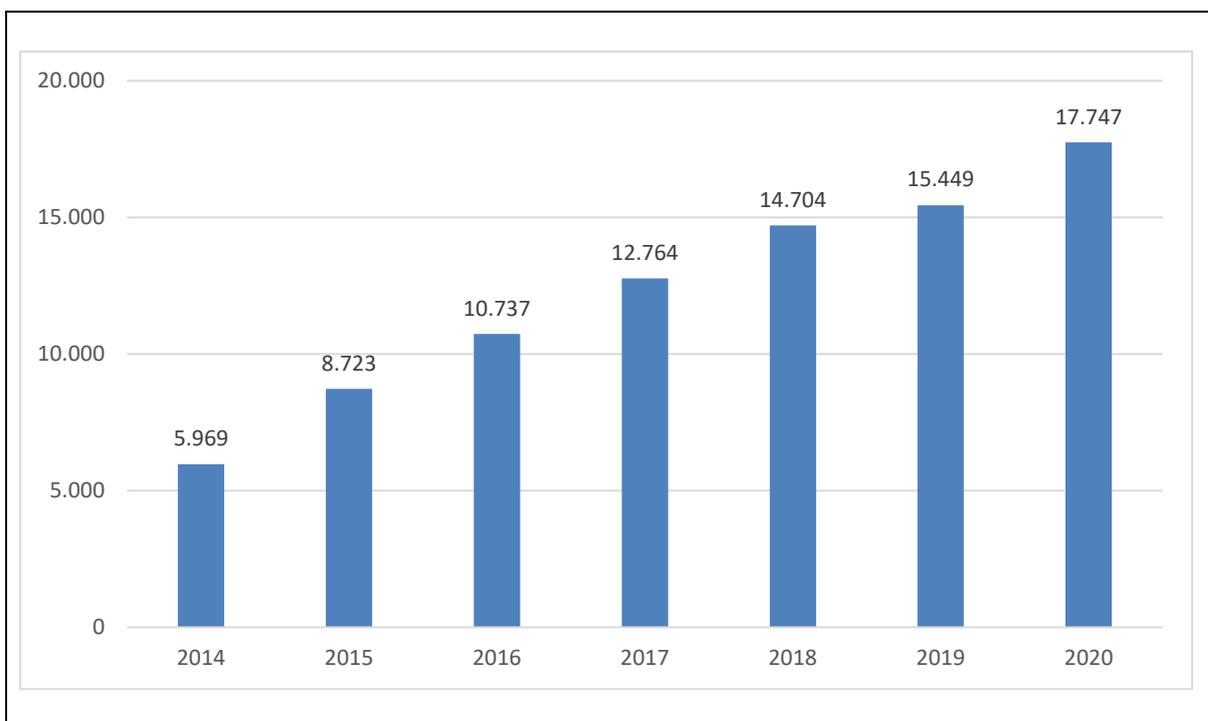
permitindo a implantação de parques eólicos localizados em diferentes regiões com diferentes regimes de ventos e, além disso, os fatores de capacidade dos parques eólicos vencedores dos leilões de energia têm sido mais altos do que os valores médios globais. Adicionalmente, relata que o crescimento da participação dos recursos renováveis na matriz de energia elétrica brasileira, tais como o eólico e o solar, contribui para a solução de problemas de instabilidade e para a garantia de abastecimento.

2.3.5.4 Resultado das Políticas: o Crescimento da Energia Eólica no Brasil

Em dezembro de 2000, ano anterior à crise de energia no Brasil, a capacidade eólica instalada era de apenas 20 MW (ANEEL, 2001).

Na Figura 6, mostra-se como a capacidade instalada em usinas eólicas tem evoluído no Brasil desde 2014 (ano anterior a assinatura do Acordo de Paris) até 2020.

Figura 6: Evolução da capacidade instalada em usinas eólicas no Brasil (MW).



Fonte ABEEÓLICA (2021).

Em dezembro de 2020, as usinas eólicas em operação totalizaram uma capacidade instalada de 17.747 MW. De acordo com GWEC (2021), em 2020 o Brasil ocupou a sétima posição no ranking mundial de capacidade eólica acumulada *onshore*. No ranking que contabiliza especificamente a nova capacidade instalada no ano, o Brasil apareceu em terceiro lugar, tendo instalado 2.298 MW de nova capacidade em 2020. Para Lozornio et al. (2017), o Brasil tem avançado no uso da energia eólica principalmente em função das políticas de incentivos que estão sendo adotadas.

É importante observar que a capacidade instalada aumentou em três vezes aproximadamente entre 2014 e 2020, saindo de 5.969 MW para 17.747 MW, o que representa uma significativa taxa média de crescimento de 20% ao ano. De acordo com ABEEÓLICA (2021), foram gerados 57.051 GWh de energia eólica ao longo de 2020. Os cinco estados com maior geração eólica no ano de 2020 foram Bahia (16.220 GWh), Rio Grande do Norte (15.590 GWh), Ceará (5.950 GWh), Piauí (5.910 GWh) e Rio Grande do Sul (5.810 GWh).

ABEEÓLICA (2021) ressalta que a fonte eólica contribui para o Brasil atingir as metas para o setor elétrico brasileiro por se tratar de uma fonte que não emite CO₂ durante a operação, podendo substituir, portanto, outras fontes de geração de energia elétrica com emissão. No ano de 2020, a oferta interna de energia eólica foi de 57.051 GWh e o total de emissões evitadas, por conta do uso da fonte eólica para a geração de energia elétrica em 2020, foi de 21,2 milhões de toneladas de CO₂, o equivalente à emissão anual de cerca de 21 milhões de automóveis de passeio. Para base de comparação, vale informar que a cidade de São Paulo tem uma frota de mais de 10 milhões de automóveis de passeio. Desta forma, se pode inferir que existe uma relação de 371,60 emissões de CO₂ evitadas a cada GWh de energia eólica ofertada.

2.4 CONCLUSÕES

Com base nesse estudo, pode-se concluir que as políticas públicas de incentivos fiscais para a geração de energia eólica no Brasil, após a crise de energia elétrica de 2001, são as responsáveis pelo aumento de investimentos em geração de energia eólica. Adicionalmente, permitiram a diversificação da matriz elétrica através de uma fonte renovável, de baixa emissão de carbono e abundante no país. Como resultado, as políticas contribuíram na solução do problema elétrico nacional, ainda em andamento, e, adicionalmente, estão permitindo ao país atingir os compromissos assumidos no Acordo de Paris para o setor elétrico. Entretanto, as políticas públicas lançadas até o momento não foram capazes de reduzir as perdas de energia elétrica no Brasil em 10% do que foi acertado em 2015 (melhorar a eficiência elétrica).

Estudos futuros poderiam avaliar quais foram as políticas públicas implementadas em outros países para diversificar as suas respectivas matrizes elétricas e, assim, atingir as metas definidas no Acordo de Paris, bem como avaliar se essas políticas estão permitindo a esses países melhorarem as suas respectivas eficiências elétricas.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, Brasília:

ANEEL, 2002. 153 p. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf. Acesso em: 10 mai. 2020.

L.; COSTA, J. M.; FILHO, D. O.; MARTINEZ, F. J. R.; FERRAREZ, A. H.; VIANA, L. A. Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Revista Estudos Avançados**. v. 31, n. 89, p. 285-297, 2017.

ARANTEGUI, R. C.; JÄNGER-WALDAU, A. Photovoltaics and wind status in the European Union after the Paris Agreement. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**. v. 81, n. 2, p.2460-2471, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.052>.

ABEEÓLICA. Associação Brasileira de Energia Eólica. **Boletim Anual de Geração Eólica 2020**. **ABEEÓLICA, 2021**. Disponível em: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2021/06/PT_Boletim-Anual-de-Gera%C3%A7%C3%A3o_2020.pdf. Acesso em: 06 nov. 2021.

BRASIL. Lei no 9.478, de 06 de agosto de 1997. **Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências**. Brasília, DF: Presidência da República, [1997]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19478.htm. Acesso em: 30 mai. 2020.

BRASIL. Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências**. Brasília, DF: Presidência da República, [2001]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110295.htm. Acesso em: 06 jun. 2020.

BRASIL. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada. 2016**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL%20iNDC%20portugues%20FINA%20L.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2020.

CEBDS. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Brasília: 2017. **Oportunidades e Desafios das Metas da NDC Brasileira para o Setor Empresarial**. Disponível em: <http://biblioteca.cebds.org/oportunidades-desafios-metasndc>. Acesso em: 22 mai. 2020.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2021**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em: 31 out. 2021.

GALVÃO, J.; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. **Revista Estudos Avançados**. v. 29, n. 84, p. 43-68, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142015000200004>.

GREENPEACE. **[R]evolução energética: perspectivas para uma energia global sustentável**. São Paulo, Greenpeace, 2005. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.abong.org.br/bitstream/handle/11465/1225/111.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 mai. 2020.

GWEC. Global Wind Energy Council. 2021. **Global Wind Report 2020**. Disponível em: <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>. Acesso em: 06 nov. 2021.

HAGE, J. A. A. A construção da política energética no Brasil: Avanços e Impasses em um Estado em Desenvolvimento. **Revista OIKOS**. v. 18, n. 2, p. 66-81, 2019. <http://www.revistaoidos.org/seer/index.php/oikos/article/view/591>. Acesso em: 15 mai. 2020.

IEA. International Energy Agency. **Data and Statistics**. Disponível em <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=WORLD&energy=Electricity&year=2019>. Acesso em: 31 out. 2021.

KALDELLIS, J.K.; KAPSALI, M. Shifiting towards offshore wind energy – Recent activity and future development. **Energy Policy**, v. 53, p. 136-148, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.032>.

LIMA, M.A; MENDES, L.F.R; MOTHE, G.A.; LINHARES, F.G; DE CASTRO M.P.P; DA SILVA, M.G.; DA SILVA, M.G.; SHEL, M.S. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. **Environmental Development**, v. 33, 100504, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100504>.

LOZORNIO, E. J. C.; MORO, R. L.; DE SOUZA, J. F. T.; SIMÕES, A. F. Políticas Públicas para o Fomento da Inserção da Energia Eólica na Composição da Matriz Brasileira de Oferta de Energia Elétrica. In: XIX ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 2017, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2017. Disponível em: https://engemausp.submissao.com.br/19/anais/resumo.php?cod_trabalho=467. Acesso em: 10 jun. 2020.

LUNA, M. A. R.; CUNHA, F. B. F.; MOUSINHO, M. C. A. M.; TORRES, E.A. Solar Photovoltaic Distributed Generation in Brazil: The Case of Resolution 482/2012. **Energia Procedia**. v. 159, p. 484-490, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.12.036>.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris. 2016**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em: 20 mai. 2020.

ORTIZ, G. P.; KAMPEL, M. Potencial de Energia Eólica Offshore na Margem do Brasil. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 2011, Santos. **Anais [...]**. Santos: Universidade de São Paulo, 2017, Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265894758_Potencial_De_Energia_Eolica_Offshore_Na_Margem_Do_Brasil. Acesso em: 28 mai. 2020

TOLMASQUIM, M. T. (coord.) **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 452 p. ISBN 978-85-60025-06-0 Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2020.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. 2016. The Paris Agreement. 2016. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>. Acesso em: 18 mai. 2020.

Capítulo 3

ARTIGO 2

BARREIRAS E RUMOS PARA A EXPANSÃO DOS PARQUES EÓLICOS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO

Mario Joel Ramos Júnior
SENAI CIMATEC Centro Universitário/ Brasil

Paulo Soares Figueiredo
SENAI CIMATEC Centro Universitário/ Brasil

Xisto Lucas Travassos Júnior
Universidade Federal de Santa Catarina/ Brasil

Resumo

A participação da energia eólica na matriz elétrica brasileira tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, apesar da existência de múltiplas barreiras para a implementação de parques eólicos no país. Com base em um modelo de análise das barreiras para a difusão das fontes de energia renovável proposto por Painuly (2001), este estudo tem como objetivo identificar e avaliar as atuais barreiras para a expansão dos parques eólicos no país, sugerindo maneiras de contorná-las. Por meio de uma revisão sistemática da literatura e categorização em sete grupos (falhas do mercado, distorções do mercado, econômica e financeira, institucional, técnica e outras barreiras), 13 barreiras foram identificadas, sendo que quatro possuem maior relevância em potencial: ambiente macroeconômico instável, incerteza das políticas governamentais, restrições do sistema e falta de infraestrutura. Os resultados mostram que, apesar do recente crescimento da energia eólica no Brasil, ações devem ser tomadas para mitigar as barreiras identificadas. Diferentes medidas são discutidas. Pôde-se concluir que as barreiras mais complexas precisam de intervenções do governo federal para serem removidas ou mitigadas, pois o mercado de energia elétrica é altamente regulado e complexo no Brasil.

Palavras Chave: Energia Renovável. Energia Eólica. Expansão de Parques Eólicos.
Barreiras para a Expansão.

BARRIERS AND PERSPECTIVES FOR THE WIND FARM EXPANSION IN THE BRAZILIAN TERRITORY

Abstract

The participation of wind in the Brazilian electric matrix has increased considerably in recent years, despite the existence of multiple barriers to the implementation of wind farms in the country. Based on a barrier analysis model for the diffusion of renewable energy sources proposed by Painuly (2001), this study aims to identify and evaluate the current barriers to the expansion of wind farms in the country, suggesting ways to overcome them. Through a systematic review of the literature and categorization into seven groups (market failures, market distortions, economic and financial, institutional, technical and other barriers), 13 barriers were identified, four of which are more relevant, potentially: unstable macroeconomic environment, uncertainties in government policies, system constraints, such as lack of infrastructure. The results show that, apart from the recent growth of wind energy in Brazil, actions must be taken to mitigate the identified barriers. Based on this study, it can be concluded that the most complex barriers need government intervention to be removed or mitigated, since the electricity market is highly regulated and complex in Brazil.

Keywords: Renewable Energy. Wind Energy. Wind Farm Expansion. Barriers to Expansion.

3.1 INTRODUÇÃO

Após a crise de energia de 2001, o Brasil vem desenvolvendo políticas públicas para aumentar a participação da energia renovável na matriz elétrica nacional. A energia produzida pelos ventos é renovável, não polui, possui baixo impacto ambiental e tem contribuído para que o Brasil cumpra as metas assumidas no Acordo de Paris. Este acordo teve como objetivo reduzir as emissões de gases de efeito estufa no contexto do desenvolvimento sustentável. Nos últimos dois anos, contudo, devido a uma aparente falta de compromisso por parte do governo federal, essas metas têm sido deixadas em segundo plano (PONTES, 2020). A necessidade do compromisso político relacionado à sustentabilidade foi apontada por Martins et al. (2011).

Conforme descrito por Letcher (2017), a energia eólica tem como vantagens o fornecimento de eletricidade sem produção de dióxido de carbono ou partículas na atmosfera;

a segurança nacional, pois reduz a dependência de fontes estrangeiras de combustível que estão sujeitas à variação de preço ou embargos de importação e permite a diversificação da matriz elétrica doméstica.

Da Silva et al. (2018) destacam que o custo “zero” de seu combustível (vento), baixo custo de manutenção e reduzido espaço de tempo necessário para a instalação e operação vêm solidificando o espaço da energia eólica entre as demais fontes de energia. Letcher (2017) aponta que na última década o custo das turbinas eólicas diminuiu significativamente, como resultado do aprimoramento do design e da produção em massa, tornando a produção de energia eólica competitiva em relação a outras fontes de energia. Kaygusuz (2012) informa que os custos da energia eólica *onshore* e *offshore* diminuíram acentuadamente nos últimos anos por meio da implantação em massa e devido ao uso de componentes maiores e controles mais sofisticados nas turbinas eólicas.

Segundo a EPE (2021), a participação da energia renovável na matriz elétrica brasileira aumentou de 74% em 2014 para 83% em 2020. De acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA, 2020) a capacidade eólica instalada aumentou aproximadamente três vezes entre 2014 e 2020, saindo de 5.974 MW para 17.747 MW, o que representa uma taxa média de crescimento de 20% ao ano.

Na atualidade, toda energia eólica do Brasil é proveniente de parques eólicos *onshore*. De acordo com Pereira (2016), o potencial eólico *onshore* nacional, revalidado para torres de 100 metros, é de 880 GW. Os estudos de potencial eólico *offshore* realizados por EPE (2020) indicam que, a 100 metros de altura, o potencial *offshore* do Brasil é de 697 GW em locais com profundidade até 50 metros. O potencial eólico do Brasil (*onshore* e *offshore*) é muito superior à capacidade instalada no país até dezembro de 2019 (17,75 GW). Desta forma, se pode inferir que a geração de energia eólica tem grande potencial de crescimento no Brasil nos próximos anos.

A expansão da energia eólica no mundo tem encontrado alguns obstáculos. Painuly (2001) classificou as barreiras para o crescimento das energias renováveis em sete categorias: falha / imperfeição do mercado; distorções de mercado; econômico e financeiro; institucional; técnica; social, cultural e comportamental; outras barreiras.

O objetivo deste trabalho é avaliar quais são as barreiras para a almejada expansão dos parques eólicos, especificamente no território brasileiro, e apontar maneiras de contorná-las. Para tal, foi realizada uma revisão sistemática da literatura a partir de duas bases de dados: a *Science Direct* e o *Google Scholar*.

Este trabalho está organizado em quatro seções: além desta Introdução, a seção 2 aborda a Metodologia; a seção 3 apresenta os Resultados e a Discussão e na seção 4 são apresentadas as Conclusões.

3.2 METODOLOGIA

O estudo foi realizado através de uma revisão sistemática da literatura para identificação das barreiras mais importantes que afetam a expansão da energia eólica no território brasileiro. Em seguida, essas barreiras foram classificadas em duas partes: Brasil quando se trata do contexto econômico brasileiro (risco Brasil) e setor quando se refere à indústria eólica. Adicionalmente, foi avaliado o nível de complexidade da barreira: baixo quando pode ser removida / diminuída no curto prazo (1 a 3 anos), média (5 – 10 anos) e longa (acima de 10 anos). Em seguida, foram sugeridas medidas que permitam mitigar essas barreiras.

Os critérios utilizados na revisão sistemática da literatura, visando a identificação e seleção dos estudos para compor a análise, foram:

I. Elaboração da pergunta norteadora:

Quadro 1: Pergunta Norteadora

#	Questão Norteadora
1	Quais são as barreiras mais importantes para a expansão dos parques eólicos no território brasileiro?

Fonte: Elaboração própria.

- II. Seleção das plataformas eletrônicas de busca de periódicos acadêmicos: As bases de dados utilizadas foram a *Science Direct* e o *Google Scholar*;
- III. Definição dos descritores e combinações, conforme indicado no Quadro 2;

Quadro 2: Relação de Palavras-chave Utilizadas nas Plataformas de Busca.

#	Palavra Chave
1	Renewable Energy
2	(Renewable energy) and (wind energy)
3	(Renewable energy) and (wind energy) and (onshore or offshore)
4	(Renewable energy) and (wind energy) and (onshore or offshore) and (expansion or increase or growth)
5	(Renewable energy) and (wind energy) and (onshore or offshore) and (expansion or increase or growth) and (challenge or barrier or obstacle or limitation)
6	(Renewable energy) and (wind energy) and (onshore or offshore) and (expansion or increase or growth) and (challenge or barrier or obstacle or limitation) and Brazil

Fonte: Elaboração própria.

- IV. Seleção primária dos artigos encontrados, segundo os critérios apresentados no Quadro 3;

Quadro 3: Critérios para Seleção de Artigos.

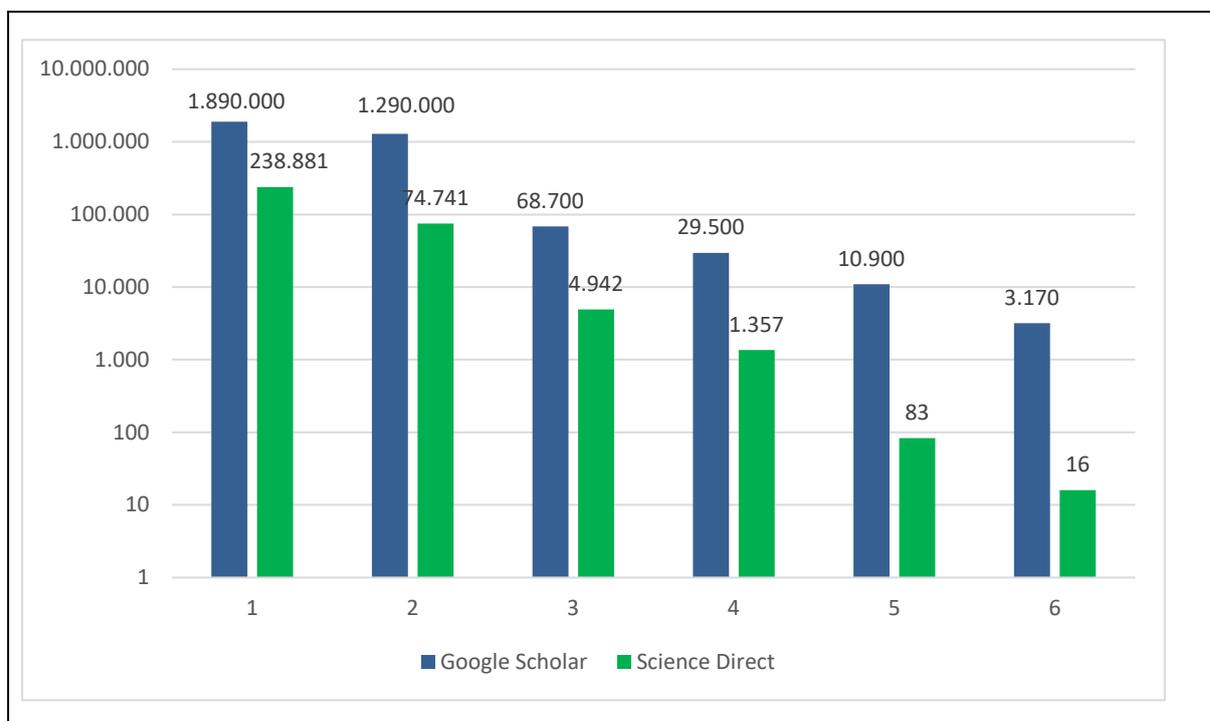
#	Critérios
1	Pertinência dos conteúdos em relação ao tema abordado neste trabalho
2	Trabalhos nos idiomas inglês e português
3	Artigos de pesquisa ou revisão da literatura
4	Excluídas teses e dissertações
5	Ordenamento dos 100 artigos mais relevantes, através do critério de relevância

Fonte: Elaboração própria.

- V. Seleção secundária de trabalhos após leitura integral do artigo;
- VI. Análise quantitativa dos dados coletados;
- VII. Análise qualitativa com identificação dos trabalhos que responderam à pergunta norteadora.

A Figura 1 exibe um gráfico comparativo, em escala logarítmica, da pesquisa de publicações científicas, utilizando a base de dados da *Science Direct* e do *Google Scholar*, assim como o resultado das combinações apresentadas no Quadro 2.

Figura 1: Comparação do número de publicações nas combinações pesquisadas de 1 a 6.



Fonte: *Google Scholar* e *Science Direct* (2021).

Após pesquisa na base de dados e utilização dos critérios listados no Quadro 2, 16 artigos da *Science Direct* e 50 artigos do *Google Scholar* foram pré-selecionados. Depois da leitura do título e do resumo, 8 artigos da *Science Direct* e 10 artigos do *Google Scholar* foram selecionados. Ao final da leitura na íntegra, 8 estudos foram excluídos por não responderem à questão norteadora e 10 trabalhos foram selecionados como pertinentes para compor esta revisão sistemática.

Com base nessa revisão sistemática, foram identificadas as barreiras para a expansão da energia eólica. Na seção de discussão, foram buscadas na literatura e nos exemplos de outros países, soluções para mitigar as barreiras encontradas.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção está organizada em quatro subseções: a subseção 3.3.1 mostra as principais categorias de barreiras para o crescimento das energias renováveis; a subseção 3.3.2 apresenta os resultados da revisão sistemática da literatura sobre barreiras à energia eólica, focada em atender aos objetivos da pesquisa; a subseção 3.3.3 analisa os dados encontrados na literatura e a subseção 3.3.4 sugere medidas para mitigar as barreiras identificadas.

3.3.1 Categorias de Barreiras para a Expansão das Energias Renováveis

O Quadro 4 categoriza as principais barreiras para a expansão de energias renováveis, de acordo com o estudo de Painuly (2001). É razoável a premissa de que essas categorias se aplicam especificamente à energia eólica. Torna-se interessante, portanto, verificar quais barreiras são mais significativas e importantes para a expansão desse tipo de energia no Brasil.

Quadro 4: Barreiras para a Expansão das Energias Renováveis.

Categoria da Barreira	Barreira
Falha / Imperfeição do Mercado	Setor de energia altamente controlado
	Falta de informação e conhecimento
	Acesso restrito a tecnologia
	Falta de competição
	Alto custo de transação
	Falta de infraestrutura do mercado
	Altos requisitos para investimento
Distorções de Mercado	Favorecimento a energia convencional (subsídios) ou falta de subsídios à energia renovável.
	Impostos sobre as energias renováveis
	Não consideração de externalidades
	Barreiras de Comercialização
Econômica e Financeira	Inviável economicamente
	Altas taxas de desconto
	Alto período de retorno (<i>payback</i>)

	Tamanho de mercado pequeno
	Alto custo de capital
	Falta de acesso a capital
	Falta de acesso a crédito aos consumidores
	Alto custo de capital inicial para investidores
	Falta de instituições financeiras para financiar as energias renováveis
Institucional	Falta de instituições / mecanismos para disseminar informação
	Falta de estrutura legal / regulatória
	Problemas na realização de incentivos financeiros
	Ambiente macroeconômico instável
	Falta de envolvimento de <i>stakeholders</i> na tomada de decisão
	Choque de interesses
	Falta de cultura de Pesquisa e Desenvolvimento
	Falta de participação do setor privado
	Falta de instituições profissionais
	Falta de vontade política por parte do governo eleito
Técnica	Falta de normas, códigos e certificações
	Falta de pessoal qualificado / instalações de treinamento
	Falta de instalações de Operação e Manutenção
	Falta de empresários
	Restrições do sistema
Social, Cultural e Comportamental	Produto não confiável
	Falta de aceitação do consumidor do produto
	Falta de aceitação social para algumas energias renováveis.
Outras Barreiras	Incerteza das políticas governamentais, como incentivos
	Meio ambiente
	Percepção de alto risco das energias renováveis
	Falta de infraestrutura

Fonte: Painuly (2001).

3.3.2 Revisão Sistemática da Literatura sobre Barreiras à Energia Elétrica

O Quadro 5 mostra um resumo analítico das mais importantes barreiras identificadas para a expansão dos parques eólicos no Brasil, segundo a revisão sistemática da literatura, utilizando a mencionada classificação de Painuly (2001). Uma análise detalhada destes resultados é feita na subseção seguinte.

Quadro 5: Resumo das Barreiras para Expansão dos Parques Eólicos no Brasil.

Referência	Questão: Quais são as barreiras mais importantes para a expansão dos parques eólicos no território brasileiro?	Barreira
Silva et al. (2010)	Subsídios governamentais e Exclusão dos custos ambientais.	- Favorecimento a Energia Convencional (Subsídios) - Não Consideração de Externalidades
Martins et al. (2011)	Subsídios para consumo de combustíveis fósseis; dificuldades tecnológicas; falta de confiabilidade de informações; altos custos de capital inicial; volatilidade do mercado e aspectos institucionais (riscos de financiamento, pouca credibilidade e estabilidade de regulamentação). Falta de compromisso político pelo governo eleito.	- Favorecimento a Energia Convencional (Subsídios) - Restrições do Sistema - Falta de Infraestrutura - Falta de Informação e Conhecimento - Alto Custo de Capital - Ambiente Macroeconômico Instável - Incerteza das Políticas Governamentais

Da Silva et al. (2013)	Conflitos sociais locais.	- Falta de Aceitação Social
De Jong et al. (2015)	Exclusão das externalidades.	- Não Consideração de Externalidades
De Jong et al. (2016)	Elevado custo inicial e a infraestrutura de transmissão.	- Alto Custo de Capital - Restrições do Sistema - Falta de Infraestrutura
Brannstrom et al. (2017)	Oposição da comunidade local.	- Falta de Aceitação Social
Köberle et al. (2018)	Problemas de interconexão com o sistema elétrico nacional têm gerado atrasos para o início da operação dos parques eólicos (custo)	- Restrições do Sistema - Falta de Infraestrutura - Alto Custo de Transação
Diógenes et al. (2019a)	Infraestrutura de transmissão inadequada, falta de regulações claras para obtenção de licenças, empréstimos financeiros pouco atraentes e ambiente macroeconômico instável.	- Restrições do Sistema - Falta de Infraestrutura - Falta de Estrutura Legal / Regulatória - Ambiente Macroeconômico Instável
Herrera et al. (2019)	Congestionamento das linhas de transmissão.	- Restrições do Sistema - Falta de Infraestrutura
Diógenes et al. (2020)	Ausência de dados recentes, detalhados e precisos sobre o vento; subsídios a fontes de energia convencionais; debilidade da infraestrutura da rede; elevados custos de capital inicial; instrumentos de apoio com designs inadequados e acessos limitados aos parques eólicos.	- Falta de Informação e Conhecimento - Alto Custo de Transação - Favorecimento a energia convencional (subsídios) - Alto Custo de Capital - Restrições do Sistema - Falta de Infraestrutura - Ambiente Macroeconômico Instável - Incerteza das Políticas Governamentais

Fonte: Elaboração própria.

3.3.3 Avaliação dos Dados Encontrados na Literatura

Este estudo identificou um total de 13 ocorrências mais importantes para a expansão dos parques eólicos no território brasileiro. Essas barreiras são: falha / imperfeição do mercado (duas ocorrências); distorções do mercado (duas ocorrências); econômico e financeiro (uma ocorrência); institucional (quatro ocorrências); técnica (uma ocorrência); social, cultural e comportamental (uma ocorrência) e outras barreiras (duas ocorrências). Os subitens desta seção irão apresentar e discutir cada barreira citada.

3.3.3.1 Falha / Imperfeição do mercado

Foram identificados dois tópicos relacionados a falha / imperfeição do mercado: falta de informação e conhecimento e alto custo de transação.

A investigação de Diógenes et al. (2020) menciona a ausência de dados recentes, detalhados e precisos sobre o vento como uma barreira para o crescimento da energia eólica no Brasil. O artigo de Martins et al. (2011) cita o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro de 2001 (DO AMARANTE et al., 2001) e indica que os dados devem ser revisados de acordo com os avanços tecnológicos das turbinas eólicas e destaca, ainda, o desconhecimento em relação ao potencial

eólico *offshore* brasileiro. Os autores enfatizam que, sem informações confiáveis do vento, potenciais investidores tendem a evitar o risco relacionado ao desenvolvimento de projetos eólicos no Brasil.

O primeiro Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (DO AMARANTE et al., 2001) aponta que o potencial eólico brasileiro com o uso de torres de 50 metros de altura é de 143 GW. Esse atlas passou por revisão em 2013. Por outro lado, o estudo de Pereira (2016), identificou que o potencial eólico *onshore* nacional, revalidado para torres de 100 metros, é de 880 GW. Esse crescimento se deve ao desenvolvimento tecnológico dos aerogeradores, bem como instrumentos modernos para a medição do vento. Os estudos do potencial eólico *offshore* realizados por EPE (2020) são mais recentes e indicam que, a 100 metros de altura, o potencial *offshore* do Brasil é de 697 GW em locais com profundidade até 50 metros. É possível observar a existência de um *gap* de 15 anos na atualização do potencial eólico *onshore* brasileiro. Esse mapeamento deve ser atualizado em períodos mais curtos de tempo, pois este é o primeiro passo para atrair a atenção de investidores para esse tipo de empreendimento.

Quanto aos altos custos de transação, Diógenes et al. (2020) citaram o tempo para conexão com a rede de transmissão como um fator limitante para o crescimento da energia eólica no Brasil. Köberle et al. (2018) revelaram que, devido aos problemas de interconexão, atrasos ocorrem para os projetos eólicos no Brasil. Por causa disso, a análise de sensibilidade do estudo realizado por eles assume um parâmetro fixo conservador de três anos para os atrasos em usinas eólicas, totalizando uma média de seis anos para a viabilidade da construção dos parques eólicos. Os altos custos de transação desestimulam o investimento neste tipo de empreendimento no Brasil, pois os investidores acabam buscando outras alternativas (outros países, por exemplo) que lhes permitam antecipar o tempo do retorno sobre o capital investido.

3.3.3.2 *Distorções do Mercado*

Em relação às distorções de mercado, foram identificados dois itens: favorecimento à energia convencional (subsídios) e não consideração de externalidades.

A Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis dos Sistemas Isolados (CCC-Isol) foi criada com o objetivo de subsidiar os custos anuais de geração de energia elétrica em áreas ainda não conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN) (BRASIL, 1973). De acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2019), o atendimento destes Sistemas Isolados baseia-se predominantemente em usinas termelétricas que usam como combustível o óleo diesel e caracterizam-se pelo elevado número de unidades geradoras de pequeno porte e pela grande dificuldade de logística de abastecimento. Em 2020, os subsídios orçados para a CCC-Isol,

aprovados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2020) através da Resolução Homologatória nº 2.664/2019, foram de R\$ 7,5 bilhões.

Martins et al. (2011) mencionaram que a política de subsídios governamentais a combustíveis convencionais em áreas remotas é uma barreira para o crescimento de energias renováveis, como a eólica, no Brasil. Silva et al. (2010) indicaram que as energias renováveis estão em desvantagem com as formas de geração de energia através de combustíveis fósseis por conta dos subsídios governamentais e sugerem que novas políticas devem ser criadas para incentivar o uso da energia renovável para atender comunidades isoladas, principalmente na região norte do Brasil, onde atualmente existem altos níveis de pobreza e subdesenvolvimento social. Diógenes et al. (2020) ressaltaram que o subsídio para geração de energia convencional permite que essa forma de geração de energia domine o mercado por conta de tarifas significativamente mais baixas. Como consequência, as energias renováveis (como a eólica) são incapazes de competir nesse cenário, a menos que essas vantagens sejam eliminadas.

Conforme identificado nesta seção, as energias convencionais vêm se beneficiando de um subsídio garantido pela lei brasileira desde 1973 (aproximadamente 50 anos). Entretanto, vale ressaltar que nesse período houve um avanço significativo na tecnologia para a geração de energia renovável no mundo. Essa é uma barreira que precisa ser removida pelo governo e, assim, permitir que fontes renováveis possam competir nesse mercado. Investimentos devem ser feitos para garantir às áreas remotas uma energia de melhor qualidade e renovável. Um percentual do valor orçado para a CCC-Isol pode ser direcionado a projetos que permitam a aquisição de equipamentos para a geração de energia renovável para a região.

Quanto a não consideração de externalidades, o estudo de De Jong et al. (2015) estima que a barragem de Belo Monte (no norte do Pará) produzirá aproximadamente 1 milhão de toneladas de emissões equivalentes de dióxido de carbono por ano durante os primeiros 10 anos de operação. Em decorrência da construção da barragem de Belo Monte, muitas pessoas tiveram que ser realocadas. Outro ponto importante são os custos causados pelas perdas durante a transmissão de energia da região norte para outras regiões do país. Os autores salientaram ainda que os custos sociais e ambientais terão impactos negativos significativos nos próximos anos e que não foram medidos e nem incluídos nos cálculos de viabilidade econômica.

Silva et al. (2010) assinalaram que uma das barreiras para a disseminação das energias renováveis é o custo elevado quando comparado com as fontes convencionais, mas se a forma de avaliação das fontes de geração de energia levasse em consideração os custos ambientais (externalidades) e as vantagens das energias renováveis, esse cenário mudaria.

De Jong et al. (2015) concluíram que, considerando todas as externalidades (sistema de transmissão, sociais e ambientais) com uma taxa de desconto de 10%, os parques eólicos avaliados seriam significativamente mais competitivos do que as usinas hidrelétricas e têm o custo nivelado de energia (*Levelized Cost of Energy*, do inglês) mais baixo entre todos os estudos de caso analisados. O LCOE da energia eólica é menos da metade da usina a carvão e pelo menos 40% mais barato que a energia nuclear.

Os estudos evidenciam que os cálculos dos custos para novos empreendimentos para geração de energia elétrica no Brasil geralmente não levam em consideração as externalidades sociais, ambientais e os custos de transmissão da energia. Até mesmo as usinas hidrelétricas que possuem um custo unitário de energia menor, devido à geração em escala, possuem um grande impacto ambiental durante a fase de construção, comissionamento e operação do empreendimento.

3.3.3.3 *Econômica e Financeira*

O alto custo de capital inicial para os investidores foi a barreira mais indicada pelos autores em relação ao aspecto econômico e financeiro. Os trabalhos de Martins et al. (2011), De Jong et al. (2016) e Diógenes et al. (2020) apontaram o alto custo de capital inicial como uma barreira para a expansão da energia eólica no Brasil. Martins et al. (2011) indicaram ser uma consequência da distorção do mercado que discrimina as energias renováveis, além do alto custo da energia renovável quando comparado a outras fontes de geração de energia convencional que têm subsídios do governo. Para Diógenes et al. (2020), os desenvolvedores de parques eólicos necessitam de fontes financeiras substanciais para implementação dos parques eólicos e, muitas vezes, esses custos precisam ser financiados pelos próprios proprietários dos parques eólicos, pois não conseguem empréstimos a taxas atrativas.

Neste ponto, vale destacar que os financiamentos através do Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) têm sido essenciais para o crescimento da indústria eólica nacional. Martins et al. (2011) ressaltaram que o Brasil desenvolveu um modelo industrial de alta qualidade e competência para produzir turbinas eólicas de 250W até 3 MW para entregar para o mercado nacional e para exportação. Em 2018, o desembolso para projetos de energia totalizou mais de R\$ 15 bilhões (BNDES, 2019). Maceron Filho e Quinteiros (2016) enfatizam que as linhas de crédito do BNDES são fundamentais para os investimentos relacionados à expansão do segmento eólico no Brasil e que tem nelas o apoio necessário para o desenvolvimento do setor.

A produção em escala dos componentes dos aerogeradores e o financiamento do BNDES para componentes nacionais poderão permitir a redução do custo inicial para a construção dos parques eólicos. Adicionalmente, conforme descrito por Herrera et al. (2019), com a recuperação da economia brasileira (crescimento do PIB), a indústria eólica brasileira deve seguir se expandindo rapidamente, impulsionada por empréstimos financeiros de baixo custo e alta demanda por energia.

3.3.3.4 Institucional

Foram identificadas quatro barreiras para o crescimento da energia eólica do ponto de vista institucional: ambiente macroeconômico instável, falta de estrutura legal regulatória, falta de cultura de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e falta de interesse e/ou compromisso governamental.

O estudo de Diógenes et al. (2019a) relata que as crises que têm afetado o Brasil nos últimos anos vêm impactando na implementação da energia eólica através de quatro aspectos: demanda por novos parques eólicos, disponibilidade de financiamento, preços instáveis das turbinas eólicas e reformas de infraestrutura desatualizada para transmissão de energia. Os autores citam ainda que as crises resultaram na redução da atividade industrial no país, que conseqüentemente reduziu a demanda por eletricidade e a necessidade de desenvolver mais parques eólicos. Herrera et al. (2019) apontam que o Brasil enfrenta uma redução nos leilões no curto prazo, que representa um grande desafio para os investimentos da indústria eólica, mas que haverá novas assincronias quando a economia se recuperar novamente. Diógenes et al. (2020) citam a alta taxa de inflação e a moeda instável como debilidades macroeconômicas do Brasil.

No Brasil, o desenvolvimento da energia eólica se deu a partir da busca por alternativas para a geração após a crise de energia de 2001. A partir de 2015 até os dias atuais, o Brasil vem enfrentando diversas crises econômicas: Crise Fiscal (2015), Crise do Impeachment da Presidente Dilma Rousseff (2016), Crise do Coronavírus (2020), entre outras. As crises têm como consequência a perda de valor do Real (R\$) frente a outras moedas como o Dólar (US\$). Como parte dos insumos e componentes utilizados nos parques eólicos são oriundos do exterior, a indústria eólica nacional é diretamente afetada. Além disso, a maioria dos proprietários dos parques eólicos brasileiros são empresas estrangeiras, portanto uma fração do lucro gerado pelo empreendimento deve retornar às *holdings* para ser distribuído aos acionistas em forma de dividendos. A variação cambial tem como consequência a perda de uma parte expressiva do rendimento do investimento. Por fim, conforme descrito por Diógenes et

al. (2019a), as crises econômicas nacionais reduziram a capacidade do governo de oferecer taxas de juros competitivas para os desenvolvedores de parques eólicos.

Em relação à falta de estrutura legal regulatória, Diógenes et al. (2019a) citam que as regulações para obtenção de licenças de terra, ambiental e arqueológicas representam uma barreira: a regularização de terras é um grande gargalo na seleção dos sites para implementação dos parques eólicos, o processo para emissão de licenças ambientais e o fato da legislação nacional atual classificar os parques eólicos no mais alto nível de impacto arqueológico, por conta da fundação necessária para a instalação das torres.

Os impactos em prazo e custo por conta da obtenção de licenças não são exclusividade do setor eólico no Brasil. O estudo de Pêgo et al. (2018) avaliou empiricamente se o licenciamento interferiu negativamente na execução de seis empreendimentos: dois de geração de energia elétrica, dois de transportes e dois de mobilidade urbana. Com exceção do projeto BR-163, em todos os outros projetos o licenciamento ambiental teve impacto (baixo, médio ou alto) no atraso das obras. As razões foram várias: má qualidade dos estudos técnicos, demora do empreendedor no envio da documentação, demora da emissão das licenças, exigências burocráticas excessivas, sistema trifásico das licenças (municipal, estadual e federal), entre outros motivos. Diógenes et al. (2019a) ressaltam que no decorrer da construção, especialmente no caso da licença ambiental e arqueológica, as fiscalizações responsáveis pelo licenciamento público precisam ser realizadas de forma adequada, evitando interrupções desnecessárias e, conseqüentemente, arriscando afetar a confiança do desenvolvedor eólico.

Quanto à falta de cultura de pesquisa e desenvolvimento, o estudo de Diógenes et al. (2019a) identificou que o país carece de parques tecnológicos projetados especificamente para promover o desenvolvimento de pesquisa e desenvolvimento (*P & D*). Martins et al. (2011) salientaram que o desenvolvimento de tecnologia eólica nacional exige grande investimento inicial tanto para construir infraestrutura, quanto para desenvolver o conhecimento tecnológico essencial e recursos humanos.

Neste ponto, é válido ressaltar que em 22 de agosto de 2018, através do website corporativo, a Petrobras (2018) informou que estava desenvolvendo o primeiro projeto piloto de energia eólica *offshore* no Brasil. A empresa ressaltou que, em linha com a estratégia do Plano de Negócios e Gestão (PNG), instalaria até 2022 a primeira planta eólica do Brasil em alto-mar, no polo de Guamaré, no Rio Grande do Norte. Entretanto, no ano de 2020, a Petrobras comunicou ao IBAMA (órgão responsável pela emissão da licença ambiental) a suspensão do projeto piloto. Essa planta piloto permitiria promover pesquisa e desenvolvimento (*P & D*) para

a indústria eólica *offshore* no país. Essa decisão foi, sem dúvidas, uma grande perda para o avanço da pesquisa e desenvolvimento da indústria eólica nacional.

Quanto à falta de interesse e/ou compromisso governamental na expansão da geração de energia sustentável, muito embora já se tenha mencionado o significativo crescimento na geração de energia eólica nos últimos anos, o governo federal tem demonstrado menos compromisso em atingir as metas do acordo de Paris quanto às emissões de carbono (PONTES, 2020), o que representa uma ameaça em potencial (MARTINS et al., 2011).

3.3.3.5 Técnica

No que se refere à viabilidade técnica, a maioria dos estudos avaliados indicam que as restrições do sistema são a principal barreira para a expansão da energia eólica no país.

Martins et al. (2011) apontaram as dificuldades tecnológicas para conectar o fornecimento intermitente da energia eólica à rede de distribuição. O estudo de De Jong et al. (2016) estimava que até o final de 2020, a energia utilizada no Nordeste poderia ser toda proveniente de fontes renováveis: eólica (55%), hidráulica (40%) e biomassa (5%) reduzindo assim a necessidade de geração de eletricidade a partir de combustíveis fósseis. Além disso, assumindo que a maioria dos parques eólicos contratados estariam comissionados dentro do cronograma, a penetração da energia eólica excederia 50% no subsistema do Nordeste do Brasil e o excedente poderia ser exportado para outros estados. Entretanto, para que isso fosse possível, a infraestrutura de transmissão precisaria ser atualizada para permitir este balanceamento. Köberle et al. (2018) destacaram que os problemas de interconexão com o sistema elétrico nacional têm gerado atrasos para o início da operação dos parques eólicos, mesmo em projetos menores no Brasil.

A pesquisa de Diógenes et al. (2019a) mostrou que a debilidade de infraestrutura para transmissão de energia de alta tensão é uma restrição que afeta diversos países – entre eles o Brasil – para a integração da energia eólica à rede. Este fato inibe a implementação de novos parques eólicos, ou mesmo restringe os existentes, levando a grandes perdas de receita. As simulações feitas por Herrera et al. (2019) permitiram concluir que o crescimento dos parques eólicos deve ser sincronizado com a evolução da infraestrutura de transmissão na região Nordeste do Brasil para evitar congestionamentos significativos e altos preços da eletricidade. Diógenes et al. (2020) ressaltaram que, mesmo que a economia entre em um período de rápida recuperação e os leilões reiniciem com a frequência apropriada, leilões para novos parques eólicos nos estados do Rio Grande do Norte e Bahia não seriam possíveis devido à incapacidade das redes de transmissão de energia.

Bayer et al. (2018) ressaltaram que o Brasil optou por desenvolver sistemas eólicos interligados à rede principal nacional (Sistema Interligado Nacional) com o objetivo de complementar hidrologia (precipitação) com regimes de vento. Entretanto, com base nos estudos avaliados, a alternativa sugerida por Diógenes et al. (2019a) em relação à liberalização do mercado de distribuição de energia (livre comércio), onde o consumidor pode eleger de qual fornecedor deseja comprar a energia permitiria a perda de monopólio das distribuidoras e o desenvolvimento de energias renováveis como a eólica (os consumidores poderiam optar pela compra de energia com selo verde, por exemplo). A energia eólica poderia ainda ser beneficiada pela sua característica modular (os parques eólicos podem ser instalados próximo a centros consumidores), permitindo a redução das perdas e dos custos de transmissão. Baseado nesse contexto, se pode inferir que as políticas públicas que permitam a venda direta da energia gerada através da fonte eólica, sem precisar passar pelo Sistema Interligado Nacional, permitirá a difusão da energia eólica no Brasil.

3.3.3.6 Social, Cultural e Comportamental

A falta de aceitação social foi um fato observado por alguns autores como uma barreira para o crescimento da energia eólica no Brasil. A construção de parques eólicos tem como aspectos positivos a criação de novos postos de trabalho, geração de investimentos em zonas desfavorecidas, benefícios aos donos dos terrenos onde será instalado o parque (arrendamento), entre outros.

Em contraste, conforme descrito por Da Silva et al. (2013), a implantação de parques eólicos pode levar a conflitos locais devido à apropriação indevida de áreas de terra de uso coletivo e a cooptação de entidades governamentais locais. Os autores indicam que a implementação de alguns parques eólicos não é realizada com a participação ativa da comunidade e que conflitos sociais locais podem ocorrer como os que foram observados em Caeté (Bahia), Trairi (Ceará) e Galinhos (Rio Grande do Norte).

O estudo de Brannstrom et al. (2017) foi realizado em duas comunidades no Ceará. Em Xavier, o parque eólico criou bloqueios de estradas que não permitem acesso dos residentes de Xavier ao distrito Amarelas, dificultando o acesso a serviços públicos como transporte para escola, saneamento básico, coleta de lixo e acesso a cuidados de saúde. Os residentes de Xavier vêm sofrendo com o déficit alimentar porque não conseguem acesso a peixes em antigos lagos. Adicionalmente, os residentes reportaram desconforto com o barulho das turbinas e o medo de acidentes com as turbinas. Em Acaraú, os residentes relataram dificuldades de acesso aos manguezais por conta da remoção da vegetação associada ao desenvolvimento do parque

eólico; proibição de acesso a áreas de mangue para a realização de atividades de subsistência como a pesca e as falsas promessas de benefícios econômicos para a região: melhoria da qualidade de vida, empregos e benefícios locais.

Conforme descrito por Brannstrom et al. (2017), a energia eólica deve ser ajustada aos ambientes físicos e humanos para evitar conflitos territoriais com usuários de recursos tradicionais, que criam uma visão altamente negativa da energia eólica. Da Silva et al. (2013) indicaram que os esforços que vêm sendo feitos para promover a aceitação da comunidade têm sido insuficientes. Da Silva et al. (2013) ressaltaram que a associação de benefícios, como aumento da renda ou a criação de empregos locais, pode ajudar a ganhar aceitação e promoção da difusão da tecnologia eólica. Um plano de compensação dos danos causados para a instalação do empreendimento deve ser considerado para minimizar o impacto causado ao meio ambiente e à população local.

3.3.3.7 *Outras Barreiras*

No que se refere a outras barreiras para a expansão da energia eólica em território brasileiro, esse estudo identificou a incerteza das políticas governamentais e a falta de infraestrutura como aspectos relevantes.

Martins et al. (2011) destacaram como uma questão importante para a expansão da energia eólica no país é a promoção de leilões de energia em uma base anual com licitações para capacidade instalada de no mínimo 1GW/ano com prazo mínimo de outorga de 10 anos para incentivar os investimentos nesta área. Diógenes et al. (2019a) assinalaram que, apesar do reconhecimento que o sistema atual de leilão é o principal impulsionador da expansão da energia eólica no país, a incerteza em sua ocorrência influencia negativamente o interesse dos desenvolvedores eólicos em continuar investindo nesta indústria. Os autores apontaram ainda que, com o constante cancelamento dos leilões, a credibilidade do governo com os desenvolvedores de parques eólicos tem diminuído significativamente.

Quanto à falta de infraestrutura, o item 3.3.5 deste estudo mostrou como a deficiência no sistema de transmissão pode representar uma barreira para o crescimento da energia eólica no Brasil. Outro aspecto não menos relevante relacionado à falta de infraestrutura no Brasil se refere à precariedade de algumas rodovias, principalmente na região nordeste do Brasil que detém atualmente a maior quantidade de parques eólicos do país. Diógenes et al. (2019a) salientaram que o principal problema enfrentado na logística das turbinas eólicas é o fato de que as estradas em algumas regiões não são de pista dupla, portanto é necessário solicitar ao departamento público o bloqueio do tráfego: um processo lento e burocrático. Brannstrom

et al. (2017) alertaram ainda que a construção de estradas de acesso para os parques eólicos causou o soterramento de lagos interdunais e que os equipamentos removeram a vegetação de dunas no Ceará.

Conforme demonstrado por Lako et al. (2016), o diâmetro do rotor e a capacidade dos aerogeradores aumentaram consideravelmente nos últimos anos. Desta forma, é importante que as condições das estradas, pontes e túneis do país acompanhem esse desenvolvimento para que não sejam um limitador para o desenvolvimento dos parques eólicos.

3.3.4 MEDIDAS PARA SUPERAR AS BARREIRAS PARA A EXPANSÃO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Nesta seção as barreiras foram classificadas em dois grupos: Brasil (relacionadas ao país) e setor eólico (indústria). Também foi avaliado preliminarmente, com base nos próprios estudos e no julgamento dos autores, o nível de complexidade da barreira, conforme indicado na seção de metodologia. Possíveis maneiras de eliminar ou reduzir essas barreiras são detalhadas no Quadro 6 a seguir.

Quadro 6: Resumo das Principais Barreiras à Expansão da Energia Eólica no Brasil.

Categoria da Barreira	Barreira	Classificação	Complexidade
Falha / Imperfeição do Mercado	Falta de informação e conhecimento	Setor Eólico	Baixa
	Alto custo de transação	Brasil	Alta
Distorções de Mercado	Favorecimento a energia convencional (subsídios)	Brasil	Média
	Não consideração de externalidades	Brasil	Média
Econômica e Financeira	Alto custo de capital	Setor Eólico	Média
Institucional	Falta de estrutura legal / regulatória	Brasil	Alta
	Ambiente macroeconômico instável	Brasil	Alta
	Falta de cultura de Pesquisa e Desenvolvimento	Setor Eólico	Média
	Falta de interesse e/ou compromisso governamental	Brasil	Alta
Técnica	Falta de estrutura legal / regulatória	Brasil	Alta
Social, Cultural e Comportamental	Falta de aceitação social para algumas energias renováveis.	Setor Eólico	Baixa
Outras Barreiras	Incerteza das políticas governamentais	Brasil	Alta
	Falta de infraestrutura	Brasil	Alta

Fonte: Elaboração própria.

Duas barreiras foram classificadas como baixa complexidade. Em relação à falta de informação e conhecimento, esse estudo identificou que houve um *gap* de 15 anos na atualização do Atlas Eólico Brasileiro (DO AMARANTE et al., 2001; PEREIRA 2016). A pesquisa de Diógenes et al. (2019b) sugere que os desenvolvedores de parques eólicos instalem torres anemométricas em vários locais com potencial de vento e, assim, criem um banco de

dados privado com características de vento em regiões com potencial para receber parques eólicos. Por outro lado, a ABEEÓLICA que tem como missão inserir e sustentar a produção de energia eólica como fonte da matriz energética nacional, promovendo a competitividade, a consolidação e a sustentabilidade da indústria de energia eólica, pode ser a responsável em gerir junto aos entes governamentais a atualização dos mapas eólicos dos Estados brasileiros.

Em referência à falta de aceitação social para energia eólica, o estudo de Maleki-Dizaji et al. (2020) mostra como as regiões da Europa têm sido capazes de superar essas barreiras: na região italiana de Abruzzo, por exemplo, foi criado um código de conduta voluntário que estabelece as principais considerações e princípios a serem respeitados para o desenvolvimento de projetos eólicos locais; na ilha da Sardenha (Itália) foi definido que 2% da receita bruta anual para cada quilowatt-hora gerado pelos parques eólicos seria repassado ao município local e investido em projetos sociais definidos pela comunidade; na reserva da biosfera da Letônia, foram realizadas consultas e pesquisas públicas em relação às áreas para implantação de parque eólicos, o que resultou em um planejamento eficaz no qual os valores socioculturais locais foram efetivamente integrados; no município norueguês de *Birkenes*, um desenvolvedor eólico construiu um centro tecnológico que promove conhecimento educacional e aceitação social da energia eólica; em Grande Canária (Espanha), os desenvolvedores e as autoridades locais usaram as instituições educacionais existentes para divulgar e explicar à comunidade a necessidade dos parques eólicos na região, sendo que as escolas receberam uma grande variedade de materiais, como cartazes e tarefas, a fim de permitir que as crianças pesquisassem e se envolvessem ainda mais. Essas medidas, se aplicadas no Brasil, poderão aumentar a aceitação da comunidade local aos empreendimentos eólicos.

Quatro barreiras foram identificadas como de complexidade média. Quanto ao favorecimento à energia convencional (subsídios), Rentschler e Bazilian (2017) mostraram que alguns países – impulsionados principalmente por desequilíbrios fiscais e pela queda do preço internacional do petróleo entre 2014 e 2016 – fizeram progressos significativos na eliminação gradual dos subsídios aos combustíveis (Malásia, Índia, Indonésia, entre outros). Os autores alertaram, entretanto, que devem ser seguidos princípios para projetar reformas eficazes de eliminação dos subsídios. Isto inclui simular o efeito dos preços da energia em pequenas empresas e famílias de baixa renda, pois choques de renda, devido à remoção de subsídios, podem resultar em aumentos significativos das taxas de pobreza se não forem compensados.

No tocante às externalidades, o estudo de De Jong et al. (2015) mostrou que, considerando uma taxa de desconto de 10% de externalidades, a energia eólica se tornaria significativamente mais competitiva que as centrais hidrelétricas no Brasil. Esse ajuste poderia

ser feito pelo governo através de subsídios à energia eólica. O estudo de Kaplan (2015) mostra uma série de países em que os governos têm adotado políticas diferentes para incentivar o investimento e a expansão da energia eólica através de subsídios de capital, concessões ou descontos. Ouyang e Lin (2014) ressaltam que aumentar os subsídios para a energia renovável oferece uma oportunidade para atingir objetivos sociais, incentivar o investimento em energia renovável, estimular o crescimento econômico, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e promover a transição de baixo carbono.

Quanto ao alto custo de capital, a expansão dos parques eólicos permitirá aumentar a fabricação de aerogeradores e, assim, a indústria pode se beneficiar da economia de escala (MARTINS et al., 2011). Os resultados da pesquisa de Wiser et al. (2016) com 163 especialistas da indústria eólica preveem entre 24-30% de redução dos custos de capital até 2030 e 35-41% de redução até 2050, sendo que os principais impulsionadores para a redução dos custos e a expansão dos parques eólicos é a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico na indústria eólica.

Em relação à dificuldade de conseguir crédito para o financiamento dos parques eólicos no Brasil, Diógenes et al. (2019b) citam a opção de se conseguir um empréstimo-ponte através de bancos privados a taxas apropriadas, utilização de recursos próprios da Holding (isentos de taxas de juros) ou buscar crédito através de fundos internacionais que priorizam investimentos em projetos sustentáveis.

Por outro lado, em 05 de junho de 2020, o Governo Federal editou o Decreto nº 10.387 (Brasil, 2020) que dispõe sobre o incentivo ao financiamento de projetos de infraestrutura com benefícios ambientais e sociais. Segundo este decreto, consideram-se projetos que proporcionam benefícios ambientais ou sociais relevantes no setor de energia os projetos baseados em tecnologias renováveis de geração de energia solar, eólica e de resíduos. Montes e Bezzerra (2020) ressaltam que se trata da primeira medida legal concreta e específica no país para promover a emissão de títulos de dívida verdes (*green bonds*) ou de projetos com impacto social via mercado de capitais através de incentivos fiscais. Os autores citam ainda que debêntures incentivadas trazem isenção de imposto de renda sobre os rendimentos pagos para investidores pessoas físicas ou investidores não residentes, como forma a estimular a procura por tais papéis e, indiretamente, propiciar uma fonte de financiamento privado mais barata para a companhia emissora.

Sobre a falta de cultura de pesquisa e desenvolvimento (*P & D*), Ouyang e Lin (2014) informam que investimentos em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia (*P & D*) são propícios para aproveitar a nova rodada de transformação global de energia e competição econômica e tecnológica. Timilsina et al. (2013) indicam que, a solução econômica padrão é

que a sociedade deve subsidiar a geração de energia eólica, atividades de Pesquisa e Desenvolvimento relacionadas e tributar as fontes de geração de combustível fóssil, se desejar um papel maior para o vento na matriz elétrica. De acordo com Dawn et al. (2019), o governo da Índia criou o instituto nacional de energia eólica para promover a energia eólica no país. Este é um instituto autônomo e independente de energia eólica e atividades de Pesquisa e Desenvolvimento, sendo o principal papel encontrar soluções possíveis para todos os tipos de dificuldades e melhorias em todo o espectro do setor de energia eólica. Diógenes et al. (2019b) recomendam estabelecer parcerias com fabricantes estrangeiros para melhorar a adaptação da tecnologia aos ventos locais.

Sete barreiras foram identificadas como de complexidade alta. As barreiras restrições do sistema, alto custo de transação e falta de infraestrutura estão interrelacionadas. A maioria dos estudos da revisão sistemática relataram a dificuldade em interconectar a energia gerada nos parques eólicos ao Sistema Interligado Nacional e sugeriram maior investimento governamental em atualização e construção de sistemas de transmissão de energia mais eficientes (MARTINS et al., 2011; DE JONG et al., 2016; KÖBERLE et al., 2018; DIÓGENES et al., 2019a; HERRERA et al., 2019; DIÓGENES et al., 2020). Adicionalmente, Bayer et al. (2018) ressaltam que os leilões de energia eólica devem considerar também a coordenação com o sistema de transmissão: limitar a demanda do leilão à capacidade específica dos pontos de conexão; não aprovar projetos em locais com alto risco de não serem conectados à rede de transmissão ou distribuição e impor penalidades aos desenvolvedores das linhas de transmissão quando a expansão da rede não for concluída a tempo.

Em referência à falta de estrutura legal / regulatória, é importante enfatizar a importância de desburocratizar os processos de licenças no Brasil, tornando o procedimento mais ágil e simples. De acordo com o levantamento do Banco Mundial (2019), o Brasil ocupa a posição 124 em termos de facilidade de fazer negócios, sendo que no quesito “obtenção de alvará de construção” o país ocupa a posição 170. Conforme descrito por Bayer et al. (2018), o Brasil implementou vários critérios para pré-qualificação das empresas no desenho do leilão de energia eólica. Para garantir a aprovação, os projetos de energia eólica precisam de uma licença ambiental preliminar válida. Esta é a primeira etapa no processo de licenciamento ambiental. Bayer et al. (2018) ressaltam ainda que a licença do projeto é um pré-requisito para solicitação de empréstimo ao BNDES. Os autores destacam também que, apesar do regulador estabelecer prazo de seis meses após o leilão para a emissão da licença do projeto, é comum que haja atraso na emissão, devido a ajustes no projeto, mudança de layout do parque eólico ou caso o desenvolvedor modifique o modelo da turbina eólica em relação ao que foi especificado no

leilão. Com o intuito de otimizar o tempo para emissão das licenças, Diógenes et al. (2019b) sugere a contratação de empresas de consultoria especializadas ou antigos profissionais de agências de licenciamento para conduzir os estudos necessários para a obtenção das licenças.

Quanto ao ambiente macroeconômico instável, Diógenes et al. (2019b) sugerem monitorar a variação da taxa de câmbio e escolher o melhor momento para assinar contrato com os fabricantes estrangeiros de turbinas eólica. Outra opção é que os desenvolvedores de parques eólicos busquem financiamentos indexados ao índice IPCA (Índice Nacional de Preço ao Consumidor) para evitar o deterioro do valor financiado, bem como a perda do poder de compra em relação aos componentes importados.

Em relação às incertezas políticas, Diógenes et al. (2019b) recomendam pressionar o governo, de forma ordenada, para restabelecer leilões numa base regular, bem como para melhorar a infraestrutura de transmissão. Neste ponto, o estudo de Dawn et al. (2019) mostra como a criação de organizações sem fins lucrativos *Indian Wind Power Association* (IWPA) e *Indian Wind Energy Association* (INWEA) têm trabalhado continuamente no sentido de mitigar obstáculos à expansão da energia eólica e na formação de políticas e ambiente regulatório favorável para investimentos no setor eólico, podendo esse modelo ser adotado por outros países emergentes como o Brasil.

Quanto à falta de interesse e/ou compromisso governamental, já se mencionou o relativo distanciamento do governo do compromisso em atender às metas do Acordo de Paris (PONTES, 2020). A eleição de governantes comprometidos com a expansão do uso das energias renováveis é um importante fator que tem o potencial de determinar o sucesso ou insucesso no atingimento dessas metas.

3.4 CONCLUSÕES

Este estudo mostrou que, apesar do crescimento relevante da geração de energia eólica no país após a crise de energia de 2001, existe uma série de barreiras que podem limitar a difusão da energia eólica no Brasil nos próximos anos num possível cenário de crescimento econômico com escassez da fonte hídrica.

Entre as 13 barreiras identificadas, nove estão relacionados ao contexto econômico do Brasil e quatro estão relacionadas ao setor eólico. Desta forma, se observa que políticas públicas devem ser implementadas para atrair investidores locais e internacionais para assumir os riscos oriundos deste tipo de empreendimento no Brasil. A falta de interesse de governos em cumprir as metas do acordo de Paris, derivada da falta de pressão social e da eleição de líderes descomprometidos, é um problema potencialmente importante a ser levado em conta.

A partir da revisão sistemática, as quatro barreiras com alta complexidade e mais críticas para a expansão da energia eólica no âmbito nacional são: ambiente macroeconômico instável, incerteza das políticas governamentais, restrições do sistema e falta de infraestrutura. Com base nesse estudo, se pode concluir que as barreiras mais importantes para a expansão da energia eólica no Brasil precisam de intervenção do governo para serem removidas ou mitigadas, pois o mercado de energia elétrica é altamente regulado e complexo no país. A primeira requer o desenvolvimento de um Estado com moeda forte, estável e menos burocrático. A segunda demanda um planejamento de longo prazo para o setor elétrico que seja blindado a crises e mudanças de governos. A terceira e quarta são intensivas em capital e necessitam de autorizações e investimentos governamentais para atualização e expansão da infraestrutura atual de transmissão.

Entre as medidas identificadas para contornar as barreiras encontradas neste estudo, as mais relevantes são: desenvolvimento de programas sustentáveis para a geração de energia elétrica no longo prazo; o reestabelecimento dos leilões de energia eólica de forma regular e investimentos não somente na diversificação da fonte de geração elétrica, mas também no aperfeiçoamento da infraestrutura de transmissão e distribuição.

Estudos futuros poderiam ser de natureza empírica e ranquearem e analisarem mais profundamente as barreiras aqui identificadas, por meio de entrevistas com *stakeholders* (fabricantes de equipamentos, entidades não governamentais, clientes, empresas que operam e fazem manutenção dos equipamentos, entre outros) e visitas a parques eólicos.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2020. **Informativo ANEEL de Deliberações da Diretoria**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/654778/19224298/Info+-+Nov19+e+Jan20.pdf/1ccbc940-e3c7-5a1f-7313-70ac88252d5c>. Acesso em: 07 fev. 2020.
- ABEEÓLICA. Associação Brasileira de Energia Eólica. **Boletim Anual de Geração Eólica 2019**. 2020. Disponível em <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/06/Boletim-Anual-de-Gera%C3%A7%C3%A3o-2019v.pdf>. Acesso em 22 jun. 2020.
- BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento. 2019. **Relatório Anual Integrado 2018**. 2019. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/relacoes-com-investidores/governanca-corporativa/relatorios-de-governanca/relatorio-anual-integrado/relatorio-anual-2018/>. Acesso em: 23 jun. 2020.
- BANCO MUNDIAL. 2019. **Classificação das Economias**. Disponível em: <https://portugues.doingbusiness.org/pt/rankings>. Acesso em: 21 fev. 2021.

BAYER, B.; BERTHOLD, L.; DE FREITAS, B. M. R. The Brazilian experience with auctions for wind power: An assessment of project delays and potential mitigation measures. **Energy Policy**, v. 122, p. 97-117, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.07.004>.

BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; DE SOUZA MENDES, J.; LOUREIRO, C.; DE ANDRADE MEIRELES, A. J.; DA SILVA, E. V.; DE FREITAS, A. L. R.; DE OLIVEIRA, R. F. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 67, p. 62-71, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.047>.

BRASIL. Lei no 5.899, de 05 de julho de 1973. **Dispõe sobre a aquisição dos serviços de eletricidade da ITAIPU e dá outras providências**. Brasília, DF: Presidência da República, [1973]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/15899.htm. Acesso em: 30 out. 2020.

BRASIL. Decreto no 10.387, de 05 de junho de 20. **Altera o Decreto nº 8.874, de 11 de outubro de 2016, para dispor sobre incentivo ao financiamento de projetos de infraestrutura com benefícios ambientais e sociais**. Brasília, DF: Presidência da República, [2020]. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.387-de-5-de-junho-de-2020-260391759>. Acesso em: 06 mar. 2022.

DA SILVA, N. F.; ROSA, L. P.; FREITAS, M. A. V.; PEREIRA, M. G. Wind energy in Brazil: From the power sector's expansion crisis model to the favorable environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 22, p. 686-697, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.054>.

DA SILVA, S.S.F.; ALVES, A.C.; RAMALHO, A.M.C. Energia Eólica e Complementaridade Energética: Estratégia e Desafio para o Desenvolvimento Sustentável na Região Nordeste do Brasil. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 19, n. 3, p. 53-72, 2018. <http://dx.doi.org/10.18391/req.v19i3.5640>.

DAWN, S.; TIWARI, P. K.; GOSWAMI, A. K.; SINGH, A. K.; PANDA, R. Wind power: Existing status, achievements and government's initiative towards renewable power dominating India. **Energy Strategy Reviews**, v. 23, p. 178-199, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.002>.

DE JONG, P.; KIPERSTOK, A.; TORRES, E. A. Economic and environmental analysis of electricity generation technologies in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 725-739, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.064>.

DE JONG, P.; KIPERSTOK, A.; SÁNCHEZ, A. S.; DARGAVILLE, R.; TORRES, E. A. Integrating large scale wind power into the electricity grid in the Northeast of Brazil. **Energy**, v. 100, p. 401-415, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.026>.

DIÓGENES, J. R. F.; CLARO, J.; RODRIGUES, J. C. Barriers to onshore wind farm implementation in Brazil. **Energy Policy**, v. 128, p. 253-266, 2019a. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.062>.

DIÓGENES, J. R. F.; RODRIGUES, J. C.; DIÓGENES; M. C. F.; CLARO, J. Overcoming barriers to onshore wind farm implementation in Brazil. **Energy Policy**, v. 138, 111165, 2019b. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111165>.

DIÓGENES, J. R. F.; CLARO, J.; RODRIGUES, J. C.; LOUREIRO, M. V. Barriers to onshore wind energy implementation: A systematic review. **Energy Research & Social Science**, v. 60, 101337, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101337>.

DO AMARANTE, O. A. C., ZACK, M. B. E J.; J., DE SÁ, A. L. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: MME, 2001. 45 p. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf. Acesso em 15 jun. 2020.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2021**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em: 31 out. 2021.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Roadmap Eólica Offshore Brasil – Perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima**. 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_versao_R2.pdf. Acesso em: 23 jan. 2021.

MACERON FILHO, O.; QUINTAIROS, P. C. R. Fontes de recursos do BNDES: Um estudo sobre energia eólica. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 12, n. 5, 2016, p. 123-142. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/2783/590>. Acesso em: 30 jan. 2021.

HERRERA, M. M.; DYNERr, I.; COSENZ, F. Assessing the effect of transmission constraints on wind power expansion in northeast Brazil. **Utilities Policy**, v. 59, 100924, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2019.05.010>.

KAPLAN, Y. A. Overview of wind energy in the world and assessment of current wind energy policies in Turkey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 562-568, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.027>.

LAKO, P.; KOYAMA, M.; SIMBOLOTTI, G.; TOSATO, G. **Wind power: Technology brief**. 2016. Disponível em: https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA-ETSAP_Tech_Brief_Wind_Power_E07.pdf. Acesso em: 10 mar. 2021.

KAYGUSUZ, K. Energy for sustainable development: A case of developing countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 2, p. 1116-1126, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.013>.

KÖBERLE, A. C.; GARAFFA, R.; CUNHA, B. S. L.; ROCHEDO, P.; LUCENA, A. F. P.; SKLO, A.; SCHAEFFER, R. Are conventional energy megaprojects competitive? Suboptimal decisions related to cost overruns in Brazil. **Energy Policy**, v. 122, p. 689-700, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.021>.

LETCHER, T. M. *Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines*. Cambridge: Academic Press, 2017. 622 p. ISBN 978-01-28094-51-8.

MALEKI-DIZAJI, P.; DEL BUFALO, N.; DI NUCCI, M. R.; KRUG, M. Overcoming barriers to the community acceptance of wind energy: Lessons learnt from a comparative analysis of best practice cases across Europe. **Sustainability**, v. 12, n. 9, 3562, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12093562>.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, n. 7, p. 4378-4390, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.058>.

MONTES, L.; BEZERRA, L. G. **Decreto no 10.387/20 – Governo Federal edita decreto que incentiva financiamento de projetos de infraestrutura com benefícios ambientais e sociais**. Tauil & Chequer Advogados, 2020. Disponível em: <https://www.tauilchequer.com.br/pt/perspectives-events/publications/2020/06/decreto-n-1038720#:~:text=Em%2005%20de%20junho%20de,sociedade%20e%20ao%20meio%20ambiente>. Acesso em: 06 mar. 2022.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Plano Anual da Operação Energética dos Sistemas Isolados para 2020**. 2019. Disponível em: <http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/DPL-REL-0248-2019%20-%20PEN%20SISOL%202020.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2021.

OUYANG, X.; LIN, B. Impacts of increasing renewable energy subsidies and phasing out fossil fuel subsidies in China. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 37, p. 933-942, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.013>.

PAINULY, J. P. Barriers to renewable energy penetration; a framework for analysis. **Renewable Energy**, vol. 24, n. 1, p. 73-89, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00186-5](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00186-5).

PÊGO, B.; ROMA, J.C.; FERES, J. G.; SCHMIDT, L. O Licenciamento Ambiental como Condicionante à Execução de Obras de Infraestrutura. In: GOMIDE, A.A.; PERREIRA, A. K. (org.). **Governança da Política de Infraestrutura: condicionantes institucionais ao investimento**. Rio de Janeiro: Ipea, 2018, p. 319-348.

PEREIRA, E.B. **Segurança Energética – Perspectivas no Enfrentamento às Mudanças Climáticas Globais**, In: Conferência Internacional do INCT para Mudanças Climáticas, São Paulo: 2016. Disponível em: <https://fapesp.br/eventos/2016/09/inct/ENIO.pdf>. Acesso em 10 fev. 2021.

PETROBRAS. **Fatos e Dados**. 2018. Disponível em: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/estamos-desenvolvendo-o-primeiro-projeto-piloto-de-energia-eolica-offshore-do-brasil.htm>. Acesso em: 20 fev. 2021.

PONTES, N. **Ex-potência climática, Brasil se afasta cada vez mais de metas do Acordo de Paris.** Deutsche Welle, 2020. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/ex-pot%C3%Aancia-clim%C3%A1tica-brasil-se-afasta-cada-vez-mais-de-metas-do-acordo-de-paris/a-55910741>. Acesso em: 15 mar. 2021.

RENTSCHLER, J.; BAZILIAN, M. Reforming fossil fuel subsidies: drivers, barriers and the state of progress. **Climate Policy**, vol. 17, n. 7, p. 891-914, 2017. <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1169393>.

SILVA, S. B.; DE OLIVEIRA, M. A. G.; SEVERINO, M. M. Economic evaluation and optimization of a photovoltaic–fuel cell–batteries hybrid system for use in the Brazilian Amazon. **Energy Policy**, v. 38, n. 11, p. 6713-6723, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.041>.

TIMILSINA, G. R.; VAN KOOTEN, G. C.; NARBEL, P. A. Global wind power development: Economics and policies. **Energy Policy**, v. 61, p. 642-652, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.062>.

WISER, R.; JENNI, K.; SEEL, J.; BAKER, E.; HAND, M.; LANTZ, E.; SMITH, A. Expert elicitation survey on future wind energy costs. **Nature Energy**, v. 1, 16135, 2016. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2016.135>.

Capítulo 4

ARTIGO 3

ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL: UM ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Mario Joel Ramos Júnior
SENAI CIMATEC Centro Universitário/ Brasil

Paulo Soares Figueiredo
SENAI CIMATEC Centro Universitário/ Brasil

Xisto Lucas Travassos Júnior
Universidade Federal de Santa Catarina/ Brasil

Resumo

A maior parte da energia elétrica utilizada no Brasil ainda é proveniente de usinas hidrelétricas. Em 2021, o país atingiu um cenário hidrológico crítico devido às baixas vazões nos reservatórios. Muito embora a capacidade eólica instalada no Brasil tenha se expandido consideravelmente nos últimos anos, a geração eólica no país está limitada ao modelo *onshore*. Este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica de um novo parque eólico a ser instalado no Brasil, comparando diversas condições e tecnologias possíveis. Com base na revisão da literatura, foram identificados diferentes modelos de rotas tecnológicas que caracterizam os parques eólicos ao redor do mundo e, através da avaliação quali-quantitativa de especialistas, foi definida a melhor rota tecnológica em termos de relação custo-benefício. Os resultados mostram que, nas condições atuais, a rota *onshore* com maior potência unitária do aerogerador e torre cônica de aço se mostrou como a preferida. Entretanto, ficou demonstrado que, no médio prazo, a energia eólica *offshore* deverá se tornar uma realidade no país, desde que haja a definição de regulações e modelos de licenciamento favoráveis, estabilidade política e econômica e políticas públicas de longo prazo em termos de incentivos e subsídios para atrair investimentos para esse tipo de geração de energia.

Palavras Chave: Energia Renovável. Energia Eólica. Parque Eólico. Estudo de Viabilidade. Brasil.

HOW WIND ENERGY IS CONTRIBUTING TO THE ACHIEVEMENT OF BRAZIL COMMITMENTS TO THE ELECTRICAL SECTOR IN THE PARIS AGREEMENT

Abstract

Most of the electricity that is generated in Brazil still comes from hydroelectric plants. In 2021, the country reached a critical hydrological scenario due to low capacities in the reservoirs. Although the installed wind power capacity in Brazil has expanded considerably in recent years, wind generation in the country is limited to the onshore model. This study aims to evaluate the technical and economic feasibility of a new wind farm to be installed in Brazil, comparing several possible conditions and technologies. Based on the literature review, different models of technology routes that characterize wind farms around the world were identified and, through qualitative expert evaluation, the best technology route in terms of cost-effectiveness was defined. The results show that, under current conditions, the onshore route with higher unit power of the wind turbine and steel tubular tower proved to be the preferred one. However, it was shown that in the medium term, offshore wind energy shall become a reality in the country, as long as favorable regulations and licensing models, political and economic stability, and long-term public policies in terms of incentives and subsidies to attract investments for this type of energy generation are present.

Keywords: Renewable Energy. Wind Energy. Wind Plant. Feasibility Study. Brazil.

4.1 INTRODUÇÃO

A matriz elétrica mundial está constituída por 74% de energia proveniente de fontes não renováveis e 26% de renováveis (IEA, 2021). Por outro lado, a matriz elétrica brasileira é formada por 17% de fonte não renovável e 83% de renovável (ANEEL, 2021). Desta forma, se pode inferir que a matriz elétrica brasileira é mais sustentável do que a média mundial. A maior parte da energia elétrica utilizada no Brasil ainda é proveniente de usinas hidrelétricas. Em 2020, a oferta hidráulica foi de 421.000 GWh, representando 65,2% da oferta elétrica nacional total (EPE, 2021).

Conforme descrito por MME (2021), o país atravessou em 2021 um cenário hidrológico crítico com as menores vazões desde 1930 quando teve início o registro dos dados. Desde setembro de 2020, o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) tem realizado

reuniões mensais ordinárias e reuniões técnicas semanais com o objetivo de acompanhar as condições de suprimento de energia elétrica e coordenar as ações entre os principais órgãos que atuam no planejamento, operação, regulação e comercialização de energia. Rosa e Lomardo (2004) e Hunt et. al (2018) ressaltam que o Brasil já passou por diversas crises elétricas na sua história, sendo uma das mais expressivas a de 2001.

É evidente a atual preocupação governamental com uma nova crise elétrica em um cenário de potencial crescimento econômico e baixas energias naturais afluentes. O governo federal, a partir da Medida Provisória no 1.055/2021 (BRASIL, 2021), instituiu a Câmara de Regras Excepcionais para Gestão Hidro Energética com o objetivo de estabelecer medidas emergenciais para a otimização do uso dos recursos hidroenergéticos e para o enfrentamento da atual situação de escassez hídrica, a fim de garantir a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético no país. Além disto, lançou uma cartilha sobre a situação hídrica e o impacto na geração de energia elétrica e propaganda nas principais mídias do país (MME, 2021). Nesse cenário, a geração de energia eólica ganha importância e se torna oportuna (CLIMAINFO, 2021; RODRIGUES, 2021; BATISTA, 2021).

A capacidade eólica instalada no Brasil tem se expandido consideravelmente nos últimos anos. De acordo com ABEEÓLICA (2021), essa capacidade saltou de 5.969 MW em 2014 para 17.750 MW em 2020, o que representa uma taxa média de crescimento de 20% ao ano. ABEEÓLICA (2021) indica ainda que 86,7% de toda a energia eólica gerada no Brasil em 2020 foi proveniente da região Nordeste, com destaque para os estados da Bahia, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí.

Em abril de 2021, o Ceará contava com 94 parques eólicos *onshore* em operação, uma potência outorgada total de 2,39 GW e 9 parques com construção não iniciada e com previsão de adicionar 0,24 GW de potência ao sistema ANEEL (2021).

O atlas eólico do Ceará, lançado em 2019 (ADECE, 2019), indica que o potencial de energia eólica *onshore* no estado é estimado em 42 GW para ventos maiores que 7,0 m/s a 100 m de altura, valor este muito superior à capacidade instalada até abril de 2021 (2,39 GW). Para as mesmas condições de vento e altura, a capacidade instalável *offshore*, inexistente no estado até o momento, é de 117 GW. Desta forma, se pode deduzir que a indústria eólica está em fase inicial de crescimento no estado cearense e com grandes oportunidades de expansão para os próximos anos.

Por conta da possibilidade de uma nova crise de energia nos próximos meses e da necessidade da diversificação das fontes de geração de energia elétrica do país para que este fique menos suscetível a crises no setor elétrico, a perspectiva é que políticas públicas e

investimentos sejam realizados para aumentar a capacidade instalada nacional a partir de fontes alternativas de geração de energia. Em virtude de ser uma fonte renovável e abundante, da qualidade dos ventos no Nordeste, do nível de desenvolvimento da indústria eólica nacional e da *expertise* acumulada da mão de obra local, a fonte eólica deve seguir se expandindo consideravelmente nos próximos anos na região, especialmente no estado cearense (ADECE, 2019).

O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica, econômica e financeira de um parque eólico a ser instalado no Brasil. Serão verificadas distintas rotas tecnológicas que caracterizam os parques eólicos ao redor do mundo, com o intuito de identificar qual é a melhor opção, especialmente em termos de relação custo-benefício, para o empreendimento. Para estes fins, será feita uma análise abrangente que incluirá, além de uma análise quali-quantitativa, uma avaliação qualitativa adicional feita por especialistas que trabalham em grandes empreendimentos de engenharia no Brasil.

Este trabalho está organizado em cinco seções: além desta Introdução, a seção 2 mostra a Revisão da Literatura, a seção 3 descreve a Metodologia, a seção 4 aborda os Resultados e a Discussão e na seção 5 são apresentadas as Conclusões.

4.2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção está organizada em duas subseções: a subseção 2.1 mostra o cenário atual da energia eólica *onshore* e *offshore* no Brasil e no mundo. A subseção 2.2 apresenta critérios para avaliação da viabilidade técnica e econômica dos parques eólicos.

4.2.1 Energia Eólica *Onshore* e *Offshore*

Com o passar do tempo, o desenvolvimento tecnológico na fabricação, distribuição e instalação resultaram em melhoria de desempenho e redução de custos das tecnologias de energia renovável (OLATAYO, 2020). Apesar da existência de outras fontes de energia renovável, a geração de energia através do vento tem uma vantagem comparativa por conta da atual maturidade tecnológica, boa infraestrutura e competitividade relativa de custos (HERBERT et.al, 2007).

A energia eólica pode ser gerada em parques eólicos *onshore* (em terra) ou *offshore* (no mar). A energia eólica *onshore* é a mais antiga e mais comum, devido à sua proximidade com a população em terra. No entanto, a energia eólica *offshore* vem sendo desenvolvida nos últimos anos e tem provado ser um ativo promissor para a produção de energia renovável, já

que no mar existe a possibilidade de haver áreas mais amplas e com velocidades de vento mais altas (BILGILI et al., 2011).

GWEC (2021) indica que a capacidade eólica *onshore* instalada no mundo aumentou mais de três vezes e meia entre 2010 e 2020, saindo de 195 GW para 707 GW. Toda a energia eólica gerada no Brasil, até a presente data, é proveniente de parques eólicos *onshore*. No ano de 2020, o Brasil contava com uma capacidade total de 17,75 GW oriunda desta fonte, ocupando a sétima posição no ranking mundial de capacidade eólica acumulada (ABEEÓLICA, 2021).

Para Musial (2007), a energia eólica *onshore* vem passando por uma redução significativa de custo nas últimas décadas, inclusive tornando-se competitiva com combustíveis fósseis e energia nuclear em muitas áreas dos Estados Unidos. A tecnologia vem melhorando rapidamente e os custos de geração de energia eólica em instalações *onshore* vem diminuindo consideravelmente (LAUDARI et. al, 2015). Olhando para o futuro e usando o método da "curva de experiência", prevê-se que os custos de produção de energia continuarão a diminuir: com uma duplicação da capacidade total instalada, o custo de produção por kWh em novas turbinas eólicas cairá entre 9% e 17% (NGALA et. al, 2007). Quanto à energia eólica *offshore*, Musial (2007) esclarece que Pesquisas e Desenvolvidimentos significativos ainda são necessários para reduzir os custos de capital e operacional e aumentar o desempenho das turbinas antes de serem alcançados níveis significativos de penetração no mercado.

A capacidade eólica *offshore* instalada no mundo em 2020 foi de 35,29 GW, sendo 70,37% proveniente de parques eólicos instalados na Europa. A China aumentou a potência instalada *offshore* em 3,06 GW em 2020, representando um aumento significativo de 44,12% na matriz elétrica chinesa em relação ao ano de 2019 (GWEC, 2021).

O Brasil tem uma zona econômica exclusiva (ZEE) de 3.646.53 Km² (SAU, 2021) e uma capacidade instalável *offshore* de 697 GW (EPE, 2020). O Nordeste é a região do Brasil com o maior potencial eólico *offshore* com velocidade de vento acima de 7m/s, a 100 metros de altura e em locais com profundidade de até 50 metros: 356 GW (51,08%), seguido do Norte com 197 GW (28,26%), Sudeste 97 GW (13,92%) e Sul 47 GW (6,74%). Considerando o tamanho do oceano, o uso da energia eólica *offshore* pode ser estendido para várias áreas que ainda são pouco exploradas e pode oferecer um maior potencial de crescimento em relação a outras fontes de energia renovável (JUNQUEIRA et. al, 2021).

O Anexo "A" mostra os 12 empreendimentos *offshore* que estão em fase de licenciamento ambiental no Brasil (IBAMA, 2021). Caso seja autorizada a construção desses parques eólicos; 17,68 GW serão adicionados à matriz elétrica brasileira a partir da fonte eólica

offshore, dobrando a capacidade eólica instalada em comparação com o ano de 2020 (17,75 GW). No caso do Ceará, o potencial *offshore* é beneficiado pela reduzida profundidade do mar territorial e pelos valores elevados de velocidade do vento ao longo da costa. Essas características colocam o Ceará em posição de destaque no cenário mundial (ADECE, 2019).

Uma típica turbina eólica *offshore* de águas rasas hoje é essencialmente uma versão marinha de uma turbina terrestre padrão, com alguns ajustes para suportar as condições do oceano. Essas modificações incluem reforços estruturais da torre para lidar com o movimento das ondas, sistemas de proteção contra corrosão na interface com o mar e revestimentos marinhos de alta qualidade na maioria dos componentes exteriores. Para a segurança da navegação marítima, as turbinas devem ser equipadas com luzes de advertência e sinais de nevoeiro. Para minimizar o custo de manutenção, as turbinas eólicas *offshore* podem ser equipadas com sistemas de monitoramento remoto, lubrificação automática dos rolamentos, guindastes de serviço a bordo e sistemas de regulação da temperatura do óleo (MUSIAL, 2007). Junqueira et. al (2021) salientam que, em parques eólicos *offshore*, o custo das turbinas eólicas, torres e fundações é muito superior ao empreendimento *onshore*, o que pode ser explicado, principalmente, devido aos altos custos das operações marítimas.

ADECE (2019) destaca que, quando instalados no mar, os projetos eólicos apresentam menos restrições referentes ao uso do solo, a obstáculos, ao transporte dos aerogeradores ou ao impacto visual e sonoro, bem como são expostos a ventos de maior velocidade e uniformidade, devido à baixa rugosidade da superfície oceânica. Entretanto, Menéndez et. al (2011) ressaltam que é um desafio estudar os ventos no ambiente atmosférico marinho, pelo fato de que a coleta do conjunto de dados requer resolução espacial e temporal. Os autores destacam ainda a importância de verificar a variabilidade sazonal e interanual no local onde o parque eólico será implantado. A análise do potencial da energia eólica é importante para os investidores e tomadores de decisão nos setores público e privado (SAMU et.al 2019).

Junqueira et al. (2021) ressaltam que os impactos ambientais associados às tecnologias para a produção deste tipo de energia são mais baixos para parques eólicos *offshore* do que para os parques eólicos *onshore*. No que diz respeito aos impactos visuais e acústicos, as turbinas eólicas *offshore* são menos invasivas do que as turbinas *onshore*, pois seu tamanho aparente e ruído podem ser atenuados pela distância à terra. Assim, se permite um maior aproveitamento dos recursos eólicos, com a utilização de equipamentos maiores e com maiores velocidades de rotação, possibilitando o uso de geometrias mais eficientes. De acordo com Musial (2007), futuros projetos de turbinas *offshore* podem diminuir custos, reduzindo o peso

da turbina e da torre. Alguns desses projetos foram rejeitados por causa de preocupações com as emissões acústicas ou estética. Por exemplo, aumentar a velocidade na ponta do eixo, que normalmente é restringida em cerca de 75 m/s, pode resultar em nacele com peso significativamente mais baixo porque isso resultaria em menor torque de entrada e relações de engrenagem inferiores e, portanto, eixos e caixas de engrenagens menores. Enquanto a biologia marinha pode ser afetada pelas estruturas colocadas no mar, existe também o risco de colisão de pássaros quando o empreendimento é realizado em terra (*onshore*).

Para empreendimentos eólicos *onshore*, os principais tipos de fundação utilizados são fundação direta ou indireta (quando se requer a colocação de estacas através da utilização de equipamentos especiais – “bate estacas”). A seleção dependerá das características do solo onde será instalado o parque eólico. Quanto às instalações *offshore*, os principais aspectos para a seleção de um tipo de fundação incluem a profundidade da água, as condições do solo marinho, as características da turbina, as massas do rotor e da nacele, a velocidade do rotor, a experiência e a capacidade da cadeia de suprimentos (tanto na fabricação quanto na instalação das fundações) (IRENA, 2016). Para esse estudo, os tipos de fundação que serão avaliados são: direta ou indireta (*onshore*) e monoestaca, jaqueta ou gravidade (*offshore*) (EPE, 2020; MUSIAL, 2007).

A maior parte dos aerogeradores utilizados nos parques eólicos ao redor do mundo são de eixo horizontal. Entretanto, estudos indicam que turbinas eólicas de eixo vertical podem se mostrar vantajosas em relação às de eixo horizontal, sendo que algumas características do setor *offshore* oferecem oportunidades para este tipo de turbina (Sutherland et al., 2012). Os custos de remoção de componentes em parques *offshore* é muito maior do que em parques *onshore*. Nas turbinas de eixo vertical os principais componentes ficam localizados próximos ao nível da água, minimizando a necessidade de guindastes de grande porte e trabalhos em altura, portanto há redução nos custos de instalação, manutenção e serviços, além de aumento da segurança (EPE, 2020).

As torres são as estruturas responsáveis pela sustentação e posicionamento do conjunto rotor-nacele a uma altura conveniente ao seu funcionamento (ABDI, 2014). As torres podem ser do tipo cônica ou treliçada e construídas a partir de diferentes materiais (Custódio, 2013). As torres cônicas podem ser de aço laminado ou concreto protendido e as torres treliçadas utilizam aço galvanizado. Nas torres (cônicas) híbridas, a parte de baixo da torre (cerca de 60 metros) é construída em concreto e a parte superior é feita em aço. A definição do tipo de torre/material depende de fatores como custo, altura do aerogerador, facilidade de transporte, montagem e manutenção. De maneira geral, pode-se dizer que as torres de aço

cônicas são mais utilizadas em alturas menores, na faixa de 80 a 100 metros, enquanto que as torres de concreto, híbridas ou as treliçadas são mais empregadas em alturas maiores, acima de 100 metros. As torres treliçadas são mais comumente empregadas em situações que requerem uma logística simplificada, como instalações em locais de difícil acesso (ABDI, 2014).

4.2.2 Viabilidade Técnica e Econômica de Empreendimentos Eólicos

A vida útil de um parque eólico, para efeitos de estudo de viabilidade técnica e econômica, é de 20 anos (HÜBLER et. al, 2020; SAMU et.al 2019; EFFIOM et.al, 2016). A regra de ouro de Tom Gray considera que são necessários 60 acres de área por megawatt para parques eólicos em terra (AWEORG, 2021). Para efeitos de avaliação da viabilidade do parque eólico a ser construído no Estado do Ceará, esses valores serão considerados tanto admitindo o empreendimento realizado *onshore* quanto *offshore*.

Do ponto de vista técnico, Bailey et.al (1997) demonstrou que, para classes de vento superior a 3 (velocidade de vento maior que 7 m/s) e altura a partir de 50 metros, as condições ambientais são consideradas favoráveis para a maioria das aplicações das turbinas eólicas. Em consonância com o informado anteriormente, o Atlas Eólico do Ceará mostra o potencial eólico do estado somente para velocidades de vento acima de 7 m/s (ADECE, 2019). Conforme descrito por Li et al. (2012), a velocidade do vento tende a aumentar em alturas superiores como consequência da diminuição de obstáculos (edifícios e vegetação). Além disso, como a eficiência e a performance das novas turbinas eólicas estão aumentando continuamente, a eleição de um local com boa qualidade de vento se torna essencial (WALTERS et. al, 2011).

O estudo da distribuição geográfica das velocidades do vento, parâmetros característicos do vento, topografia e medição da velocidade do vento são essenciais na avaliação de recursos eólicos para a aplicação bem-sucedida de turbinas eólicas (HERBERT et. al, 2007). Bortolini et. al (2014) identificaram três características cruciais que afetam a qualidade do vento: a velocidade geral do vento, a consistência da velocidade do vento e a consistência na direção da velocidade do vento. Herbert et. al (2007) ressaltam que o potencial econômico depende de fatores como velocidade média do vento, intensidades de turbulência e do custo da turbina eólica e dos sistemas.

A disponibilidade e qualidade da rede de distribuição, bem como a conexão ao Sistema Integrado Nacional (SIN) é um ponto técnico que precisa ser considerado durante o estudo de viabilidade de um parque eólico. Venkatesh (2002) mostrou que a má qualidade da rede de distribuição afeta o desempenho do aerogerador, criando problemas de qualidade de energia. Devido a isso, a eficiência operacional do parque eólico fica reduzida e também resulta

em má qualidade da energia na rede, aumentando as perdas para as concessionárias e os consumidores. Outros estudos destacaram que os problemas de interconexão com o sistema elétrico nacional têm gerado atrasos significativos para o início da operação dos parques eólicos no Brasil (MARTINS et al. 2011; KÖBERLE et al. 2018).

O Brasil, através de incentivos do BNDES, vem desenvolvendo uma indústria eólica nacional competitiva. No Ceará, por exemplo, estão localizadas duas fábricas de pás eólicas (AERIS e WOB BEN), duas de aerogeradores (VESTAS e WOB BEN), duas de torres de concreto (CTZ Eolic Tower e CASSOL) e uma de torre de aço (Nordeste Torres do Brasil) que fornecem produtos e serviços para o mercado nacional e internacional (ABDI, 2017). Muitos fabricantes de componentes eólicos optaram em construir suas instalações no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP). De acordo com CIPP (2020), no decorrer do ano de 2019, houve um aumento significativo na movimentação de pás eólicas pelo Terminal Portuário do Pecém, onde foram movimentadas três vezes mais pás eólicas (2036) do que no ano de 2018 quando foram movimentadas 683 pás eólicas. No terminal portuário do Pecém são embarcadas pás que medem entre 45 e 62 metros de extensão em navios com capacidade de carregar até 90 pás por viagem. Os destinos são outros estados brasileiros, Estados Unidos e Europa. O desenvolvimento industrial e tecnológico dos produtos, processos e da mão de obra local têm permitido ao país não somente reduzir a necessidade de importação de bens e serviços eólicos do estrangeiro, mas também a se tornar um especialista neste ramo industrial e exportar esta tecnologia para outros países.

Do ponto de vista econômico, para maximizar o retorno aos investidores, a localização do parque eólico deve considerar uma região que minimize os conflitos de interesse com outros *stakeholders* (MEIRELLES et.al, 2013; VIANA et.al, 2016; BRANNSTROM et.al, 2017) e que permita otimizar os custos descritos por Effiom et. al (2016): CAPEX (Pré-desenvolvimento & Consentimento, Compras & Aquisição, Instalação & Comissionamento), OPEX (Operação e Manutenção) e Descomissionamento e Disposição Final.

O custo médio global ponderado instalado de projetos eólicos instalados *onshore* caiu em 74% entre 1983 e 2020, de USD 5.241 / kW a USD 1.355 / kW, com base em dados do IRENA *Renewable Cost Database*. Na última década, a redução foi de 31% entre 2010 e 2020, de US \$ 1.975 / kW para US \$ 1.355 / kW (IRENA, 2020). Por outro lado, o custo médio global ponderado instalado de projetos eólicos instalados *offshore* aumentou de cerca de USD 2.592 / kW (quilowatts) em 2000 para mais de USD 5.500 / kW em 2008 e saltou para valores em torno de USD 5.000 / kW para o período de 2008 a 2015, conforme os projetos se distanciaram da costa para águas mais distantes da costa. O custo médio global ponderado

instalado começou a diminuir apenas após 2015, caindo de forma relativamente rápida para US \$ 3.185 / kW em 2020 (IRENA, 2020). Neste ponto, é válido destacar que o desenvolvimento tecnológico tem permitido a energia eólica realizar projetos mais robustos, em condições desafiadoras e que estão se tornando cada vez mais competitivos em relação às outras fontes de geração de energia.

Kaldellis e Gavras (2000), ao realizarem um estudo de viabilidade econômica de parques eólicos na Grécia, concluíram que três categorias podem impactar o *payback* de um empreendimento eólico. Na primeira categoria avaliada, o aumento do fator de capacidade e do preço da eletricidade afetam o período de retorno do investimento de forma positiva, uma vez que um aumento moderado de seu valor leva a uma diminuição importante do *payback*. Na segunda categoria o custo do investimento inicial, o preço *ex-works* dos equipamentos necessários e o custo de operação e manutenção da instalação influenciam a viabilidade econômica do parque eólico de forma negativa, uma vez que o aumento moderado destes parâmetros impõe um aumento notável no período de *payback* do projeto. Por último, a terceira categoria inclui a taxa de inflação e a potência nominal dos aerogeradores. Foi concluído que esses parâmetros influenciam levemente o *payback*.

Neste ponto, é válido destacar que a Grécia pertence à União Europeia desde 1981 e que o país apresentou uma taxa média de inflação de 1,50% nos últimos 20 anos (Inflatio.eu, 2021). Em comparação, a taxa de inflação variou de forma significativa no Brasil no mesmo período avaliado, apresentando uma média de 6,18% e havendo anos com inflação de dois dígitos (Inflation.eu, 2021). Desta forma, pode-se inferir que, caso o estudo de Kaldellis e Gavras (2000) tivesse sido realizado considerando o cenário brasileiro, a influência da taxa de inflação provavelmente apresentaria importância e impacto diferentes em relação ao *payback* dos projetos.

A aplicação de pequenas e médias turbinas eólicas como uma fonte alternativa e confiável de eletricidade nos países em desenvolvimento tem sido objeto de estudo de diferentes autores, principalmente para atender zonas rurais que não tem acesso à rede de transmissão (AYODELE et al. 2014; OLATAYO et al. 2020; BORTOLINI et al. 2014). Os autores sugerem que incentivos financeiros governamentais sejam oferecidos aos consumidores para aumentar a demanda e impulsionar o desenvolvimento da tecnologia (subsídios de capital). Li et. al (2012) concluíram que o apoio do governo provou ser extremamente importante na inserção de pequenas turbinas eólicas para uso doméstico na Irlanda. Musial (2007) destaca que inovações adicionais são necessárias para tornar a energia eólica competitiva em áreas remotas – longe dos grandes centros consumidores. Esta poderia ser uma solução para suprir a necessidade de

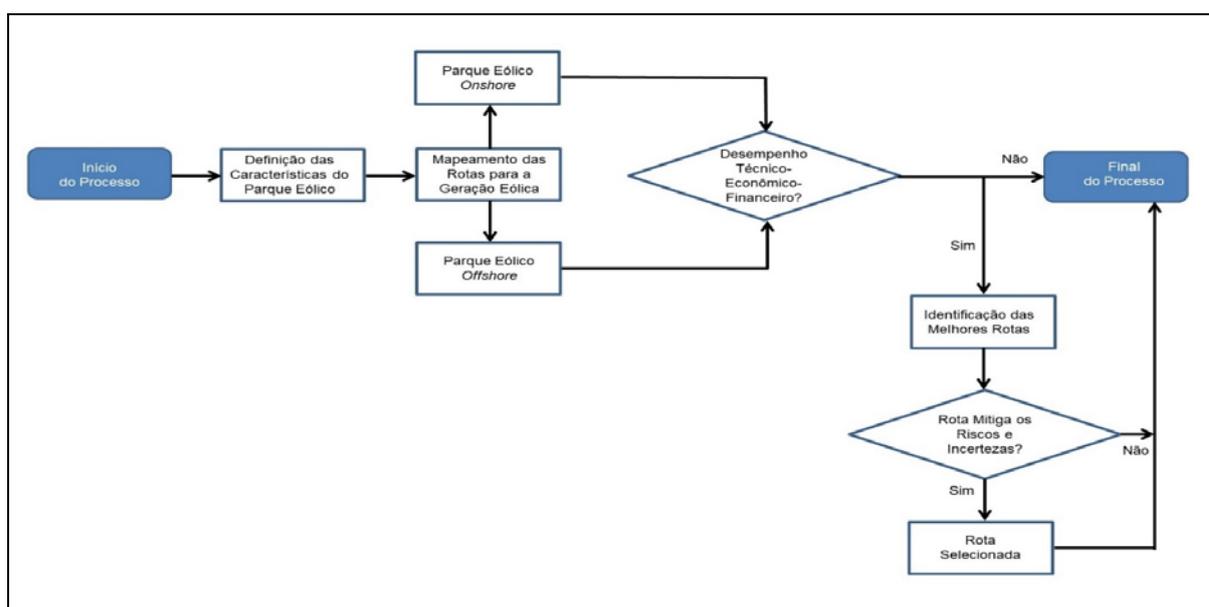
energia em zonas remotas brasileiras – como na Amazônia – desde que o governo opte por eliminar os subsídios das energias convencionais que atendem estas regiões (DIÓGENES et al. 2020; MARTINS et al. 2011; SILVA et al. 2010).

Quanto à energia eólica *offshore*, embora seja uma tecnologia promissora para atingir às metas de longo prazo estabelecidas para implantação de energia renovável (BROWN, FOLEY, 2015), o custo nivelado de energia (Levelized Cost of Energy) ainda é alto comparado com outras fontes de fornecimento de energia, sendo necessários mecanismos de apoio financeiro para torná-la competitiva (O’KEEFFE, HAGGETT, 2012; MBISTROVA, NGHIEM, 2017). Para reduzir os riscos e incertezas deste tipo de empreendimento, Junqueira et. al (2021) sugerem a criação de um *cluster* industrial que permita a cooperação entre empresas; a transferência de tecnologia e conhecimento entre os setores agregados; oferecer benefícios ambientais uma vez que a energia eólica *offshore* é considerada renovável e contribui para a redução da poluição na atmosfera; e, por fim, apoio social, considerando que a criação desse tipo de projeto precisa de aceitação da sociedade para seguir em frente. Os autores citam exemplos bem sucedidos de *clusters* industriais para geração eólica *offshore* na Europa: *Renewable Energy Hamburg* na Alemanha, *Blauwe Cluster* na Bélgica, entre outros.

4.3 METODOLOGIA

Os processos e métodos utilizados para este estudo são descritos nesta seção. As atividades incluem revisão da literatura, entrevistas com especialistas e análises qualitativas e quantitativas dos resultados obtidos.

Figura 1: Percurso Metodológico.



Fonte: Elaboração própria.

Com o intuito de definir as características de um parque eólico a ser instalado no Estado do Ceará, foi utilizado o percurso metodológico indicado na Figura 1.

Os dados foram coletados por meio de entrevistas semiestruturadas utilizando um questionário como guia e as respostas foram analisadas e categorizadas qualitativamente de acordo com o conteúdo. A análise dos dados foi realizada inicialmente pelo aluno de pós-graduação e, posteriormente, os dados foram reavaliados por dois pesquisadores doutores, na tentativa de reduzir vieses ou distorções decorrentes da experiência e interpretação subjetiva do entrevistador. Nenhuma distorção foi identificada.

Com base nos dados obtidos a partir do Atlas Eólico do Ceará (ADECE, 2019), que é o estado escolhido para este estudo de viabilidade por razões já mencionadas, foram definidas as características do parque eólico: localização, distância da costa, profundidade, altura dos aerogeradores, velocidade do vento e outros aspectos relevantes.

Foi feito um mapeamento de oito possíveis rotas tecnológicas para a implantação do parque eólico, sendo 4 rotas *onshore* e outras quatro rotas *offshore*. Além disto, foram sugeridos diferentes tipos de torres, turbinas e fundações, de acordo com modelos que já são aplicados ou estão em fase de construção deste tipo de empreendimento no Brasil e no mundo, conforme abordado na seção 2.1. Essas oito rotas factíveis visam englobar possíveis soluções que são potencialmente mais viáveis, em termos de potência unitária, número de aerogeradores, tipo de fundação e modelo de torre a ser utilizado no parque eólico.

A avaliação do desempenho técnico-econômico-financeiro foi feita a partir do método da pontuação ponderada de fatores (ROCHA, FIGUEIREDO, 2017; DOS PRAZERES LOURENÇO et. al, 2020) que auxiliou na decisão das opções viáveis para atender às características do parque eólico estudado. Esse método listou em uma tabela o conjunto de fatores passíveis de avaliação e o peso relativo de cada fator que reflete o poder de atração do respectivo fator em relação aos demais. Os pesos receberam uma pontuação que variou de 1 a 5, enquanto que as notas variaram de 1 a 10.

Os pesos e as notas foram fornecidos por 10 especialistas de diferentes áreas do conhecimento que trabalham em grandes empreendimentos de infraestrutura no Brasil. As entrevistas foram realizadas em formato presencial ou *online* com o uso da plataforma *Microsoft Teams*. O resultado final desta etapa de avaliação de rotas foi o somatório dos produtos peso x nota de cada fator. As duas rotas melhores ranqueadas passaram para a próxima etapa do estudo.

Os fatores que foram avaliados foram definidos com base nas ponderações feitas no estudo de Ramos Júnior et. al (2022) e estão listados no Quadro 1.

Quadro 1: Pontuação ponderada para Avaliação do Relação de Palavras-chave Utilizadas nas Plataformas de Busca.

Fatores	Peso	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Rota 7	Rota 8
Facilidade de Implantação do Parque Eólico em Termos Técnicos									
Facilidade de Obtenção da Tecnologia e do Produto									
Facilidade de Implantação em Termos Legais / Regulatórios									
Facilidade e Disponibilidade de Manutenção									
Facilidade de Conexão ao Sistema Interligado Nacional									
Expectativa de Vida Útil									
Custo de Implantação									
Custo de Manutenção									
Custo por KW Gerado									
Rapidez de Retorno do Investimento									
Impacto na Comunidades									
Impacto ao Meio Ambiente									
TOTAL									

Fonte: Elaboração própria.

Após a definição das duas rotas com maior pontuação, foi realizada uma nova etapa de entrevistas, desta vez totalmente qualitativa, com os especialistas. Os profissionais tiveram a oportunidade de fornecer feedback e fazer comentários sobre as duas rotas tecnológicas finalistas, além de recomendações e críticas, de modo a aumentar ainda mais a credibilidade e validade do processo decisório. O objetivo desta etapa foi avaliar os riscos e incertezas das duas opções finalistas. Com base na avaliação dos especialistas e da revisão da literatura, foi definida a melhor rota tecnológica para a construção de um parque eólico no estado do Ceará.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Essa seção está dividida em cinco subseções: a subseção 4.1 descreve as características do parque eólico a ser implantado no Brasil; a subseção 4.2 apresenta o mapeamento das rotas tecnológicas pré-definidas, segundo revisão sistemática da literatura; a subseção 4.3 mostra o perfil multidisciplinar dos especialistas que fizeram a avaliação das rotas; a subseção 4.4 indica o resultado da aplicação do questionário aos especialistas e a subseção 4.5 avalia os riscos e incertezas, de forma qualitativa, das duas rotas melhores ranqueadas nos questionários, assim como define a melhor rota tecnológica para a implantação de um parque eólico no Brasil no ano de 2021.

4.4.1 Características do Parque Eólico no Estado do Ceará

A localização do parque eólico foi escolhida considerando a disponibilidade de recursos eólicos de boa qualidade (vento), disponibilidade de infraestrutura local (rodoviária e fluvial), acessibilidade à rede nacional para conexão ao Sistema Interligado Nacional (SIN), entre outros aspectos já mencionados quanto ao estado do Ceará. As características do parque eólico proposto neste estudo estão detalhadas no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2: Características do Parque Eólico.

Localização	Potência Total	Velocidade do Vento	Altura do Aerogerador	Distância da Costa	Profundidade	Vida Útil
Caucaia (Ceará)	330 MW	> 7 m/s	100 m	10 – 20 Km	10 – 20 m	20 anos

Fonte: Elaboração própria.

Caucaia é um município brasileiro do estado do Ceará que integra a Região Metropolitana de Fortaleza com cerca de 1.227,9 Km² e litoral com 44 Km de extensão (PREFEITURA DE CAUCAIA, 2021). O município de Caucaia está bordado pelo Oceano Atlântico e localizado a 35 Km do Complexo Industrial e Portuário do Pecém. Esta localização é estratégica para o transporte de equipamentos de grande porte, componentes, acessórios e peças indivisíveis para atender à construção do Parque Eólico utilizando a rodovia CE-085 ou através do transporte fluvial.

A potência total de 330 MW do parque eólico foi definida com base no somatório da capacidade total de energia eólica que entrou em operação em 2021 e que está em fase de construção com previsão de conclusão entre 2021 e 2024 no Ceará. Os dados foram extraídos do Sistema SIGA (ANEEL, 2021) no dia 19 de junho de 2021. Desta forma, as rotas tecnológicas do empreendimento, seja este *onshore* ou *offshore*, serão avaliadas para atender a esta potência total.

Quadro 3: Potência Outorgada de Parques Eólicos do Ceará.

	Empreendimentos	Potência Outorgada (MW)
Em Operação (2021)	8	205,80
Em Construção	6	121,80
Total	14	327,60

Fonte: Elaboração própria.

A definição da localização do parque eólico considerou uma região com velocidade de vento acima de 7m/s e 100 metros de altura para as duas formas de geração de energia eólica: *onshore* e *offshore*. Para esse estudo, se admite que a distância da costa para a construção do parque eólico *offshore* está entre 10 e 20 quilômetros e que a profundidade da área apta varia

entre 10 e 20 metros. Esses dados foram obtidos com base no potencial eólico *offshore* do Ceará por distância da linha da costa e por profundidade (ADECE, 2019). A vida útil de 20 anos do empreendimento foi definida com base nos estudos de Hübler et. al (2020), Samu et.al (2019) e Effiom et.al (2016).

4.4.2 Mapeamento das Rotas Tecnológicas para a Geração Eólica

No Quadro 4 estão descritas as características das oito rotas tecnológicas pré-definidas, conforme os critérios já mencionados na seção de Metodologia, e que foram avaliadas pelos especialistas.

Quadro 4: Características das Rotas tecnológicas.

Rota	Tipo de Geração	Potência Unitária dos Aerogeradores	Número de Aerogeradores	Tipo de Torre	Tipo de Turbina	Tipo de Fundação
1	<i>Onshore</i>	500 KW	660	Treliçada	Vertical	Direta
2	<i>Onshore</i>	1 MW	330	Concreto	Vertical	Indireta
3	<i>Onshore</i>	2 MW	165	Híbrida	Horizontal	Direta
4	<i>Onshore</i>	4 MW	83	Tubular de Aço	Horizontal	Indireta
5	<i>Offshore</i>	8 MW	42	Concreto	Vertical	Gravidade
6	<i>Offshore</i>	10 MW	33	Treliçada	Horizontal	Jaqueta
7	<i>Offshore</i>	12 MW	28	Tubular de Aço	Vertical	Monoestaca
8	<i>Offshore</i>	15 MW	22	Tubular de Aço	Horizontal	Monoestaca

Fonte: Elaboração própria.

4.4.3 Perfil dos Especialistas

No Quadro 5 estão descritas as características dos especialistas que foram consultados. Como se pode observar, as entrevistas foram realizadas junto a um grupo multidisciplinar de profissionais, visando que oferecessem uma multiplicidade de pontos de vista, i.e., possibilitando uma análise com menos vieses.

Quadro 5: Informações dos Especialistas Entrevistados.

Entrevistado	Tipo de Entrevista	Idade	Formação	Gênero	Cargo Atual	Anos de Experiência em Projetos de Infraestrutura
1	Virtual	34	Engenheiro Mecânico	Masculino	Coordenador de Montagem	10
2	Presencial	24	Engenheiro Naval	Masculino	Analista Portuário	4
3	Presencial	37	Engenheiro de Telecomunicações	Masculino	Coordenador de SSMA	11
4	Virtual	37	Engenheiro Químico	Masculino	Analista Regulatório	10

5	Virtual	32	Técnico em Mecânica	Masculino	Supervisor de Manutenção	14
6	Virtual	27	Engenheira Civil	Feminino	Engenheira Especialista Civil	5
7	Virtual	34	Engenheiro Eletricista	Masculino	Engenheiro de Sistemas de Potência	9
8	Virtual	49	Engenheiro Civil	Masculino	Site Manager	16
9	Presencial	41	Engenheiro Eletricista	Masculino	Engenheiro Especialista Elétrica	16
10	Presencial	35	Engenheiro Eletricista	Masculino	Engenheiro Eletricista	10

Fonte: Elaboração própria.

4.4.4 Desempenho Técnico-Econômico-Financeiro

A primeira etapa das entrevistas (questionário e avaliação quali-quantitativa de pontuação ponderada de fatores) foi realizada entre os meses de junho e julho de 2021 e teve duração média variando entre 45 minutos e 1 hora cada. A maioria das entrevistas foi realizada de forma virtual (total de 6) e o restante foi realizada de forma presencial (total de 4).

No Quadro 6 estão indicados os resultados da aplicação do questionário, respondido pelos especialistas, com base no método ponderado de fatores.

Quadro 6: Resultado do Método Ponderado de Fatores

Entrevistados	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Rota 7	Rota 8
	Peso x Nota							
1	257	253	240	440	224	283	256	343
2	235	289	327	359	338	309	341	323
3	308	350	405	424	358	358	359	366
4	105	153	195	238	277	240	333	316
5	285	272	261	298	227	218	279	267
6	298	395	338	339	204	231	236	253
7	189	209	261	310	266	262	295	322
8	287	365	320	392	254	245	283	296
9	234	268	284	305	250	257	264	280
10	320	340	398	378	290	255	271	274
Total	2518	2894	3029	3483	2688	2658	2917	3040

Fonte: Elaboração própria.

Com um total de 3483 pontos e 3040 pontos, a rota 4 e a rota 8 (respectivamente) obtiveram a maior pontuação na avaliação dos especialistas. A rota 4 foi selecionada como a melhor rota tecnológica por 6 especialistas, enquanto que a rota 1 foi eleita a pior rota por 5 respondentes. Para as duas rotas melhores ranqueadas, foram avaliados os riscos e incertezas, por meio de uma avaliação qualitativa feita pelos especialistas.

4.4.5 Avaliação dos Riscos e Incertezas

A segunda etapa das entrevistas foi totalmente qualitativa, realizada em formato virtual no mês de agosto de 2021 e cada entrevista durou em média 1 hora. Através do uso de ferramentas disponíveis na plataforma *Microsoft Teams*, as entrevistas foram gravadas com prévia autorização dos entrevistados.

O Quadro 7 resume a rota selecionada por cada especialista após a avaliação dos riscos e incertezas. O Anexo B mostra os principais comentários dos especialistas durante as entrevistas.

Quadro 7: Seleção de Rotas pelos Especialistas após Avaliação dos Riscos e Incertezas.

Entrevistado	Rota Selecionada	Avaliação dos Riscos e Incertezas
1	Rota 4 (<i>Onshore</i>)	Tecnologia em fase madura.
2	Rota 8 (<i>Offshore</i>)	Menor quantidade de aerogeradores, menor área requerida para instalação do parque eólico e maior probabilidade de rapidez do retorno do investimento.
3	Rota 4 (<i>Onshore</i>)	As operações marítimas aumentam significativamente os custos do empreendimento.
4	Rota 8 (<i>Offshore</i>)	Flexibilização em relação à localização do parque eólico (Z.E.E. pertence a União), Projeto de Lei BR do Mar (redução de custos logísticos), oportunidade de desenvolvimento de P&D nacional na indústria eólica <i>offshore</i> .
5	Rota 4 (<i>Onshore</i>)	Maior facilidade de implantação e manutenção, mão de obra especializada e fabricantes de insumos e peças de reposição instalados no mercado nacional.
6	Rota 4 (<i>Onshore</i>)	A rota 4 (<i>onshore</i>) apresenta facilidade de implantação. O modelo 8 (<i>offshore</i>) apresenta maiores custos: cravação de estacas (fundação), utilização de equipamentos especiais, requer cabos elétricos com envelopamento especial.
7	Rota 8 (<i>Offshore</i>)	Sinergia com outras indústrias, uso de componentes autônomos e com acionamento remoto e a possibilidade de migração de profissionais de outras indústrias podem viabilizar o modelo <i>offshore</i> .
8	Rota 4 (<i>Onshore</i>)	Tecnologia madura, permite obter as características sazonais do vento com maior precisão, requer menor exposição financeira quando comparada ao modelo <i>offshore</i> .
9	Rota 4 (<i>Onshore</i>)	Rota possui facilidade de implantação em termos legais e regulatórios, importância de priorizar a geração de energia <i>onshore</i> em regiões remotas do país.
10	Rota 4 (<i>Onshore</i>)	Apresenta tecnologia madura, permite gerar renda extra para a comunidade a partir do arrendamento de áreas privadas.

Fonte: Elaboração própria.

O entrevistado 1 mencionou que:

A rota 4 deve ser a rota selecionada, pois a tecnologia *onshore* já está bastante provada em diferentes projetos no Brasil e ao redor do mundo, mostrando-se viável tecnicamente e economicamente. Entretanto, destaco que é importante que o governo mantenha os acordos previamente estabelecidos quando ocorrem os leilões para novos parques eólicos. Recentemente, com a crise sanitária que afetou o Brasil e o mundo, alguns leilões de energia eólica foram cancelados, sendo que muitas empresas já haviam investido recursos financeiros em estudos preliminares em áreas

de interesse para implantação de um novo parque eólico, mas os leilões foram simplesmente cancelados e sem previsão de retomada. (ENTREVISTADO 1, 2021).

Ao avaliar a quantidade de aerogeradores da rota 4 (total de 83) e os impactos desta rota para o meio ambiente, o entrevistado destacou que:

Essa opção irá gerar um total de 249 pás eólicas durante a vida útil de 20 anos, caso não seja necessária a substituição durante o período de funcionamento por conta de algum evento não previsto (colisão de uma ave, por exemplo). Fica o questionamento sobre qual a destinação ambientalmente adequada será dada a essas pás eólicas após o final da vida útil. (ENTREVISTADO 1, 2021).

Em consonância com o que foi citado, Ramos Júnior e Almeida (2021) identificaram que a destinação das pás utilizadas nas turbinas dos parques eólicos é um problema que afeta todos os países que possuem esse tipo de geração de energia. O descarte em aterro ou incineração em plantas de processamento de resíduos têm sido o tratamento mais comum. Entretanto, no Brasil não existe uma lei que defina essas responsabilidades.

Como crítica à rota tecnológica 8, o entrevistado informou que:

As turbinas eólicas de 15 MW foram recém lançadas e trazem consigo todos os riscos e incertezas de um produto novo lançado ao mercado. Provavelmente necessitará de ajustes antes de chegar ao ponto ótimo de funcionamento, principalmente em um país como o Brasil que ainda não possui geração de energia *offshore*. (ENTREVISTADO 1, 2021).

Por outro lado, o entrevistado 2 indicou que:

A alternativa 8 (*offshore*) é decisivamente a melhor, devido à menor quantidade de equipamentos para instalação e manutenção (total de 22) e pela menor área requerida quando comparado com a rota 4, conseqüentemente menor risco de falhas e maior probabilidade de rapidez no retorno do investimento. Aditivamente, as terras devem ser utilizadas para uma opção mais nobre como o agronegócio, criação de animais para corte ou áreas residências e industriais. (ENTREVISTADO 2, 2021).

Utilizando-se o critério da regra de ouro de Tom Gray (Aweo.org, 2021), se observa que são necessários 60 acres de área por megawatt, o que resulta em 80,13 Km² de área necessária para a instalação dos 330 MW propostos neste estudo, sendo este valor equivalente ao município Eusébio no Ceará (IBGE, 2021). Em uma área com essas dimensões, provavelmente, haverá regiões de reserva indígena, quilombola, área de proteção permanente, áreas particulares em que os proprietários não desejam arrendar o terreno, entre outros aspectos que podem inviabilizar a montagem ou postergar o início da construção ou operação do empreendimento eólico.

O respondente 2 evidenciou ainda que:

No Brasil, é necessário o parecer da capitania dos portos – autoridade marítima – antes, durante e após a construção do parque eólico *offshore*, haverá a limitação de navegação na região onde for instalado o parque eólico, por isso o mesmo deve ser incluído na carta náutica e atender aos critérios de sinalização requeridos pela autoridade marítima. Ademais, destaco a importância de reuniões de coordenação com a autoridade portuária do estado cearense para que as atividades do parque eólico

offshore não interfiram com as atividades do porto do Pecém. Por fim, é importante utilizar equipamentos compatíveis e que o projeto preveja a possibilidade de expansão do parque eólico no futuro. (ENTREVISTADO 2, 2021).

O entrevistado 3 disse que:

Apesar do impacto visual e sonoro que os 83 aerogeradores irão causar para a comunidade, a rota 4 (*onshore*) é a melhor solução entre as apresentadas, pois a rota 8 (*offshore*) requer a utilização de equipamentos especiais: barcas, rebocadores, guindastes especiais, entre outros. É necessário ainda considerar o tempo de deslocamento, atração e desatracação da balsa até o local de trabalho, além de ser necessário a instalação de um sistema de monitoramento do vento, pois – por temas de segurança na execução – é recomendada a paralisação das atividades quando a velocidade de vento chegar a um valor pré-determinado pelo fabricante. Adicionalmente, por se tratar de um trabalho no mar, é necessário o apoio com equipe de salvatagem e uso de colete salva-vidas, o que irá gerar custos adicionais para o empreendimento. (ENTREVISTADO 3, 2021).

Este ponto foi ressaltado por Junqueira et. al (2021) quando indicou que os custos de operações marítimas tornam a opção *offshore* mais cara do que no modelo *onshore*.

O especialista 3 citou ainda que:

Caso um aerogerador necessite de uma manutenção especial no modelo *offshore*, 5% da potência gerada do parque eólico estará comprometida. De forma complementar, o custo para geração eólica *offshore* é extremamente caro para as condições atuais do Brasil. Se necessita de um incentivo governamental que pode ser através de subsídios ou redução de impostos para a importação dos componentes importados até que a indústria nacional seja competitiva para este tipo de geração. (ENTREVISTADO 3, 2021).

Neste ponto, vale ressaltar que, conforme citado por ABDI (2017), os programas de incentivo do BNDES vêm permitindo o desenvolvimento de uma indústria eólica competitiva nacional, mas que se desenvolveu no ramo *onshore*. A demanda por componentes *offshore* trará consigo grandes desafios para a indústria nacional, pois são necessários equipamentos mais robustos e com tratamentos especiais para suportar as condições marinhas que estarão expostos os aerogeradores. É uma grande oportunidade de impulsionar a indústria eólica brasileira. Para tal, o governo precisa incentivar esta demanda internamente “puxar a demanda” e, assim, permitir que o país se torne um grande fabricante e exportador de componentes para a indústria eólica *offshore*.

O entrevistado 4 foi firme na decisão que:

A rota 8 (*offshore*) é a melhor opção, pois o mar pertence a um único dono (a União) o que permite uma maior flexibilização em relação ao local do parque eólico, segundo os dados do vento – em terra pode ocorrer que a melhor localização seja em região montanhosa. Além disso, o projeto de Lei BR do Mar, se aprovado, permitirá reduzir significativamente os custos logísticos deste tipo de empreendimento, pois facilitará o ingresso de novos players para a atividade de cabotagem. Ao invés dos componentes eólicos que chegam de outros países no Porto de Santos serem enviados para o Ceará por rodovia através de caminhões especiais, poderiam desembarcar em Santos, realizar o desembarço e seguir para o destino final (Ceará) em outras embarcações de menor porte, seja em operações tipo *ship to ship* ou *ship to barge*. (ENTREVISTADO 4, 2021).

O especialista 4 citou ainda que:

Em um passado não muito distante, a exploração de petróleo em águas profundas era tida como inviável no Brasil. Através de investimentos em pesquisa e ciência, a Petrobras conseguiu demonstrar que o país é competitivo neste ramo de atividade. (ENTREVISTADO 4, 2021).

O BR do Mar é o programa do governo federal que pretende estimular o uso da cabotagem, aumentar a frota nacional e equilibrar a matriz portuária brasileira. O projeto tramita na Câmara em caráter de urgência sob o número PL 4199/2020 (BRASIL, 2020). De fato, caso venha a se tornar lei, irá reduzir significativamente os custos logísticos para os parques eólicos.

O entrevistado 5 declarou que:

A rota 4 (onshore) é mais viável tecnicamente e economicamente atualmente no Brasil por apresentar maior facilidade de implantação e de manutenção em terra do que no mar. Além disso, já existe no Brasil mão de obra com expertise, insumos e peças de reposição para este tipo de empreendimento. Os projetos *offshore* estão expostos à corrosão, maior humidade e salitre, o que pode reduzir a vida útil dos aerogeradores e aumentar a preocupação e custos com manutenção. (ENTREVISTADO 5, 2021).

Quanto ao fato de a rota selecionada apresentar maior número de aerogeradores a serem inspecionados e para manutenção, o que poderia aumentar o custo de OPEX, o entrevistado informou que:

Muitas empresas do ramo de energia já utilizam drones para a realização de inspeções, o que tem reduzido significativamente os custos, além de apoiar os profissionais em casos de emergência. (ENTREVISTADO 5, 2021).

Uma pesquisa em linha permitiu observar que a Companhia Paraense de Energia, a Transmissora Aliança de Energia Elétrica e a Iberdrola utilizam drones com alta tecnologia para a inspeção de redes de transmissão, dos componentes dos parques eólicos e para combate a incêndio, tendo demonstrado que é muito mais barato e seguro utilizar essa tecnologia para esta atividade em substituição ao recurso humano (CANAL ENERGIA, 2021; TAESA, 2021 E IBERDROLA, 2021).

A entrevistada 6 expôs que:

Hoje, devido à facilidade de implantação, a rota 4 (*onshore*) tem vantagem em relação à rota 8. Existe uma dificuldade inerente para a cravação de estacas no mar para a construção da fundação *offshore*: se necessita de mais recursos financeiros, há custos com embarcações, equipamentos especiais, entre outros serviços que podem inviabilizar o projeto. Além disso, é mais difícil a conexão com o sistema interligado nacional por necessitar que uma parte dos cabos elétricos seja conduzida dentro da água e, por isso, é necessário um envelopamento especial. A tecnologia *offshore* necessita de mais desenvolvimento para que se torne confiável aos investidores. (ENTREVISTADO 6, 2021).

Da mesma forma que foi citado pelo especialista 2, foi identificado pela entrevistada 6 que a área poderá ser um fator limitante para os projetos *onshore* em um futuro próximo:

Em um período de 10 a 15 anos o jogo irá virar, pois será cada vez mais difícil de se encontrar área disponível para a instalação deste tipo de empreendimento *onshore*, visto que, além da área requerida para o projeto, é necessário construir caminhos de acesso que ocasionam impactos ao meio ambiente pela necessidade de derrubar árvores, espécies silvestres que precisam ser realocadas e à comunidade que, às vezes, precisa ser desalojada. (ENTREVISTADO 6, 2021).

O entrevistado 7, que tem experiência em projetos de extração de petróleo em alto-mar, selecionou a rota 8 como melhor rota e informou que:

Ambas as rotas avaliadas já são consagradas em outros países ao redor do mundo, sendo que a implantação da rota 8 no Brasil tem como desafio a regulação, criação de leis e normas por parte do governo federal, estadual e municipal. Isto pode gerar um atraso no momento da emissão das licenças ambiental, de construção e de operação. Entretanto, a sinergia com outras empresas, como a de extração de petróleo no mar, pode permitir a migração de profissionais e fornecedores para essa indústria ainda inexistente no Brasil (geração eólica *offshore*). Quanto aos custos de manutenção, os equipamentos eólicos *offshore* trabalham de forma autônoma com acionamento remoto e, quando necessária uma manutenção maior, é enviada uma equipe especializada ao local. (ENTREVISTADO 7, 2021).

Em linha com o que foi descrito por Venkatesh (2002), Martins et al. (2011) e Köberle et al. (2018), o entrevistado 7 disse que:

O maior gargalo para energia eólica hoje no Brasil hoje não está relacionado à indústria eólica e nem ao tipo de geração em si e sim ao congestionamento das linhas de transmissão, que pode inviabilizar qualquer tipo de projeto de geração eólica. Atualmente, parte da energia eólica gerada no Nordeste não pode ser enviada a outros estados exatamente por essa limitação. Caso fosse possível, provavelmente o impacto dos baixos níveis dos reservatórios no Sul e Sudeste não estariam preocupando as autoridades governamentais e nem a população, devido ao risco de um novo Apagão”. Adicionalmente, os custos logísticos devem ser corretamente avaliados, pois podem inviabilizar ambos projetos, devido à falta de infraestrutura das rodovias brasileiras. (ENTREVISTADO 7, 2021).

Como exemplo da sinergia que pode existir entre empresas que realizam atividades *offshore*, no dia 20 de agosto de 2021, através das redes sociais, a ABEEÓLICA informou que a empresa *Subsea 7* se tornou a mais nova associada da entidade. A *Subsea 7 S.A.* é uma empresa de engenharia, construção e serviços submarinos que atende à indústria de energia *offshore*. A unidade de negócios *Renewables* é líder global na entrega de projetos de parques eólicos *offshore* fixos e flutuantes (SUBSEA 7, 2021). Sem dúvidas uma grande parceria não somente para a Associação Brasileira de Energia Eólica, mas também para impulsionar a energia eólica *offshore* no Brasil. O ingresso desse tipo de player na associação permite inferir que o início da construção de parques eólicos *offshore* no Brasil deverá ocorrer no médio prazo.

Por outro lado, o entrevistado 8 destacou que:

A rota 4 (*onshore*) é a melhor opção pelo fato de apresentar uma tecnologia já conhecida e pela possibilidade de se obter os valores de vento com mais clareza na rota *onshore* do que *offshore*. Na primeira opção, além das informações das velocidades do vento que estão disponíveis nos Atlas Eólicos dos Estados onde o parque eólico será instalado, existe a possibilidade de o empreendedor instalar um conjunto de anemômetros antes da execução do parque eólico para conhecer as

características sazonais do vento em locais específicos. Por outro lado, para a rota *offshore* não existe essa possibilidade, o que seria um risco caso, após instalação, a qualidade do vento não for aquela definida durante os estudos preliminares. Adicionalmente, a rota 8 requer uma maior exposição financeira dos desenvolvedores dos parques eólicos (alto custo de capital inicial) quando comparado com a opção *onshore*. (ENTREVISTADO 8, 2021).

A afirmação do especialista vai ao encontro ao que foi exposto por Menéndez et. al (2011) e Samu et.al (2019), podendo levar a uma perda de produção e eficiência dos aerogeradores e impactar no retorno do investimento para os investidores, caso a qualidade do vento seja diferente daquela avaliada durante os estudos preliminares.

O especialista 9 disse que:

A alternativa *onshore* (rota 4) segue sendo a melhor opção para o cenário brasileiro, pois mitiga os riscos e incertezas da rota *offshore*. Hoje, o principal problema que vejo do ponto de vista *offshore* é a falta de regulação para este tipo de geração, assim como observo pouca discussão dessa opção no âmbito político brasileiro o que me faz acreditar que ainda existe um longo caminho pela frente antes de que seja viável esse tipo de geração de energia no país. Além disso, o primeiro empreendedor precisará vencer os riscos oriundos de ser o inovador em um país onde muda-se constantemente as regras do jogo, principalmente em anos eleitorais, mas pode ser que consiga obter lucro. Adicionalmente, o Brasil possui várias regiões remotas que não possuem acesso à energia elétrica, logo o país deveria dar preferência em desenvolver turbinas para atender essas regiões em terra. (ENTREVISTADO 9, 2021).

O entrevistado 9 também citou, assim como o entrevistado 4, os benefícios para a indústria eólica brasileira, caso o Projeto de Lei BR do Mar seja aprovado.

O entrevistado 10 ressaltou que:

A rota 4 é a melhor opção por ter uma maior quantidade de aerogeradores, o que impactaria menos em caso de danos de uma peça que não fosse encontrada em mercado local. Neste caso, o impacto para o parque eólico, em termos de potência total, seria menor quando se comparado com a rota 8. Além disso, a rota 4 já passou pela curva inicial de aprendizagem e pode oferecer uma tecnologia bastante testada, madura e já utilizada em parques eólicos ao redor do mundo com diferentes características. Quanto ao impacto à comunidade, a rota 4 oferece a possibilidade de ser instalada em área privada em locais onde as famílias poderiam ter como renda extra o arrendamento do local para instalação do empreendimento, sendo, portanto, um outro fator positivo da rota 4. (ENTREVISTADO 10, 2021).

Em rejeição à rota 8, o entrevistado 10 informou que:

O Brasil tem o potencial para liderar a energia *offshore* no mundo, por conta da extensão da faixa litorânea, entretanto o país está engatinhando ainda em relação a essa tecnologia. Adicionalmente, o cenário político brasileiro desencoraja e desanima qualquer tipo de investidor a realizar investimentos embrionários no país. As incertezas em relação às políticas para empreendimentos *offshore* pode colocar em risco o projeto antes mesmo de iniciar a operação. (ENTREVISTADO 10, 2021).

Em linha com o comentado pelos entrevistados oito, nove e dez, em entrevista ao site Canal Energia em outubro de 2020, a presidente da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA) Elbia Silva Gannoum ressaltou que o Brasil tem disponibilidade para gerar

energia por meio das eólicas marítimas, mas é preciso vencer as barreiras regulatórias (GODOI, 2020).

4.5 CONCLUSÕES

Com um total de sete votos a favor e analisando também os aspectos técnicos, econômicos e financeiros, assim como os impactos sociais e ao meio ambiente, os riscos e incertezas; a rota 4 (*onshore*) foi selecionada, dentre uma vasta gama de opções, como a melhor rota tecnológica para a geração de energia eólica a partir de um parque eólico a ser instalado no Estado do Ceará.

Este estudo permite concluir que alguns fatores apresentam os mesmos riscos e incertezas, independente da rota selecionada: a facilidade de conexão ao Sistema Interligado Nacional (SIN) se apresentou como um problema mais relacionado ao congestionamento e existência de linhas de transmissão obsoletas no país do que de uma rota específica. Além disso, a localização do parque eólico próximo a uma subestação é importante para reduzir os custos e perdas durante a transmissão de energia, independentemente de a construção do parque eólico seguir o modelo *onshore* ou *offshore*. Por outro lado, enquanto os parques eólicos *onshore* geram impactos para a comunidade por conta do ruído, aspecto visual e pelo risco de colisão com aves; as rotas *offshore* podem causar danos à vida marinha, recifes e outras atividades econômicas marítimas, como a pesca ou a exploração de petróleo ou gás natural em alto-mar.

Em linhas gerais, segundo os especialistas, a rota 4 (*onshore*) apresenta como vantagens a facilidade de instalação do ponto de vista técnico, de obtenção da tecnologia e do produto, já possui condições legais e regulatórias claras e vigentes, além de possuir uma expectativa de vida útil maior quando comparada à rota 8 (*offshore*). Isto se deve basicamente à distância da costa, onde os aerogeradores estão menos expostos aos danos por corrosão.

Por outro lado, ao se avaliar a área requerida para a montagem do parque em terra: 80,13 Km², equivalente à área total do município de Eusébio (Ceará), pode-se prever que haverá uma grande quantidade de conflitos com distintos *stakeholders* por conta do uso da terra, não sendo uma opção viável para a construção de vários parques no futuro com essa característica. Neste caso, a rota *offshore* se mostra mais adequada. Além disso, caso o Projeto de Lei PL 4199/2020 seja aprovado, será possível expandir o setor de navegação de cabotagem no Brasil e os custos logísticos para implantação de parques eólicos *offshore* podem se tornar mais atrativos em comparação com os da rota *onshore*, uma vez que o transporte até o local de instalação será feito, principalmente, por embarcações.

Os especialistas concordam, de forma geral, que no médio prazo (5-10 anos) a energia eólica *offshore* será uma realidade no Brasil, desde que exista uma estabilidade econômica no país, o fortalecimento da moeda nacional (que beneficiará a compra de componentes importados) e a partir da definição de regulações e licenciamentos claros para os projetos eólicos *offshore*. Isto aumentará o interesse de investidores nacionais e estrangeiros para alocação de recursos neste tipo de empreendimento em terras brasileiras.

A formação de um *cluster* industrial se apresenta como uma opção viável para reduzir os riscos e incertezas oriundos dos projetos *offshore*. Por outro lado, assim como a Petrobras investiu em pesquisa e tecnologia de ponta para viabilizar a extração de petróleo em águas profundas, a Eletrobras (empresa estatal) pode incentivar a criação de um projeto piloto para geração de energia eólica *offshore* no Brasil. Junto com empresas especializadas, a ABEEÓLICA, acadêmicos de centros de pesquisas e universidades podem desenvolver protótipos viáveis para as características de vento e onda do Brasil.

Quanto ao governo, este pode estimular a geração de energia eólica *offshore* a partir de políticas públicas de subsídios e incentivos para compra de equipamentos e construção deste tipo de empreendimento, além de realizar leilões específicos e regulações claras e transparentes. Vale ressaltar que o Decreto nº 10.946 de 2022 representa um marco importante para a inserção do modelo eólico *offshore* no Brasil.

Historicamente, como a disponibilidade de energia hidráulica no Brasil é sazonal, o governo costuma aumentar os investimentos, realizar políticas públicas e leilões específicos para outras fontes renováveis de energia somente quando os níveis dos reservatórios estão baixos e em um cenário de crescimento econômico. Se o país deseja ter uma maior segurança elétrica e uma menor dependência da fonte hidráulica, é necessário realizar políticas e investimentos com uma visão de longo prazo e que permitam a expansão de outras formas alternativas de energia, como a energia eólica *offshore*, por exemplo. A visão de curto prazo, imediatista, focada em “apagar incêndios”, não contribui para uma política que seja eficaz e eficiente para o setor elétrico nacional.

REFERÊNCIAS

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Mapeamento da Cadeia Produtiva na Indústria Eólica no Brasil**. 2014. Disponível em: https://www.abdi.com.br/Estudo_Backup/Mapeamento%20da%20Cadeia%20Produtiva%20da%20Ind%C3%BAstria%20E%C3%B3lica%20no%20Brasil.pdf. Acesso em: 25 jul. 2021.

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Atualização **do mapeamento da cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil**. 2017. 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: 01 mai. 2021.

ABEEÓLICA. Associação Brasileira de Energia Eólica. **Boletim Anual Dados 2020. 2021**. Disponível em: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2021/06/PT_Boletim-Anual-de-Gera%C3%A7%C3%A3o_2020.pdf. Acesso em 01 mai. 2021.

ABEEÓLICA. Associação Brasileira de Energia Eólica. **Nota para imprensa sobre decreto de eólicas offshore. 2022**. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/noticias/nota-para-imprensa-sobre-decreto-de-eolicas-offshore/>. Acesso em 06 mar. 2022.

ADECE. Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará. **Atlas Eólico e Solar: Ceará. 2019**. Disponível em: <http://atlas.adece.ce.gov.br/User?ReturnUrl=%2F>. Acesso em: 28 abr. 2021.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Sistema de Informações de Geração da ANEEL -SIGA. 2021. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em: 30 abr. 2021.

AYODELE, T. R.; JIMOH, A. A.; MUNDA, J. L.; AGEE J. T. Viability and economic analysis of wind energy resource for power generation in Johannesburg, South Africa. **International Journal of Sustainable Energy**, v. 33, n. 2, 284-303, 2014. <https://doi.org/10.1080/14786451.2012.762777>.

AWEO.ORG. Areas of Industrial Wind Facilities. 2021. <http://www.aweo.org/windarea.html>. Acesso em: 24 jul. 2021.

BAILEY, B. H., MCDONALD, S. L., BERNADETT, D. W., MARKUS, M. J., ELSHOLZ, K. V. **Wind resource assessment handbook: Fundamentals for conducting a successful monitoring program**. Albany, NREL: 1997. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/legosti/fy97/22223.pdf>. Acesso em: 06. jun. 2021

BATISTA, H. G. Com crise hídrica, oferta de energia eólica pode dobrar em poucos meses. **O Globo, 2021**. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/com-crise-hidrica-oferta-de-energia-eolica-pode-dobrar-em-poucos-meses-25069506>. Acesso em: 08 ago. 2021.

BILGILI, M.; YASAR, A.; SIMSEK, E. Offshore wind power development in Europe and its comparison with onshore counterpart. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 2, p. 905-915, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.006>.

BORTOLINI, M.; GAMBERI, M.; GRAZIANI, A.; MANZINI, R.; PILATI, F. Performance and viability analysis of small wind turbines in the European Union. **Renewable Energy**, v. 62, p. 629-639, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.08.004>.

BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; DE SOUZA MENDES, J.; LOUREIRO, C.; DE ANDRADE MEIRELES, A. J.; DA SILVA, E. V.; DE FREITAS, A. L. R.; DE OLIVEIRA, R. F. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 62-71, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.047>.

BRASIL. Projeto de Lei PL no 4199/2020. **Institui o Programa de Estímulo ao Transporte por Cabotagem - BR do Mar e altera a Lei nº 5.474, de 18 de julho de 1968, a Lei nº 9.432, de 8 de janeiro de 1997, a Lei nº 10.233, de 5 de junho de 2001, e a Lei nº 10.893, de 13 de julho de 2004.** Brasília: 2020. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=226043>. Acesso em: 22 ago. 2021.

BRASIL. Medida Provisória no 1.055, de 28 de junho de 2021. **Institui a Câmara de Regras Excepcionais para Gestão Hidroenergética com o objetivo de estabelecer medidas emergenciais para a otimização do uso dos recursos hidroenergéticos e para o enfrentamento da atual situação de escassez hídrica, a fim de garantir a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético no País.** Diário Oficial da União. Brasília, DF: Presidência da República, [2021]. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/medida-provisoria-n-1.055-de-28-de-junho-de-2021-328509026>. Acesso em: 18 jul. 2021.

BROWN, C.; POUDINEH, R.; FOLEY, B. **Achieving a cost-competitive offshore wind power industry: What is the most effective policy framework?** The Oxford Institute for Energy Studies, 2015. <https://doi.org/10.26889/9781784670375>.

CANAL ENERGIA. **Copel amplia uso de drones para inspeção de redes de energia.** Curitiba: 2021. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53183567/copel-amplia-uso-de-drones-para-inspecao-de-redes-de-energia>. Acesso em: 22 ago. 2021.

CIPP. Complexo Industrial e Portuário do Pecém. **Relatório de Sustentabilidade 2019.** 2020. Disponível em: <https://www.complexodopecem.com.br/wp-content/uploads/2021/02/Relatorio-de-Sustentabilidade-Ed.-2019.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2021.

CLIMAINFO. **Crise hídrica abre oportunidade para fontes renováveis de energia.** 2021. <https://climainfo.org.br/2021/06/24/crise-hidrica-abre-oportunidade-para-fontes-renovaveis-de-energia/>. Acesso em: 08 ago. 2021.

CUSTÓDIO R. **Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Synergia Editora, 2013. 340 p. ISBN 978-85-61325-88-6.

DIÓGENES, J. R. F.; CLARO, J.; RODRIGUES, J. C.; LOUREIRO, M. V. Barriers to onshore wind energy implementation: A systematic review. **Energy Research & Social Science**, v. 60, 101337, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101337>.

EFFIOM, S. O.; NWANKWOJIKE, B. N.; ABAM, F. I. Economic cost evaluation on the viability of offshore wind turbine farms in Nigeria. **Energy Reports**, v. 2, p. 48-53, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2016.03.001>.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Roadmap Eólica Offshore Brasil – Perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima.** 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/roadmap-eolica-offshore-brasil>. Acesso em: 28 abr. 2021.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 18 jul. 2021.

GODOI, M. **Eólica offshore poderá chegar em 2027**. Canal Energia, 2020. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53152315/eolica-offshore-podera-chegar-em-2027>. Acesso em: 22 ago. 2021.

GODOI, M. **Governo publica diretrizes para eólica offshore no Brasil**. Canal Energia, 2022. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53200642/governo-publica-diretrizes-para-eolica-offshore-no-brasil>. Acesso em: 06 mar. 2022.

GWEC. Global Wind Energy Council. **Global Wind Energy Report 2021**. 2021. Disponível em: <https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/03/GWEC-Global-Wind-Report-2021.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2021.

HERBERT, G. M. J.; INIYAN, S.; SREEVALSAN, E.; RAJAPANDIAN, S. A review of wind energy technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 6, p. 1117-1145, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.08.004>.

HÜBLER, C.; PIEL J.; STETTER, C.; GEBHARDT; BREITNER, M. H.; ROLFES, R. Influence of structural design variations on economic viability of offshore wind turbines: An interdisciplinary analysis. **Renewable Energy**, v. 145, p. 1348-1360, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.113>.

HUNT, J.D.; STILPEN, D.; DE FREITAS, M.A.V. A Review of the Causes, Impacts and Solutions for Electricity Supply Crises in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 88, p. 208-222, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.030>.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Sistema Informatizado de Licenciamento Ambiental Federal**. 2021. Disponível em: <https://servicos.ibama.gov.br/licenciamento>. Acesso em: 26 abr. 2021.

IBERDROLA. **Apostamos no uso de drones para a inspeção de parques eólicos**. 2021. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/inovacao/drones-parques-eolicos>. Acesso em: 22 ago. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas Territoriais**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 22 ago. 2021.

IEA. International Energy Agency. **World Energy Balances 2020** Edition. 2021. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/4f314df4-8c60-4e48-9f36-bfea3d2b7fd5/WorldBAL_2020_Documentation.pdf. Acesso em: 01 mai. 2021.

INFLATION.EU. **Inflação Histórica Grécia – IPC**, 2021. Disponível em: <https://www.inflation.eu/pt/taxas-de-inflacao/grecia/inflacao-historica/ipc-inflacao-grecia.aspx>. Acesso em: 18 jul. 2021.

IRENA. International Renewable Energy Agency. **The power to change: Solar and wind cost reduction potential to 2025**. 2016. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Power_to_Change_2016.pdf. Acesso em: 25 jul. 2021.

IRENA. International Renewable Energy Agency. **Renewable Power Generation Costs in 2020**. 2020. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2020.pdf. Acesso em: 24 jul. 2021.

JUNQUEIRA, H.; ROBAINA, M.; GARRIDO, S.; GODINA, R.; MATIAS, J. C. O. Viability of creating an offshore wind energy cluster: A case study. **Applied Sciences**, v. 11, n. 1, p. 308-335, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11010308>.

KALDELLIS, J. K.; GAVRAS, Th J. The economic viability of commercial wind plants in Greece A complete sensitivity analysis. **Energy Policy**, 2000, v. 28, n. 8, p. 509-517. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00039-2](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00039-2).

KÖBERLE, A. C.; GARAFFA, R.; CUNHA, B. S. L.; ROCHEDO, P.; LUCENA, A. F. P.; SKLO, A; SCHAEFFER, R. Are conventional energy megaprojects competitive? Suboptimal decisions related to cost overruns in Brazil. **Energy Policy**, v. 122, p. 689-700, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.021>.

KROHN, S.; MORTHORST, P.; AWERBUCH, S. **The economics of wind energy**. European Wind Energy Association, 2009. Disponível em: https://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Economics_of_Wind_Energy.pdf. Acesso em: 20 jul. 2020.

LAUDARI, R.; SAPKOTA, B. K.; BANSKOTA, K. Assessment of Economic Viability of Wind Energy in Nepal: **A Case Study of Ten Sites**. In: Proceedings of IOE Graduate Conference, 2015, Nepal, p. 169-179. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1982.1682>.

LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. Domestic application of micro wind turbines in Ireland: Investigation of their economic viability. **Renewable Energy**, v. 41, p. 64-74, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.10.001>.

LOURENÇO, A. P.; SANTOS, J.O.; DE SOUZA, J.C; RODRIGUES, L. L. O Método de Ponderação de Fatores como Critério de Localização Industrial/The Factor Weighting Method as em Industrial Location Criterion. ID on line **REVISTA DE PSICOLOGIA**, v. 14, n. 49, p. 504-517, 2020. <https://idonline.emnuvens.com.br/id/article/view/2361>.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, p. 4378-4390, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.058>.

MBISTROVA, A.; NGHIEM, A. **The Value of Hedging New Approaches to Managing Wind Energy Resource Risk**. 2017. Disponível em: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/WindEurope-SwissRe-the-value-of-hedging.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2021.

MEIRELES, A. J. A.; GORAYEB, A.; DA SILVA, D. R. F.; DE LIMA, G. S. Socio-environmental impacts of wind farms on the traditional communities of the western coast of Ceará, in the Brazilian Northeast. **Journal of Coastal Research**, 2013, v. 65, 10065, p. 81-86. <https://doi.org/10.2112/SI65-015.1>.

MENÉNDEZ, M.; TOMÁS, A.; CAMUS, P.; DÍEZ, M. G.; FITA, L.; FERNANDÉZ, J.; MÉNDEZ, F.J.; LOSADA, I. J. **A methodology to evaluate regional-scale offshore wind energy resources**. OCEANS 2011 IEEE-Spain, p. 1-8, 2011. <https://doi.org/10.1109/Oceans-Spain.2011.6003595>.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Escassez Hídrica e o Fornecimento de Energia Elétrica no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/infogr%c3%a1fico.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2021.

MUSIAL, W. Offshore wind electricity: A viable energy option for the coastal United States. **Marine Technology Society Journal**, v. 41, n.3, p. 32-43, 2007. <https://doi.org/10.4031/002533207787442088>.

NGALA, G. M.; ALKALI, B.; AJI, M. A. Viability of wind energy as a power generation source in Maiduguri, Borno state, **Nigeria. Renewable energy**, v. 32, n. 13, p. 2242-2246, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.12.016>.

O'KEEFFE, A.; HAGGETT, C. An investigation into the potential barriers facing the development of offshore wind energy in Scotland: Case study–Firth of Forth offshore wind farm. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3711-3721, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.018>.

OLATAYO, K. I.; WICHERS, J. H.; STOKER, P. W. The advanced and moderate-growth development paths for the viability and future growth of small wind energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 117, 109496, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109496>.

PREFEITURA DE CAUCAIA. **A História**. 2021. Disponível em: <http://www.caucaia.ce.gov.br/index.php?tabela=pagina&acao=pagina&codigo=27>. Acesso em: 19 jun. 2021.

PICANÇO, J. Energia eólica: Decreto destrava offshore, de mais qualidade. 2022. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/opiniao/colunistas/egidio-serpa/energia-eolica-decreto-destrava-offshore-de-mais-qualidade-1.3186480>. Acesso em: 05 mar. 2022.

RAMOS JÚNIOR, M. J.; ALMEIDA, E. S. Destinação de pás de turbinas eólicas instaladas no Estado da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 19, p. 979-992, 2021. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2021\)081924](https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)081924).

RAMOS JÚNIOR, M.J.; FIGUEIREDO, P.S.; TRAVASSOS JÚNIOR, X. L. Barriers and Perspectives for the Expansion of Wind Farms in Brazil. **Renewable Energy and Environmental Sustainability**, v. 7, n. 6, 2022. <https://doi.org/10.1051/rees/2021055>

ROCHA, M; FIGUEIREDO, P. S. Rotas Tecnológicas para a Produção de Ferrocromo no Brasil: Um Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Financeira. **Tecnologia em**

Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 14, n. 2, p. 159-166, 2017. <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.1172>.

RODRIGUES, R. **Safra dos ventos deve suportar a crise hídrica, preveem especialistas**. Canal Energia, 2021. <https://canalenergia.com.br/noticias/53181632/safra-dos-ventos-deve-suportar-a-crise-hidrica-preveem-especialistas>. Acesso em: 08 ago. 2021.

ROSA L. P.; LOMARDO, L. L. B. The Brazilian Energy Crisis and a Study to Support Building Efficiency **Legislation. Energy and Buildings**, v. 36, n. 2, p. 89-95, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.09.001>.

SAU. Sea Around Us. **Exclusive Economic Zone (EEZ)**. 2021. Disponível em: <http://www.searoundus.org/data/#/eez>. Acesso em: 23 jul. 2021.

SAMU, R.; FAHRIOGLU, M.; OZANSOY, C. The potential and economic viability of wind farms in Zimbabwe. **International Journal of Green Energy**, v. 16, n. 15, p. 1539-1546, 2019. <https://doi.org/10.1080/15435075.2019.1671424>.

SILVA, S. B.; DE OLIVEIRA, Marco A. G.; SEVERINO, M. M. Economic evaluation and optimization of a photovoltaic–fuel cell–batteries hybrid system for use in the Brazilian Amazon. **Energy Policy**, v. 38, n. 11, p. 6713-6723, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.041>.

SUBSEA 7. **Our Business**. 2021. Disponível em: https://www.subsea7.com/en/our-business.html#par_tabbedcontent2_765199026tabbedcontentitem_1. Acesso em: 22 ago. 2021. SUTHERLAND, H. J.; BERG, D. E.; ASHWILL, T. D. A retrospective of VAWT technology. Sandia National Laboratories, p. 1-64, 2012. <https://doi.org/10.2172/1035336>.

TAESA. Transmissora Aliança de Energia Elétrica S.A. **Projeto 0059: Inspeção Semiautônoma com Drone em Torres de Linha de Transmissão**. 2021. Disponível em: <https://institucional.taesa.com.br/pesquisa/projeto-0059-inspecao-semiautonoma-com-drone-em-torres-de-linha-de-transmissao/>. Acesso em: 18 jul. 2021.

VENKATESH, R. Power quality issues and grid interfacing of wind electric generators. **Indian Journal of Power and River Valley Development**, v. 52, n. 9, p. 215-220, 2002.

WALTERS, R.; WALSH, P. R. Examining the financial performance of micro-generation wind projects and the subsidy effect of feed-in tariffs for urban locations in the United Kingdom. **Energy Policy**, v. 39, n. 9, p. 5167-5181, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.05.047>.

Capítulo 5

CONCLUSÕES

O Brasil é um país de dimensões continentais e que é responsável pela exportação de diversos tipos de bens e produtos para outros países. As crises de energia ocorridas nos últimos anos evidenciam a necessidade da diversificação da matriz elétrica brasileira para que o país esteja menos suscetível a novos apagões que podem impactar o crescimento e o desenvolvimento nacional. Os baixos níveis dos reservatórios em conjunto com a baixa perspectiva de chuvas causam preocupações ao governo em um cenário de retomada da economia após a crise sanitária. Tal situação ocorre devido à grande dependência nacional pela geração de energia hidrelétrica.

No acordo de Paris, o Brasil se comprometeu a expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030 e a alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico. As políticas públicas que vindo desenvolvidas nos últimos anos têm favorecido à expansão da energia renovável no Brasil. Como consequência disto, houve uma maior participação das fontes renováveis no Brasil entre o período de 2014 (ano anterior à assinatura do acordo de Paris) até 2020. As principais fontes renováveis de energia que cresceram nos últimos anos foram a eólica, biomassa e solar. Em 2014, a participação dessas fontes representava 9,5% da matriz elétrica nacional, já em 2020 representou 19,6%, apresentando crescimento em todos os anos do período avaliado e com especial destaque para a participação da energia eólica. Desta forma, se pode inferir que a meta de atingir 23% até 2030 será atingida antes do prazo acordado.

Entre 2014 e 2020, a oferta interna de energia eólica no Brasil foi de 271.210 GWh. Utilizando-se a métrica definida pela ABEEÓLICA de que 371,60 emissões de CO₂ são evitadas a cada GWh de energia eólica ofertada, o total de emissões evitadas no período, por conta do uso da fonte eólica para a geração de energia elétrica, foi de 100,78 milhões de toneladas de CO₂. À medida que reduz as emissões de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono, a energia eólica contribui efetivamente para que o Brasil atenda aos compromissos definidos no acordo de Paris.

Quanto a alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico, em nenhum dos anos subsequentes à ratificação do Acordo de Paris o país conseguiu atingir a meta de ser mais eficiente no setor elétrico. No Brasil, as maiores perdas de energia elétrica ocorrem durante a transmissão. Os parques eólicos, devido às suas características de poderem ser implementados de maneira modular, podem ser instalados próximo a grandes centros consumidores permitindo, assim, a redução das perdas, dos custos de transmissão e aumento da eficiência elétrica. Para tal, é necessário que o governo permita a distribuição de energia elétrica, sem a necessidade de conexão com o Sistema Interligado Nacional (SIN). A venda de energia através do mercado livre, por exemplo, poderá eliminar o monopólio existente na distribuição de energia elétrica, aumentar a competitividade, incentivar as empresas a construírem sistemas mais eficientes, estáveis e seguros para o país. Devido a poder ser construída de forma modular, ser abundante no país e da economia de escala, a fonte eólica poderá ser implementada em massa e, como consequência, melhorar a eficiência elétrica no país.

Em relação à expansão da energia eólica no Brasil, foram identificadas 13 barreiras, sendo que as quatro mais relevantes foram: ambiente macroeconômico instável, incertezas das políticas governamentais, restrições do sistema e falta de infraestrutura. O reflexo do ambiente macroeconômico instável no Brasil tem se refletido na perda de valor da moeda local frente ao dólar nos últimos anos, assim como, da fuga de recursos financeiros para investimentos por parte dos empresários. Se tem observado nos últimos anos a saída de grandes empresas do cenário brasileiro para outros países que oferecem melhores benefícios fiscais e estabilidade econômica. Por outro lado, as incertezas das políticas governamentais geram incertezas para os investidores. Como exemplo, no último ano foram cancelados leilões para a construção de parques eólicos e ainda não existe previsão de nova data. Como consequência, existe uma perda da credibilidade governamental frente aos investidores.

Em relação às restrições do sistema e falta de infraestrutura, ficou evidenciado a necessidade de um planejamento de energia elétrica de longo prazo, que permita atender não somente a geração, mas também a transmissão e distribuição. Para descongestionar o sistema, é necessário descentralizar a transmissão de energia elétrica no Brasil. Por exemplo, eliminar a necessidade de conexão ao SIN. Adicionalmente, é importante o investimento em sistemas inteligentes de transmissão de energia. A falta de disponibilidade das linhas de transmissão tem tido como consequência a ociosidade de alguns parques eólicos, devido à impossibilidade de se conectar ao SIN.

Atualmente, a maior geração de energia eólica no Brasil se concentra na região nordeste do país (86,7%). Entretanto, foi demonstrado que outras regiões possuem potencial

para receber parques eólicos. Em relação à implantação de parques eólicos *offshore* (ainda inexistentes), por exemplo, apesar do Nordeste ser a região do Brasil com o maior potencial eólico *offshore* com velocidade de vento acima de 7m/s, a 100 metros de altura e em locais com profundidade de até 50 metros (51,08%), o Norte tem potencial de 197 GW (28,26%), o Sudeste 97 GW (13,92%) e o Sul 47 GW (6,74%).

Outra oportunidade para a expansão da energia eólica no Brasil é o desenvolvimento de pequenas e médias turbinas eólicas para abastecer comunidades remotas, principalmente na região da Amazônia e Pantanal. Para tal, o governo pode direcionar parte dos recursos da Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis dos Sistemas Isolados (CCC-Isol) com o objetivo de subsidiar os custos de pesquisa e desenvolvimento desses aerogeradores. Devido à área a ser atendida no país, o Brasil pode se tornar referência neste tipo de geração e depois exportar esses equipamentos para outros países da região. Deste modo, se pode inferir que a energia eólica está em fase inicial de crescimento no país e com muito potencial de expansão para os próximos anos.

O parque eólico *onshore* foi o modelo escolhido pelos especialistas quando avaliaram a possibilidade de um novo parque eólico com 330 MW de capacidade no estado do Ceará. De acordo com os entrevistados, este modelo apresenta como vantagens a facilidade de instalação do ponto de vista técnico, tecnologia madura e já testada no país, termos legais e regulatórios claros, cadeia de suprimentos local, mão-de-obra especializada e maior expectativa de vida útil quando comparado ao modelo *offshore*. Entretanto, a extensa área necessária para implantação deste modelo de parque eólico em terra, assim como os conflitos com comunidades, outros usuários da terra como o agronegócio, poluição visual e sonora indicam que a construção de novos parques seguindo esse modelo será cada vez menos sustentável no longo prazo.

Por outro lado, o Brasil possui uma extensa Zona Econômica Exclusiva e já existem 12 projetos no modelo *offshore* com o pedido de solicitação de licença ambiental no IBAMA. Adicionalmente, caso aprovado o Projeto BR do Mar, os custos de cabotagem se reduzirão significativamente e esse tipo de empreendimento se tornará mais atrativo para os investidores. Acredita-se que no médio prazo (5 – 10 anos) será iniciada a construção do primeiro parque eólico *offshore* no Brasil. A formação de um *cluster* industrial – conforme modelo utilizado na Europa – se apresenta viável para reduzir os riscos e incertezas deste tipo de empreendimento, em especial no ambiente brasileiro.

Sugestões para pesquisas futuras

Como sugestão para futuros trabalhos, propõe-se os seguintes temas:

- a) Análise do ciclo de vida de um parque eólico *onshore* x *offshore*;
- b) Avaliação da infraestrutura do Brasil para a logística reversa dos principais componentes eólicos, após o final da vida útil, bem como definição da localização de um centro de reciclagem para esses componentes;
- c) Identificação dos gargalos na cadeia de suprimentos dos componentes eólicos e sugestão de medidas de mitigação que venham a beneficiar a criação de valor através da economia circular;
- d) Definição do modelo de um *cluster* industrial que permita impulsionar a geração da energia eólica *offshore* no Brasil.

Anexo A – Características Técnicas de Empreendimentos Eólicos

Quadro 1: Características técnicas dos empreendimentos eólicos *offshore* com licenciamento ambiental em andamento no Brasil (atualizado até abril 2021)

Nº do Processo	Empreendimento	Localização	Turbinas	Potência Total	Distância da Costa	Profundidade	Início do Licenciamento
02001.003915/2016-68	Parque Eólico <i>Offshore</i> Caucaia Parazinho	Caucaia – CE	48 (6 MW) / 11 (2MW)	310 MW	2 – 9 Km	10 – 18 m	01/08/2016
02001.000823/2017-15	Complexo Eólico Marítimo Asa Branca I	Amontada – CE	50 (8 MW)	400 MW	3 – 8 Km	7 – 12 m	02/03/2017
02001.004675/2018-81	Planta Piloto de Geração de Eólica <i>Offshore</i>	Guamaré – RN	5 MW	5 MW	20 Km	12 – 16 m	16/02/2018
02001.035364/2019-44	Projeto Nova Energia	Salvador – BA	3,4 MW	3,4 MW	200 m	20 m	20/03/2019
02001.035371/2019-46	Complexo Eólico Marítimo Jangada	Trairi – CE	200 (15MW)	3 GW	22 Km	20 – 50 m	10/12/2019
02001.008294/2019-51	Complexo Eólico Maravilha	São João da Barra – RJ	200 (15MW)	3 GW	29 Km	20 – 50 m	10/12/2019
02001.035351/2019-75	Complexo Eólico Marítimo Águas Claras	Osório – RS	200 (15MW)	3 GW	7,3 Km	20 – 50 m	10/12/2019
02001.027228/2020-14	BI Pedra Grande	Pedra Grande – RN	52 (12 MW)	624 MW	-	-	30/11/2020
02001.019115/2020-45	Parque Eólico <i>Offshore</i> Aracatu	Costa do Rio de Janeiro (RJ) e do Espírito Santo (ES)	320 (12MW)	4 GW	20 Km	15 – 35 m	19/08/2020
02001.029651/2020-59	<i>Votu Winds</i> – Espírito Santo	Itapemirim, Marataízes e Presidente Kennedy (ES)	144 (10MW)	1,44 GW	20 – 45 Km	18 – 30 m	28/12/2020
02001.015445/2020-61	Energia Camocim <i>Offshore</i>	Camocim-CE	100 (12MW)	1,2 GW	-	-	04/07/2020
02001.000177/2021-64	Tramandaí <i>Offshore</i>	Tramandaí – RS	52 (13,5MW)	702 MW	6 Km	11 – 30 m	05/01/2021

Fonte: Elaboração própria.

Anexo B – Produção Técnica e Científica

RAMOS JÚNIOR, M. J.; DE ABREU, P. V. S. V.; CARDOSO, B. O. P.; BEAL, V. E. A importância da redução do consumo de água durante o ciclo de produção do concreto para construção civil. In: **Anais do 17o Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. 2020**, vol. 12, n.1. ISSN online 2317-9686. Disponível em: <http://www.meioambientepocos.com.br/anais2020.html>. Acesso em: 11 set. 2021.

RAMOS JÚNIOR, M. J.; FIGUEIREDO, P.S. Como a energia eólica está contribuindo para o Brasil atingir os compromissos assumidos para o setor elétrico no Acordo de Paris. In: **Anais do Congresso Internacional de Engenharia Mecânica e Industrial, Brasília, 2020**. <https://doi.org/10.29327/conemi.250989>.

ZAMORANO, L. G. S.; CARDOSO, B. O. P.; SILVA, C. DE S.; RAMOS JÚNIOR, M.J.; DE ABREU, P. V. S. V.; SAMPAIO, R. R.; MURARI, T. B. Paradox between sustainable development and corporate performance. In: **VI International Symposium on Innovation and Technology (SIINTEC). 2020**, vol. 7, n. 2. p. 1003-1011. ISSN 2357-7592. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-list/siintec-2020-347/list#articles>. Acesso em: 11 set. 2021.

RAMOS JÚNIOR, M. J.; FIGUEIREDO, P.S. A participação da energia eólica na gestão pública para sustentabilidade no Brasil. In: **Anais do Congresso de Energias Renováveis, Sorocaba, 2021**. Disponível em: <https://www.coner.com.br/submissao-trabalho/resumo/OGtKcm5DeHI5TWRna3RxODdpc01nQT09/>. Acesso em: 11 set. 2021.

RAMOS JÚNIOR, M. J.; FIGUEIREDO, P.S. Como a energia eólica está contribuindo para o Brasil atingir os compromissos assumidos para o setor elétrico no Acordo de Paris. In: **Anais do VI Seminário de Avaliação de Pesquisa Científica e Tecnológica (SAPCT) e V Workshop de Integração e Capacitação em Processamento de Alto Desempenho (ICPAD), Salvador, 2021**. Disponível em: <https://doity.com.br/anais/sapcticpad2021/trabalho/184506>. Acesso em: 11 set. 2021.

RAMOS JÚNIOR, M. J.; FIGUEIREDO, P.S.; TRAVASSOS JÚNIOR, X. L. Barriers for the Expansion of Wind Farms in Brazil. **World Renewable Energy Congress**, Lisboa, 2021.

RAMOS JÚNIOR, M. J.; ALMEIDA, E. S. Destinação de pás de turbinas eólicas instaladas no Estado da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade** [online]. 2021, vol. 8, n. 19, p. 979-992. ISSN 2359-1412. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2021\)081924](https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)081924).

RAMOS JÚNIOR, M.J.; FIGUEIREDO, P.S.; TRAVASSOS JÚNIOR, X. L. Barriers and Perspectives for the Expansion of Wind Farms in Brazil. **Renewable Energy and Environmental Sustainability**, v. 7, n. 6, 2022. <https://doi.org/10.1051/rees/2021055>