



Universidade de Aveiro
2021

Antônio Augusto Lippi de Vasconcellos Pinto da Fonseca **Estudo das Tecnologias de Geradores Eólicos em um Comparativo Brasil-Portugal**



**Antônio Augusto
Lippi de Vasconcellos
Pinto da Fonseca**

**Estudo das Tecnologias de Geradores Eólicos em
um Comparativo Brasil-Portugal**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica da Doutora Myriam Nunes Lopes, Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e coorientação científica da Doutora Sandra Rafael, investigadora do Departamento de Ambiente e Ordenamento & CESAM da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Prof. Luís António da Cruz Tarelho
Professor Associado Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Arguente

Prof.^a Fernando José Neto da Silva
Professor Auxiliar Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Orientador

Prof. Myriam Alexandra dos Santos Batalha Dias Nunes Lopes
Professor Associada Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a minha namorada, Débora Pons Fiorentin, por ter me apoiado e me ajudado durante todos esses meses de dissertação. Sem você eu não conseguiria concluir mais essa etapa da minha formação e espero de coração que você esteja presente em todas as etapas futuras da nossa vida.

Gostaria de agradecer a minha família, que mesmo estando a um oceano de distância nunca me fez desacreditar dos meus sonhos, sempre presente, mesmo que não fisicamente, para me dar forças para seguir com minha jornada. Aos meus professores, em especial a minha orientadora Myriam Lopes e a co-orientadora Sandra Rafael, que mesmo mediante aos problemas que surgiram em decorrência da pandemia do COVID-19 e mesmo com a mudança de tema de dissertação, sempre estiverem muito presentes, me apoiando e me ajudando a realizar este documento.

A todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para a conclusão dessa etapa: amigos, colegas de classe, colegas de estágio, colegas de casa. A todos o meu muito obrigado.

palavras-chave

Energia Eólica; Brasil; Portugal

resumo

Em função do acelerado crescimento populacional, aliado ao desenvolvimento tecnológico, a busca por recursos energéticos se torna um desafio cada vez maior. Somado ao fato da necessidade por alternativas renováveis que reduzam a emissão de gases com efeito de estufa, o crescimento das energias renováveis, em especial a eólica, vem se tornando motivo de interesse mundial. Com isso, essa dissertação tem como objetivo mostrar o desenvolvimento e implementação da energia eólica, em particular nos países Brasil e em Portugal, bem como entender as estratégias e mecanismos de incentivo e como os dois países se enquadram em um contexto global. Também é importante entender a evolução da tecnologia com o passar dos anos e quais os principais desafios para o futuro.

É exposto um estudo comparativo da energia eólica nos dois países supracitados, explicitando sua relevância do mix energético, sua presença nas redes elétricas nacionais, os incentivos efetuados pelos governos e os possíveis próximos passos que cada país deverá seguir.

Ao final é possível entender as semelhanças e diferenças, nomeadamente em relação ao potencial explorado em cada um dos casos por cada um dos países, e sugerir quais são as melhores direções a se seguir em cada um dos casos, tendo em vista a evolução global dessa tecnologia.

Foi possível observar a grande semelhança nos incentivos governamentais, bem como no crescimento dessa tecnologia, salientando o fato de em Portugal, por ter iniciado o processo de grande investimento nesta tecnologia anteriormente, uma considerável modernização, em se tratando de novas tecnologias, e melhor utilização de todo o seu potencial eólico. A flexibilização do mercado elétrico português também desempenha um papel importante se comparado com o atual mercado brasileiro.

Para além disso também são expostas possíveis alternativas e soluções mediante a intermitência dessa tecnologia, e o final da sua vida útil, que gera uma quantidade excessiva de material que poderia ser reciclado ou reutilizado.

keywords

Wind Energy; Brazil; Portugal

abstract

Due to the accelerated populational growth, combined with technological development, the search for energy resources becomes an increasing challenge. Furthermore, it's also important to highlight the need for renewable alternatives that reduces the greenhouse gases emissions. As result, the continuous grow of the renewable energies, especially wind power, it become a global interest. Thus, this dissertation aims to show the development and implementation of this technology, particularly in Brazil and Portugal, as well as to understand the strategies and incentive mechanism used by both countries and how the two countries fit into a global scenario. It is also important to understand the evolution of this technology through the years and to show what will be the future challenges.

A comparative study of wind energy in the two countries mentioned above is exposed, explaining its relevance in the energy matrix, its presence in national electricity grids, the incentives made by the two governments and the possible next steps that each country should follow for the future of this technology.

In the end, it is possible to understand the similarities and differences, especially in relation to the potential exploited in each and suggest what are the best directions to follow in each one of the scenarios, based on the global evolution of this technology.

It was also possible to see the similarity related to the government incentives, as well as in the growth of this technology, emphasizing the fact that in Portugal, because it started the great process of investment in this technology previously, there is a considerable modernization, in new technologies, comparing to Brazil and a better use of all their wind potential. The electrical market flexibility in Portugal also plays an important role when comparing to the current Brazilian market.

In addition, possible alternatives, and solutions, due to their intermittence problem and the end of its useful life, are also exposed, which generates an excessive amount of material that could potentially be reused or recycled.

Índice Geral

Índice Geral.....	xiii
Índice de Figuras.....	xvi
Índice de Tabela.....	xviii
Índice de Equações.....	xix
Lista de Siglas.....	xx
Lista de Unidades de Medida.....	xxi
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivo Geral do Trabalho.....	2
1.3 Abordagem Metodológica.....	3
1.4 Estrutura da Dissertação.....	4
2. Energia eólica.....	7
2.1 Histórico da energia eólica.....	7
2.2 Panorama mundial da energia eólica.....	8
2.3 Tipos de geradores eólicos.....	10
2.3.1 HAWT e VAWT.....	10
2.3.2 Energia eólica offshore.....	13
2.4 Funcionamento de um gerador eólico.....	14
2.5 Equações que regem a energia eólica.....	16
2.6 Instalação de geradores eólicos.....	17
2.6.1 Testes em túnel de vento.....	17
2.6.2 Escolha do local e orografia.....	19
3. Energia eólica em Portugal.....	21
3.1 Panorama da energia eólica em Portugal.....	21
3.2 Parques eólicos Portugal Continental e ilhas.....	22
3.2.1 Parque eólico Marvila II – São Mamede.....	24
3.2.2 Parque eólico Penacova - Coimbra.....	26
3.2.3 Aerogerador para autoconsumo da RiaBlades.....	28
3.2.4 WindFloat Atlantic.....	30
3.2.5 Novo projeto Cantanhede e Guarda.....	31
3.3 Incentivos governamentais/programas.....	32
3.4 Energia e rede elétrica.....	34
3.4.1 Sistema Elétrico Nacional (SEN).....	34

3.4.2	Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL).....	36
3.4.3	Sistema de rede elétrico nas ilhas	37
3.4.4	Arquipélago dos Açores	37
3.4.4.1	Ilha Graciosa nos Açores	39
3.4.4.2	Ilha Terceira nos Açores	40
3.4.5	Arquipélago da Madeira	41
4.	Energia eólica no Brasil	43
4.1	Panorama da energia eólica no Brasil	43
4.2	Parques eólicos	47
4.2.1	Região Nordeste	49
4.2.1.1	Bahia.....	49
4.2.1.2	Paraíba	50
4.2.1.3	Pernambuco e Piauí	51
4.2.1.4	Rio Grande do Norte	52
4.2.1.5	Ceará	54
4.2.2	Região Sul.....	55
4.3	Incentivos governamentais / programas	56
4.4	Energia e rede elétrica.....	58
4.4.1	Setor Elétrico Brasileiro	58
4.4.2	Sistemas Integrado Nacional	60
4.4.3	Sistema Isolados	61
5.	Comparação Brasil e Portugal	65
5.1	Comparação geofísica	65
5.2	Tecnologias utilizadas.....	70
5.3	Comparação de incentivos governamentais	71
5.4	Comparação do sistema elétrico	71
5.5	Comparação de potência instalada e energia gerada	72
6.	Pesquisa e inovação tecnológica.....	75
6.1	Tecnologias em desenvolvimento.....	75
6.1.1	Tecnologias híbridas	75
6.1.2	Bladeless wind turbine	78
6.1.3	Contra-Rotating Wind Turbines (CRWT).....	80
6.2	Armazenamento de energia.....	81
6.2.1	Hidrogénio Verde	81
6.2.2	Armazenamento de energia em baterias	82
6.2.3	Armazenamento de energia potencial.....	83

6.3 Fim de vida dos parques eólicos	83
6.3.1 Manutenção de Parques Eólicos.....	84
6.3.2 Repowering	86
6.4 Fim de vida dos parques eólicos	87
7. Conclusão.....	91
Referências	94

Índice de Figuras

Figura 1 – Evolução da dimensão e potencial energético das turbinas eólicas	7
Figura 2 – Total de potência instalada, em GW, nos últimos 5 anos.....	8
Figura 3 – Mercado de energia eólica em 2019	9
Figura 4 – Novas instalações e valores absolutos por países.....	10
Figura 5 – Modelo de HAWT	11
Figura 6 – Modelos de VAWT, Savonius e Darrieus respectivamente	12
Figura 7 – Tipos diferentes de instalação de um aerogerador offshore	14
Figura 8 – Componentes de um gerador eólico	16
Figura 9 – Esquema simplificado de um túnel de vento	18
Figura 10 – Variação da aceleração do vento em função do relevo.....	19
Figura 11 – Mix energético Portugal Continental 2020.....	22
Figura 12 – Capacidade de geração eólica em Portugal, 2018.....	23
Figura 13 – Parques eólicos Região de Leiria.....	25
Figura 14 – Distribuição dos ventos em Leiria.....	26
Figura 15 – Parque eólico Penacova	27
Figura 16 – Distribuição dos ventos em Penacova	27
Figura 17 – Imagem do aerogerador eólico da empresa Ria Blades	28
Figura 18 – Distribuição dos ventos em Vagos	29
Figura 19 – WindFloat Atlantic	31
Figura 20 – Evolução das tarifas eólicas e solares para novos projetos	33
Figura 21 – Tarifas para novos projetos eólicos.....	33
Figura 22 – Atual modelo estrutural SEN	35
Figura 23 – Mix energético dos Açores.....	38
Figura 24 – Energia eólica produzida nos Açores em 2019	39
Figura 25 – Projeto Graciólica	40
Figura 26 – Parque eólico da Serra do Cume	41
Figura 27 – Parque eólico do Paúl da Serra.....	42
Figura 28 – Potencial eólico brasileiro instalado, em GW	44
Figura 29 – Mix elétrico energético brasileiro	45
Figura 30 – Divisão do Brasil por Regiões	47
Figura 31 – Parques eólicos e solares no Estado da Bahia	50
Figura 32 – Complexo Ventos do Araripe	52
Figura 33 – Aerogeradores no Rio Grande do Norte.....	53
Figura 34 – Projeto de parque eólico offshore em Camocim.....	54
Figura 35 – Corredor do Senades no Rio Grande do Sul.....	56
Figura 36 – Fiscalização do Setor Elétrico Brasileiro	59
Figura 37 – Mapa do Sistema de transmissão da SIN	60
Figura 38 – Assinalado o Estado de pernambuco.....	65
Figura 39 – Disposição da área de estudo de potencial eólico por cada região da Europa.....	66
Figura 40 – Velocidade dos ventos atingida a uma altitude de 100m	67
Figura 41 – Fluxo de potência eólica no Brasil.....	68
Figura 42 – Potencial eólico brasileiro.....	69
Figura 43 – Esquema de um modelo híbrido de energia.....	76
Figura 44 – Tecnologia da Solar Wind Bridge	76
Figura 45 – Solar Wind Project.....	77

Figura 46 – Building Integrated Wind Turbine	78
Figura 47 – Esquema de funcionamento da Vortex Bladeless	79
Figura 48 – Contra-Rotating Wind Turbine.....	80
Figura 49 – Esquema da produção de hidrogénio verde.....	82
Figura 50 – Central hidroelétrica reversível.....	83
Figura 51 – Dados referentes aos aerogeradores com mais de 15 anos.....	84
Figura 52 – Estudo de falhas das pás e gerador em um caso simulado	85
Figura 53 – Idade referente as capacidades eólicas instaladas no mundo	87
Figura 54 – Pás eólicas em aterro sanitário	88
Figura 55 – Pás trituradas para reutilização.....	89

Índice de Tabela

Tabela 1 – Produção de energia eólica em 2019	48
Tabela 2 – Potência instalada por estado no Brasil no começo de 2020	48
Tabela 3 – Sistemas isolados de Rondônia	62
Tabela 4 – Comparação de Potência Instalada.....	72
Tabela 5 – Eficiência na produção de energia em 2019	73

Índice de Equações

Equação 1	16
Equação 2	17
Equação 3	17
Equação 4	46

Lista de Siglas

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
APREN	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social
CERNE	Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia
COFINS	<i>Contribuição para Financiamento da Seguridade Social</i>
CRWT	<i>Contra-Rotating Wind Turbine</i>
EDA	Energia dos Açores
EDP	Energias de Portugal
EEM	Empresa de Eletricidade da Madeira
EERE	<i>Energy Efficiency & Renewable Energy</i>
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases com efeito de estufa
GWEC	<i>Global Wind Energy Council</i>
HAWT	<i>Horizontal Axis Wind Turbine</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEP	Instituto Electrotécnico Português
IPCC	<i>International Panel on Climate Change</i>
MIBEL	Mercado Ibérico Elétrico
PIS	<i>Programa de Integração Social</i>
PNAC	Programa Nacional para as Alterações Climáticas
Proinfa	Programa de Incentiva às Fontes Alternativas
REA	Relatório do Estado do Ambiente
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEN	Serviço Elétrico Nacional
SIN	Sistemas Integrados Nacional
VAWT	<i>Vertical Axis Wind Turbine</i>

Lista de Unidades de Medida

Área

km² *Quilómetro cuadrado*

Comprimento

m *Metro*

Energia

GWh *Gigawatt-hora*

TWh *Terawatt-hora*

Intensidade

kW/km² *Quilowatt por quilómetro cuadrado*

W/hab *Watt por habitante*

Potência

GW *Gigawatt*

kW *Quilowatt*

MW *Megawatt*

W *Watt*

Temperatura

°C *Graus Celsius*

Velocidade

km/h *Quilómetro por hora*

m/s *Metro por segundo*

1. Introdução

1.1 Enquadramento

Em uma sociedade que consome recursos energéticos de modo acelerado, a busca por novas alternativas de produção de energia se torna necessária. Este alto consumo de recursos contribui para o aumento das emissões dos gases com efeito de estufa, que causam impactos ambientais severos no planeta.

Um estudo, feito pela IEA em 2018, expõe que com o aumento das áreas urbanas e a globalização é possível que a demanda de energia mundial cresça em mais de 25% até 2040, estimando o valor em função do crescimento dos dez anos posteriores ao estudo. Ainda salienta que se não fosse a contínua melhora nas medidas de eficiência energética e uma forte política de segurança energética e sustentável, essa demanda poderia ser ainda maior (IEA, 2018).

O consumo de eletricidade é um dos principais responsáveis por esses valores elevados. O setor elétrico está a experimentar sua mais dramática transformação. Cada vez mais, a eletricidade é o "combustível" das economias em crescimento que estão a investir mais em setores industriais leves, serviços e tecnologias digitais. Sua participação no consumo final global se aproxima de 20% e projeta-se um crescimento ainda maior para os próximos anos. Nas economias avançadas, o crescimento da demanda de eletricidade é modesto, mas a exigência de investimento ainda é enorme (IEA, 2018).

De acordo com o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC), em seu quinto relatório de avaliação publicado no ano de 2014, as evidências da atividade humana sobre o sistema climático, no que concerne o aquecimento global, são "inequívocas", sendo necessária uma grande monitorização das emissões de poluentes em especial referentes aos gases: CO₂ (Gás carbónico), CH₄ (metano), N₂O (Óxido Nitroso) e hidrocarbonetos em geral (REA, 2020).

Uma das possíveis alternativas para conseguir suprir a necessidade energética, sem que seja necessário a emissão de mais poluentes para a atmosfera, e de preferência reduzindo essa taxa de emissão, é a adoção de políticas que promovam as energias renováveis. Essa energia é produzida de fontes que podem ser "inesgotáveis" ou que consigam ser reabastecidas dentro do tempo de vida de um ser humano, como é o caso da energia solar, eólica, biomassa, energias das marés e afins (Student Energy, 2019). Além disso, essas fontes produzem energia de forma mais "limpa", e geram um impacto ambiental menor no meio ambiente e no ecossistema local.

Um dos grandes problemas dessas fontes energéticas é que algumas são intermitentes e imprevisíveis, como é o caso da energia solar e eólica, ou seja, sua

produção está condicionada com os fatores climáticos da região (Tolmasquim M, 2017).

No caso de Portugal, devido ao seu grande potencial eólico, aliado à uma política de forte investimento e incentivos, esse setor energético tem evoluído bastante e se tornado um fator relevante no mix energético do país (IEP, 2019). De acordo com os dados da APREN, em 2019 a energia eólica já era responsável por um montante equivalente a 26% do total da produção de eletricidade no país, e gerando aproximadamente 50% do total de energia proveniente de fontes renováveis.

No caso brasileiro esse percentual ainda é modesto, correspondente a aproximadamente 10% do mix energético do país, porém, desde 2016, o crescimento desse setor está em grande evolução, totalizando aproximadamente 15 GW de potência instalada, mesmo com valores percentuais abaixo dos de Portugal, por se tratar de um país de dimensões continentais, o valor absoluto de energia eólica produzida no Brasil é superior ao de Portugal (Canal BioEnergia, 2018).

A energia eólica brasileira, em 2019, atingiu o segundo lugar no mix de produção elétrica do país, atrás apenas das fontes hídricas que correspondem ao maior montante gerador de energia no país, o que mostra uma evolução e um grande potencial ainda a ser explorado (ABEeólica, 2020).

Ao expor os fatos é possível ver dois cenários diferentes, entretanto ambos com um grande potencial na geração de energia eólica. Portugal possui esse setor como um dos maiores responsáveis pela geração de energia no país, terceira maior participação no mix energético, e prevê um crescimento moderado para os próximos anos. Já o Brasil possui valores absolutos de produção de energia eólica elevados, mas percentualmente a relevância deste setor no mix energético do país ainda não é tão grande, próximo aos 10%. O ponto positivo brasileiro é a eficiência na geração de energia elétrica a partir do seu potencial eólico, possuindo um alto fator de conversão, aliado ao fato de possuir um crescimento ainda recente dessa tecnologia e uma região costeira muito favorável para se explorar esse potencial.

Assim, um estudo detalhado do potencial da energia eólica, como ela vem evoluindo através dos anos, as novas tecnologias do mercado bem como as estratégias e políticas adotadas por esses dois países, pode ser de grande valia para apoiar os decisores políticos e futuros investimentos nesse segmento.

1.2 Objetivo Geral do Trabalho

Pretende-se com esta dissertação avaliar o desenvolvimento das tecnologias de geração de energia eólica, bem como fazer um comparativo entre os países Brasil e Portugal, conforme os tópicos abaixo:

- Mostrar e entender como funcionam os diferentes aerogeradores eólicos modernos, expondo todas as peças e suas respectivas funcionalidades.
- Entender os parâmetros que devem ser estudados para a instalação ou não de um aerogerador, usando como exemplo os casos dos dois países em destaque para a avaliação.
- Mostrar o desenvolvimento, evolução e perspectivas futuras das tecnologias eólicas no Brasil e em Portugal citando os principais aspectos que diferem os dois países em especial devido a diferença territorial e pelo fato de ser um país desenvolvido e um em desenvolvimento.
- Mostrar as diferentes estratégias políticas adotadas na abordagem desse seguimento de tecnologias renováveis
- Fazer a comparação entre os dois países, avaliar os pontos positivos e negativos dessa tecnologia em cada um dos casos e propor possíveis alternativas para o crescimento dessa tecnologia nos dois sítios, baseados nas informações recolhidas e no conhecimento prévio de instalações anteriores.
- Expor atuais e futuras tecnologias de reciclagem e/ou reutilização do material utilizado em aerogeradores pensando no futuro dessa tecnologia.

1.3 Abordagem Metodológica

Para a realização desta dissertação, foi necessário aplicar diferentes metodologias e procedimentos para cada um dos capítulos subsequentes.

Primeiramente é importante ressaltar que a intenção original dessa dissertação era a realização de estudos acerca da influência da variação da velocidade e direção da corrente de ar em um aerogerador eólico, modelado com impressora 3D, no túnel de vento da Universidade de Aveiro, infelizmente devido a um ano atípico em função da pandemia do Covid-19, a realização de uma dissertação prática foi inviabilizada. Mas o conhecimento adquirido nos primeiros meses de pesquisa, onde foi possível verificar o funcionamento de um túnel de vento, e especialmente a utilidade do mesmo para os cálculos referentes a escolha dos tipos de aerogeradores e dos locais a serem instalados, serviram como base para essa dissertação.

A metodologia dessa dissertação ocorreu em grande parte com base na revisão bibliográfica pertinente da área de estudo, em especial dos impactos da energia eólica no mundo e, nos casos específicos de Brasil e em Portugal. Foram analisadas 160 referências que se distribuem entre dissertações de mestrado e doutoramento, artigos científicos, livros, documentos de estratégia política, relatórios técnicos entre outras fontes. Em que foi realizado a partir da pesquisa,

buscando pro palavras chaves, em inglês e português, como por exemplo: wind energy, wind turbine, eolic energy. E dentre as principais fontes de informação, é possível destacar três muito importantes: ABEólica (Brasil), Apren (Portugal) além da Global Wind Energy Council (mundo) em um panorama global.

Para além da pesquisa bibliográfica referente aos dados de energia eólica, alguns conhecimentos prévios foram importantes no desenvolvimento do trabalho. Para melhor entender a construção de aerogeradores eólicos foi importante o estágio profissional realizado na empresa Ria Blades. Durante o estágio foi possível perceber todas as etapas de produção de uma pá eólica, bem como entender como é feita a concepção de um aerogerador. Tal estágio também serviu de motivação para o estudo das tecnologias referentes a essa fonte energética.

Ademais o bom entendimento do potencial de geração de energia de cada aerogerador também foi abordado durante os anos de estudo no Mestrado de Sistemas Energéticos Sustentáveis. Entender as variáveis a serem consideradas e como funciona um aerogerador também serviram de motivação e aumentaram o interesse por essa área.

Em função do caráter inovador desta dissertação, foi interessante buscar novas tecnologias do mercado, que podem se tornar atrativos investimentos para os dois países. Assim como, verificar dois dos principais desafios referentes ao uso dessa tecnologia, nomeadamente ao armazenamento de energia e ao fim de sua vida útil, referente à reciclagem de material.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação será dividida em seis capítulos separados conforme as informações a seguir.

O capítulo 1 apresenta uma breve introdução sobre o consumo de energia atual e a motivação por estudar energias renováveis, em específico a energia eólica. Será exposto também os objetivos do trabalho e a estrutura que será realizada.

No capítulo 2 é realizado um apanhado histórico da utilização do ar como forma de se obter energia. Serão expostos os aerogeradores eólicos atualmente utilizados, o funcionamento do aerogerador bem como suas componentes, as equações que regem o funcionamento do mesmo e os estudos realizados acerca dessa tecnologia. No final do capítulo serão apresentados dados estatísticos referentes a produção de energia eólica mundial nos últimos anos.

O capítulo 3 sistematiza os dados referentes à produção de energia eólica em Portugal, a importância dessa energia para o país, a distribuição através da rede elétrica, os incentivos recebidos, em âmbito nacional ou europeu, que a tecnologia recebe e uma breve comparação da situação dessa energia em Portugal Continental e nas ilhas.

No capítulo 4 é abordado o caso do Brasil, dando ênfase ao fato de ser um país em desenvolvimento, que pode receber um maior auxílio de outros países na forma de incentivos. Expondo que devido a sua grande extensão territorial é possível que sejam realizadas diferentes análises e tomadas de decisões em projetos, dependendo do sítio em que o mesmo será realizado.

No capítulo 5 é realizada a comparação entre Brasil e Portugal, para entender as diferenças nas tomadas de atitude governamentais e empresariais por se tratar de dois países que, por mais que falem o mesmo idioma, possuem características físicas muito diferentes. Serão identificadas as principais diferenças no consumo e produção de energias renováveis entre um país desenvolvido de pequena extensão territorial e um em desenvolvimento de tamanho continental

O capítulo 6 apresenta as tecnologias recentes ou em desenvolvimento que visam ampliar as opções de produção de energia através da energia dos ventos, e com isso, verificar a possibilidade e viabilidade da utilização dessas novas tecnologias nos dois casos de estudo. Também haverá um breve estudo sobre a reciclagem e/ou reutilização do material utilizados por esses aerogeradores, um problema que tem começado a ser recorrente em países que investiram nessa tecnologia há algumas décadas.

O capítulo 7 será de fechamento e conclusão da dissertação, identificando os possíveis próximos passos que cada um dos casos de estudo possa dar para a evolução dessa tecnologia. Apresentar os pontos positivos de cada caso de estudo e concluir essa literatura como possível fonte de informação para o futuro tanto para esses dois países quanto para outros que possuam características semelhantes e estejam desenvolvendo a tecnologia de geradores eólicos.

2. Energia eólica

2.1 Histórico da energia eólica

A utilização da energia proveniente dos ventos vem sendo explorada há milhares de anos, desde a época em que era utilizada para impulsionar barcos pelo Rio Nilo em 5000 A.C (EERE, 2020). Em 200 A.C moinhos a vento já eram utilizados na Pérsia, no Oriente Médio, e pequenas bombas de água trabalhavam a partir da energia eólica na China.

Ao passar dos anos a energia eólica começou a se expandir ao redor do mundo. Moinhos de vento e bombas a vento eram bastante utilizadas para produção de alimentos em meados do século XI (EERE, 2020).

No começo do século XIX, quando linhas de transmissão elétrica passaram a cobrir áreas rurais, o uso da energia eólica teve o seu grande declínio, sendo utilizada apenas em áreas onde o acesso dessa transmissão era muito remoto (EIA, 2019).

No começo dos anos 70, com a preocupação com a escassez de fontes de energia fóssil, aliado aos primeiros sinais de impactos ambientais severos gerados pelo uso excessivo desse recurso, muitas tecnologias para se obter energia de modo alternativo e menos poluente passaram a ser desenvolvidas e aprimoradas, como é o caso da energia eólica para a produção de eletricidade (EIA, 2019).

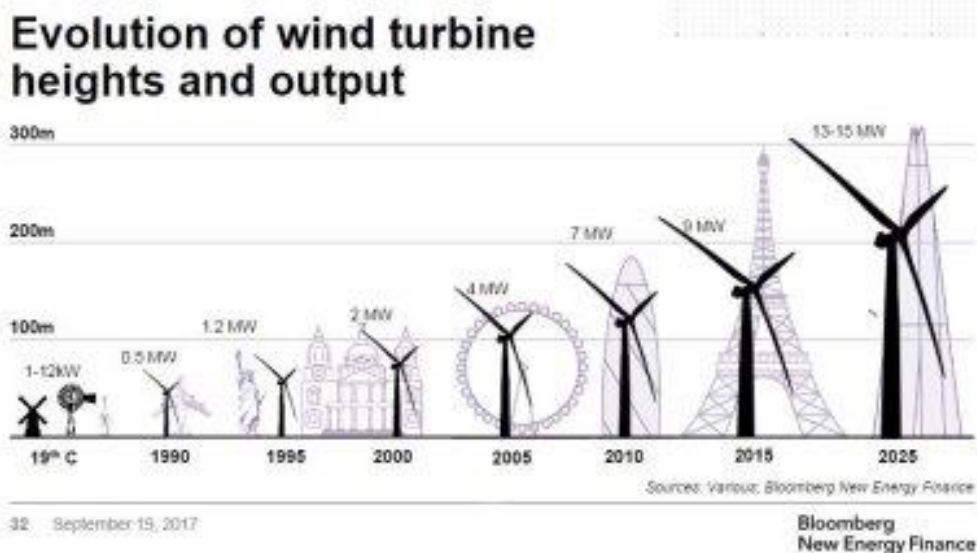


Figura 1 – Evolução da dimensão e potencial energético das turbinas eólicas

Fonte: Bloomberg New Energy Finance, 2017

As atuais turbinas eólicas, utilizam a energia cinética proveniente dos ventos, que rotacionam as suas pás e convertem a energia mecânica em energia elétrica

(Mohari et al, 2018). A Figura 1 demonstra a evolução do potencial energético das turbinas eólicas no século passado e a evolução das últimas décadas.

2.2 Panorama mundial da energia eólica

Para melhor entender a evolução da energia eólica e suas tecnologias é importante identificar o panorama mundial em relação a essa fonte de energia.

Durante o ano de 2019 foram instalados mais de 60 GW de potência em aerogeradores eólicos em todo o mundo, colocando o ano como o segundo com maior crescimento da indústria eólica, posicionando um pouco abaixo do crescimento de 2015 (64 GW). Esse valor supera em 10% o crescimento de 2018 (GWEC, 2019). A Figura 2 expressa o crescimento desta tecnologia nos últimos cinco anos, expondo os valores em GW do total de potência nova instalada em cada um dos anos.

Por mais que seja um número relevante, Ben Backwell, CEO da Global Wind Energy, salienta que esses valores ainda estão abaixo do que se pode atingir no futuro próximo. Segundo a GWEC (2019) o maior desafio da indústria é criar um período de crescimento acelerado e sustentável que corresponderá a um crescimento anual de instalação superior a 100 GW de potência, culminando em um pico de 200 GW anuais no final da próxima década.

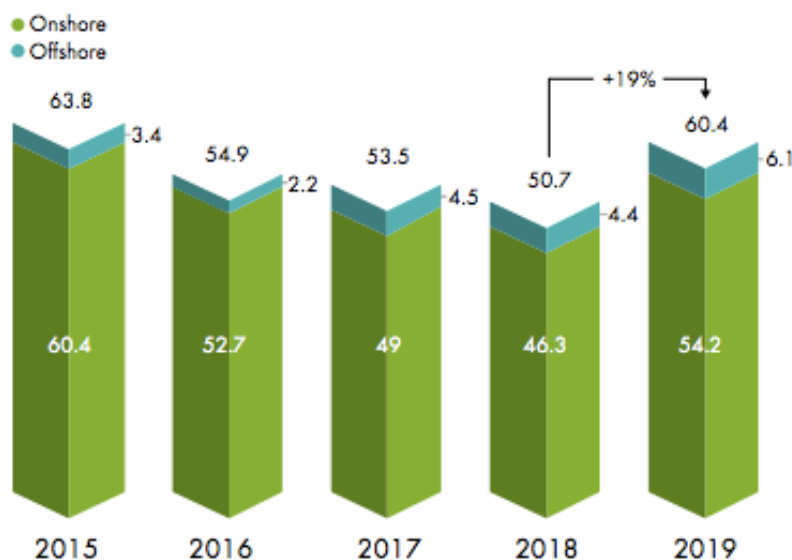


Figura 2 – Total de potência instalada, em GW, nos últimos 5 anos

Fonte: Global Wind Energy, 2019

Com o crescimento de 60,4 GW de instalação, o valor acumulado global atingiu um total de 651 GW. Desse total de novas instalações em 2019, mais de 6 GW são

provenientes de tecnologías eólicas offshore, o maior crescimento desse mercado da história.

Top markets 2019

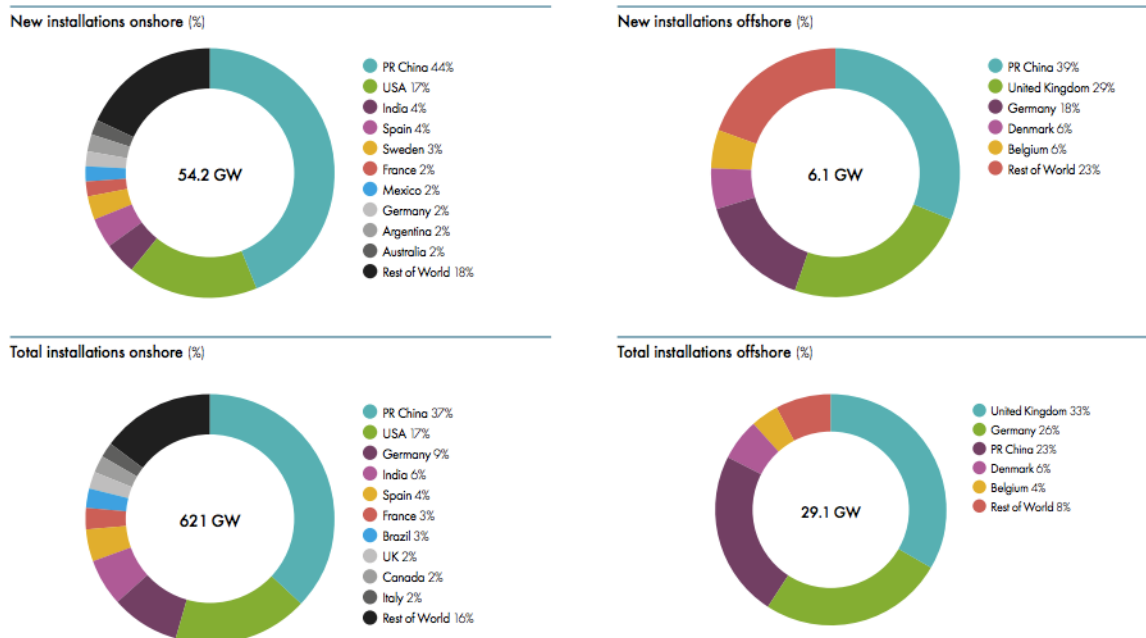


Figura 3 – Mercado de energia eólica em 2019

Fonte: GWEC, 2019

Em relação ao crescimento regional, é importante destacar a grande presença do mercado asiático, capitaneado pela China, que foi responsável por 44% das novas instalações onshore e 39% das instalações offshore. As Américas e a Europa também tiveram um bom aumento de instalações. Os Estados Unidos destacam-se nas instalações onshore com 17% do total e o Reino Unido nas offshore com um total de 29% (GWEC, 2019). Nas Figuras 3 e 4 está expresso o percentual de instalações onshore e offshore do ano de 2019 dos países que mais cresceram e os mais relevantes atualmente.

Além do importante crescimento ocorrido no ano de 2019, já é possível destacar um importante número em relação as energias renováveis do início de 2020.

As energias, eólica e solar, produziram em conjunto um recorde de 10% do total de eletricidade global no primeiro semestre de 2020 (Engenhariae, 2020). Esses valores são decorrentes de uma redução drástica das usinas a carvão mineral que operaram com menos da metade da sua capacidade durante esse período de tempo.

MW, onshore	New installations 2018	Total installations 2018	New installations 2019	Total installations 2019
Total onshore	46,345	567,592	54,206	621,421
Americas	11,891	134,843	13,427	148,072
USA	7,588	96,488	9,143	105,436
Canada	566	12,816	597	13,413
Brazil	1,939	14,707	745	15,452
Mexico	929	4,935	1,281	6,215
Argentina	445	673	931	1,604
Chile	204	1,619	526	2,145
Other Americas	220	3,605	204	3,807
Africa, Middle East	970	5,728	944	6,673
Egypt	380	1,190	262	1,452
Kenya	312	338	0	338
South Africa	0	2,085	0	2,085
Other Africa	278	2,115	682	2,798
Asia-Pacific	24,468	255,937	28,094	284,024
China	20,200	205,804	23,760	229,564
India	2,191	35,129	2,377	37,506
Australia	549	5,362	837	6,199
Pakistan	400	1,189	50	1,239
Japan	261	3,652	274	3,921
South Korea	127	1,229	191	1,420
Vietnam	32	228	160	388
Philippines	0	427	0	427
Thailand	568	1,215	322	1,538
Other Asia	140	1,702	123	1,822
Europe	9,016	171,084	11,741	182,652
Germany	2,402	52,932	1,078	53,913
France	1,563	15,307	1,336	16,643
Sweden	717	7,216	1,588	8,804
United Kingdom	589	13,001	629	13,617
Turkey	497	7,370	686	8,056
Other Europe	3,248	75,258	6,424	81,619

MW, offshore	New installations 2018	Total installations 2018	New installations 2019	Total installations 2019
Total offshore	4,348	22,997	6,145	29,136
Europe	2,658	18,280	3,627	21,903
United Kingdom	1,312	7,963	1,764	9,723
Germany	969	6,382	1,111	7,493
Belgium	309	1,186	370	1,556
Denmark	61	1,329	374	1,703
Netherlands	0	1,118	0	1,118
Other Europe	7	302	8	310
Asia-Pacific	1,690	4,687	2,518	7,204
China	1,655	4,443	2,395	6,838
South Korea	35	73	0	73
Other Asia	0	171	123	292
Americas	0	30	0	30
USA	0	30	0	30

Figura 4 – Novas instalações e valores absolutos por países

Fonte: GWEC, 2019

Mesmo que, devido a pandemia do COVID-19, tenha ocorrido uma redução na demanda de energia mundial, a produção de energia eólica e solar, em conjunto, subiu de 992 TWh no primeiro semestre de 2019 para 1.129 TWh no primeiro semestre de 2020. E, devido a esse fato, o percentual de contribuição do setor eólico em relação ao montante total de energia elétrica consumida mundialmente, aumentou em relação aos últimos anos, chegando a um total de 10%, frente ao máximo anterior de 4,6% (Engenhariae, 2020).

Algumas das principais potências económicas mundiais como China, Estados Unidos, Índia, Japão, Brasil e Turquia já atingem ao menos 10% do total de produção de energia através dessas duas fontes renováveis, e a União Europeia está em destaque nesse quesito atingindo 33% do seu total (Engenhariae, 2020).

2.3 Tipos de geradores eólicos

2.3.1 HAWT e VAWT

Pode-se distinguir os modelos de geração eólica em dois grandes grupos, os HAWT, Horizontal Axis Wind Turbines e os VAWT, Vertical Axis Wind Turbines. A diferenciação é devido ao eixo de rotação em que as pás irão atuar e gerar energia, podendo ser horizontalmente, modelo mais utilizado atualmente e que possui maior

eficiência na conversão de energia, ou verticalmente, modelo que tem sido mais estudado nos últimos anos devido ao seu, ainda pouco explorado, potencial máximo de eficiência.

- HAWT

As HAWT possuem pás de eixo horizontal paralelas ao terreno, que geram energia elétrica através do potencial cinético dos ventos (Mohari et al, 2018), a Figura 5 demonstra o esquema de uma HAWT. Este é o tipo mais popular e conhecido de turbinas eólicas, por isso, recebe o maior incentivo governamental para estudos e inovações tecnológicas (Wahab et al, 2006). Outro motivo é o fato de que são mais eficientes que as VAWT ao extrair a energia da força do vento (Winslow A, 2017). Devido ao seu design e concepção, elas são capazes de extrair energia através da rotação completa das suas pás, se colocadas sobre fluxo constante de vento, ao se atingir uma velocidade mínima necessária para sua operação. Esse valor depende do tamanho, design e potência de cada turbina.



Figura 5 – Modelo de HAWT

Fonte: Electrical 4U, 2020

Porém existem algumas desvantagens dessa tecnologia, como o fato de precisarem estar direcionadas na posição exata do fluxo de vento, para que assim possam gerar energia de forma mais eficiente (Mohari et al, 2018). Em locais onde o fluxo do vento não ocorre de forma constante, esse modelo pode não ser muito aconselhável.

Para resolver esse problema existem mecanismos que controlam a posição das pás para que as mesmas estejam sempre viradas para o local desejável, o “yaw drive” determina a direção onde o fluxo de vento está vindo, e o “yaw motor” é o

responsável pelo deslocamento e mudança de direção do conjunto de pás e turbina do sistema (Saad MM, Asmuin N, 2014).

- VAWT

Ao contrário do que é proposto pelos HAWT, os VAWT possuem pás que rotacionam perpendicularmente ao plano. Elas utilizam da força de arrasto ou sustentação para operar (Mohari M. et al 2018).

Existem dois principais modelos de VAWT e ambos geram energia de modo diferente, eles são o Darrieus e Savonius, expostos na Figura 6.

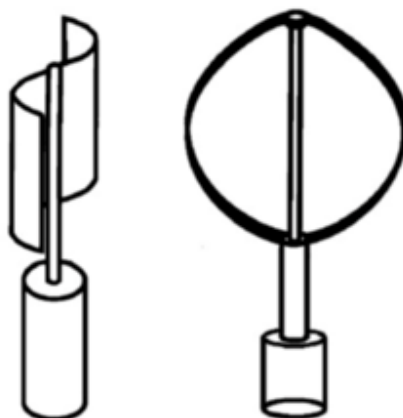


Figura 6 – Modelos de VAWT, Savonius e Darrieus respectivamente

Fonte: ResearchGate.net, 2020

O modelo de Savonius utiliza da força de arrasto para gerar energia, em um modelo similar a um moinho de água. Já o modelo de Darrieus usa a aerodinâmica das pás eólicas para gerar sustentação e mover a turbina eólica (Mohari M. et al, 2018).

Conforme dito, devido a sua menor eficiência em comparação aos HAWT, elas não possuem tanto incentivo de governos e instituições de pesquisa, porém possuem algumas vantagens em relação ao primeiro modelo que poderiam ser mais exploradas. Primeiramente em relação a direção, as VAWT podem ser colocadas em qualquer direção referente a corrente do vento, que ainda assim conseguem ser eficientes na geração de energia, tornando uma opção excelente em ambientes de grande turbulência, uma escolha atraente em ambientes urbanos (Toja F, 2013). As VAWT trabalham muito bem em terrenos onde a velocidade do vento é muito constante, e não há grande variação no fluxo de vento, nessas situações específicas é possível atingir uma eficiência superior ao das HAWT. Outra vantagem no âmbito urbano é poder gerar energia a partir de ventos de menor velocidade. E finalmente as VAWT também são mais silenciosas que as HAWT.

Existem também as desvantagens, que vão além de apenas produzir proporcionalmente menos energia. Elas são ineficientes em ambientes com ventos de alta velocidade, normalmente em áreas rurais, onde se concentra a maior parte dos parques eólicos, devido a problemas com sua instabilidade dinâmica e a seus torques iniciais (Moriarty M, 2010).

2.3.2 Energia eólica offshore

Recentemente os avanços tecnológicos na área da energia eólica têm se direcionado para a exploração de energia no modelo offshore. Segundo a Wind Europe, é previsto um crescimento dos atuais 16 GW existentes no continente, dados de 2017, para um total de aproximadamente 100 GW nesse setor até 2030, com destaque para países como Reino Unido e Alemanha (Wind Europe, 2017)

A energia eólica offshore é a vertente da energia eólica que produz energia em alto-mar. O ponto positivo desse ramo da energia eólica é o fato de que em alto-mar os ventos são mais constantes e atingem velocidades superiores aos ventos em terra, aumentando assim o seu potencial de geração de energia (Iberdrola, 2020).

Em 2018, o total de capacidade instalada de energia eólica offshore era de 23 GW, com grande destaque para o Reino Unido, Alemanha e China respectivamente. Esses países contaram com grande incentivo fiscal de seus governos para começar a alavancar essa nova opção de se obter energia dos ventos. No caso europeu, maior mercado em produção de energia eólica offshore, um dos grandes motivos pelo seu crescimento é devido ao Pacote Clima Energia, segundo a Diretiva 2009/28/CE.

A Diretiva tinha por objetivo a redução das emissões de gases de efeito de estufa em 20%, em relação aos níveis de 1990; melhorar a eficiência energética em 20%; e fazer com que 20% do total de energia utilizada na EU fosse proveniente de fontes renováveis. Assim ela ficou popularmente conhecida como a política do 20-20-20 (Apambiente, 2020)

Assim alguns países, capitaneados por Reino Unido e Alemanha, começaram a investir mais fortemente nesse setor. No continente asiático China, Japão, Coreia do Sul e Índia lideram as pesquisas nesse setor e começam a estimular as indústrias locais para investirem nesse ramo. Nas américas os Estados Unidos possuem a maior relevância e desde 2016, quando iniciaram suas atividades no ramo, tem ampliado os estudos e desenvolvimento de novas tecnologias com forte apoio governamental (Empresa de Pesquisa Energética, 2020). Esse recente desenvolvimento aliado a resultados interessantes estimulou outros países a investirem nessa tecnologia, como é o caso de Brasil e Portugal.

Um dos problemas que a energia eólica produzida onshore ainda encontra são os impactos visuais e acústicos, fora a necessidade de possuir grandes campos

abertos com vento constante. Tais problemas não ocorrem em sítios offshore, que em geral podem ser maiores e com produções de centenas de megawatts de potência (Iberdrola, 2020).

Alguns pontos negativos relacionados à energia eólica produzida offshore estão relacionados com o alto custo da transmissão dessa energia, pois são necessários grandes cabos de força, e ao seu elevado custo de instalação (Jornal da Universidade de São Paulo, 2010). Uma das opções para redução nos custos de instalação e produção, e que vem sendo alvo de estudos na área é relacionado a parte estrutural dos geradores. Ao se atingir uma redução do peso dos geradores é possível que os custos finais do projeto se tornem mais rentáveis. Outra dificuldade da instalação desses projetos offshore ocorrem caso seja instalado em grandes profundidades, quanto mais profundo for o mar, mais difícil é a instalação do aerogerador. A Figura 7 mostra alguns dos modelos de aerogeradores offshore em função das diferentes profundidades a serem instalados.

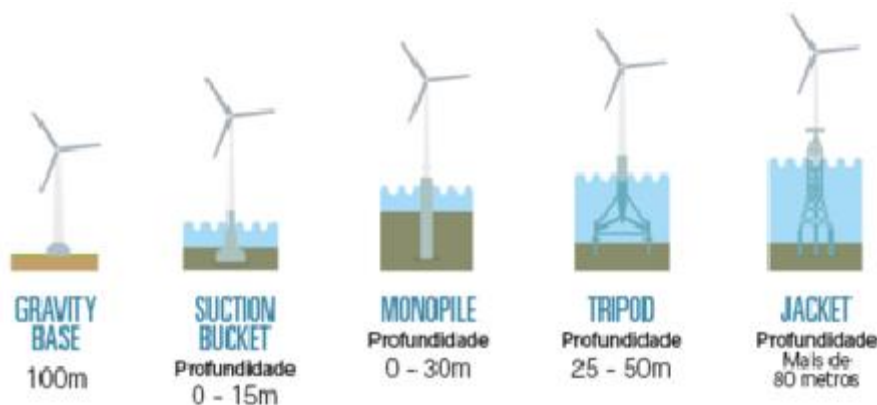


Figura 7 – Tipos diferentes de instalação de um aerogerador offshore

Fonte: Diário do Nordeste, 2020

2.4 Funcionamento de um gerador eólico

Um aerogerador eólico é uma máquina que permite a geração de energia através da rotação de pás movimentadas pela ação dos ventos. A energia mecânica gerada pela rotação das pás é convertida em elétrica com o auxílio de um gerador elétrico, instalado no interior do sistema. Essa energia é posteriormente enviada para a rede elétrica e distribuída aos consumidores.

Os principais componentes de um gerador eólico e suas respectivas funções, são as seguintes (EERE, 2020):

- **Pás**: Responsáveis pela movimentação do gerador, são deslocadas em função da ação do vento que incide sobre elas e geram, por consequência, a movimentação do rotor.

- Cubo central ou nariz: parte que conecta as pás ao resto dos componentes da nacelle
- Rotor: Conjunto de peças responsáveis pela movimentação do gerador, incluindo pás e cubo
- Nacelle: Caixa metálica que assegura a proteção e comporta a maior parte dos componentes de um gerador eólico
- Eixo de baixa velocidade: Transmite a energia mecânica proveniente até a caixa de velocidades.
- Caixa de velocidades(redução): Conecta a energia do eixo de baixa velocidade para o de alta velocidade, alterando e amplificando a sua rotação. Enquanto o eixo de baixa velocidade atua entre 30 e 60 rpm, o de alta velocidade pode atingir valores acima de 1000 rpm.
- Eixo de alta velocidade: responsável por acionar o gerador de energia elétrica.
- Gerador: Produz energia elétrica através da conversão de energia mecânica recebida.
- Anemômetro: Mede a velocidade e intensidade do vento.
- Controlador: Responsável pelo funcionamento do equipamento, ligado diretamente ao anemômetro, aciona ou desliga o sistema em função da velocidade e intensidade do vento
- Travão: No caso de emergências, ele desliga o sistema mecanicamente
- Cata-vento: Responsável pela medida da direção do vento, ligado diretamente ao “yaw drive”.
- Yaw drive (controlador de direção): Orienta a turbina eólica, para que a mesma esteja sempre voltada para a direção do vento.
- Yaw motor (motor do controlador de direção): Fornece energia para o controlador de direção.
- Torre: Mastro de sustentação do gerador eólico, serve como suporte para os outros componentes.

A Figura 8 ilustra os componentes de um gerador eólico.

$\langle v^3 \rangle$ = é a raiz da média cúbica da velocidade do vento durante um período de tempo, elevado ao cubo.

Em função desses valores, pode-se identificar a energia máxima disponível que pode ser extraída da força dos ventos, por uma determinada área do rotor conforme a Equação 2. Para atingir esse resultado é calculado a diferença entre as potências *upstream*, de entrada nas pás, e de *downstream*, na saída das mesmas, dessa diferença é possível atingir um fator de energia eólica que é capturada pelas pás. (Lima L, 2011).

$$\frac{P_a}{A} = \frac{1}{2} \cdot \frac{16}{27} \cdot \rho \cdot \langle v^3 \rangle \quad \text{Equação 2}$$

E finalmente a potência que é distribuída pela turbina eólica para o conversor, conforme a Equação 3.

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \frac{16}{27} \cdot \rho \cdot \langle v^3 \rangle \cdot \eta_g \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

η_g = eficiência da turbina eólica

Para calcular o valor total de energia elétrica gerada pelo equipamento, deve-se posteriormente multiplicar o valor da potência distribuída pela turbina eólica, com a eficiência do gerador elétrico (η_g). Sendo a eficiência global do seu gerador = η_w (mecânico) x η_e (elétrico) (Samagaio A, 2019).

2.6 Instalação de geradores eólicos

2.6.1 Testes em túnel de vento

Por se tratar de uma tecnologia bastante específica que tem a capacidade de gerar muita energia, mas que demanda um alto investimento e estudo, saber as melhores áreas para se aplicar e o modelo mais eficiente em cada situação se faz necessário.

Para que não seja necessário gastos ineficientes em um projeto mal sucedido, testes se tornam uma solução eficaz para gerar um melhor retorno dessa tecnologia. Os túneis de vento podem ser aliados a tecnologia da energia eólica nesse sentido.

Por definição, um túnel de vento é uma construção capaz de gerar uma vazão controlável de ar para testar modelos aerodinâmicos e analisar algumas variáveis e aspectos decorrentes dos fenômenos de um escoamento. Eles simulam o efeito

do ar em objetos estáticos, muitas vezes em escala reduzida e assim ajudam a determinar como seria esse escoamento em escala real (Tecnundo, 2012).

Algumas das diferentes aplicações do túnel de vento podem ser citadas: efeitos evaporativos do vento sobre superfícies urbanas, erosão e deposição de solos, interações entre ar exterior e interior em edifícios, conforto eólico, efeitos acústicos do vento e análise energética, desempenho de geradores eólicos, abordado nesse trabalho, entre outras possibilidades de utilização (Sorte S, 2019).

Existem basicamente dois tipos de túneis de vento, os de circuito fechado e os de circuito aberto. Embora o primeiro grupo gere um resultado mais preciso, devido ao seu alto custo de produção e o grande espaço demandado ele é mais utilizado em aplicações automobilísticas e aeroespaciais e em geral em áreas que demandam uma altíssima performance (Sorte S, 2019).

Um túnel de vento possui um cone de concentração, onde ocorre a aceleração do escoamento, e que pode ser controlado, um estabilizador que alinha o escoamento, uma secção de testes onde é colocado o objeto a ser estudado, um ventilador que gera a continuidade do escoamento e um difusor de saída que serve para reduzir as perdas de carga e turbulência indesejada na secção de testes (Barbosa T, 2008). A Figura 9 demonstra um esquema simplificado de um túnel de vento.

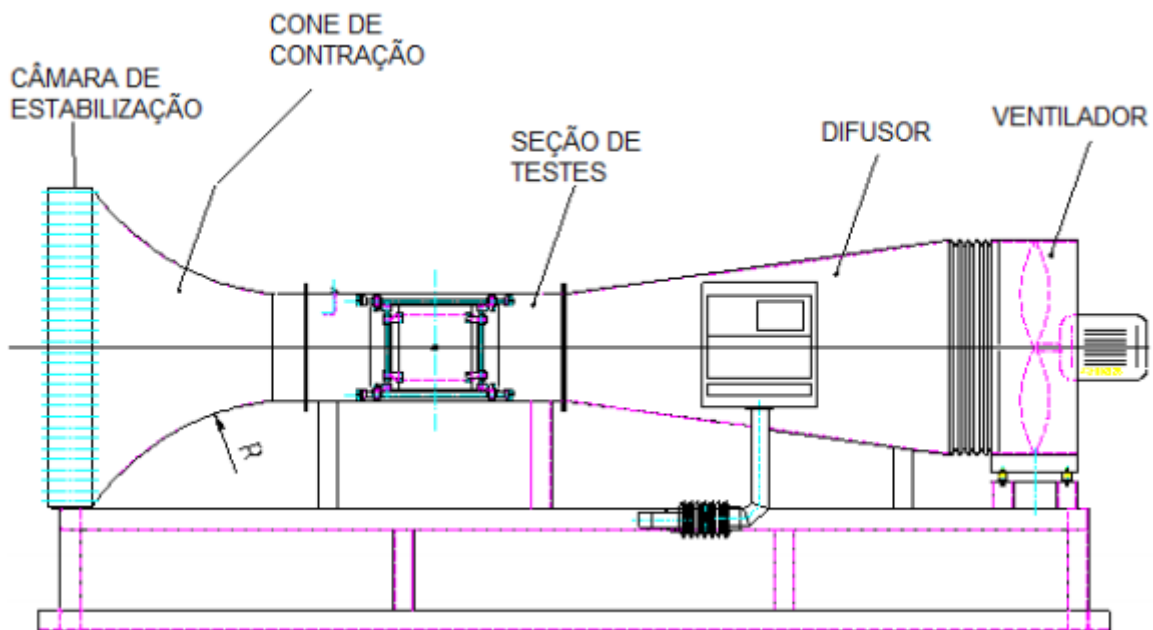


Figura 9 – Esquema simplificado de um túnel de vento
Fonte: Kollross A, 2015

2.6.2 Escolha do local e orografia

Pelo fato de a potência gerada por uma turbina eólica depender diretamente da média cúbica da velocidade do vento, elevada ao cubo, percebe-se que saber essa velocidade é de suma importância na geração de energia. Conhecer e selecionar sítios apropriados para receber um parque eólico se faz necessário para garantir uma maior eficiência na produção de energia.

No que se refere a produção da energia eólica, o quesito crucial a ser estudado é a variabilidade do vento. Essa variação ocorre tanto geograficamente como temporalmente. O fato de haver diferentes regiões com uma larga variedade de climas, sendo alguns muito mais ventosos que os outros faz com que o estudo geográfico seja necessário (Burton T, 2001).

Essas regiões ventosas são, em sua maioria, ordenadas pela sua latitude, que alteram a quantidade de insolação recebida em cada local. Em menor escala, outros fatores que são importantes a se levar em consideração e condicionam a quantidade e frequência dos ventos são: proporção de terra e mar da região, o relevo da região, a altitude, o tipo de vegetação presente no local, que modificam diretamente a humidade e temperatura locais (Burton T, 2001).

O estudo da orografia do local torna-se crucial para a melhor seleção de um sítio apropriado para a instalação de um aerogerador eólico. A orografia é o estudo da tipologia e variações do relevo de uma determinada região. Para melhor demonstrar como o relevo é determinante na aceleração e velocidade do vento, a Figura 10 mostra alguns exemplos de terreno, e o comportamento do vento em relação aos mesmos (Casadinho C, 2014).

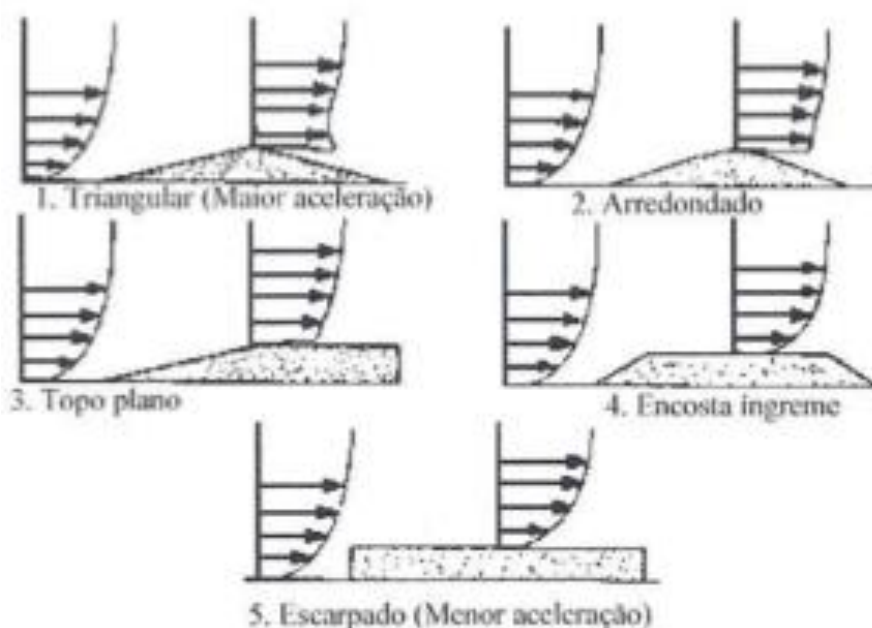


Figura 10 – Variação da aceleração do vento em função do relevo
Fonte: Casadinho C, 2014

Localmente a topografia desempenha um papel crucial no comportamento do vento. Em locais de maior altitude, como em morros ou montanhas, o fluxo de vento é maior do que em terrenos planos ou vales. Além disso, a ausência de barreiras, como altos prédios e muitas árvores, facilita o escoamento do vento fazendo com que sua velocidade seja maior e mais constante (Burton T, 2001).

Para se estudar o perfil dos ventos e estimar as suas características durante um determinado período de tempo, alguns softwares de análise são utilizados, em especial um chamado Wind Atlas Analysis and Application Program, ou WAsP. Conforme explicado por (Casadinho C, 2014) o software analisa o perfil do vento de um local e calcula, a partir de uma extrapolação dos dados de anos anteriores, como o perfil do vento irá se comportar nos anos consecutivos. Ao avaliar o potencial eólico do local, é possível determinar se é viável dado o seu potencial.

3. Energia eólica em Portugal

3.1 Panorama da energia eólica em Portugal

Por fazer parte da União Europeia, Portugal é um dos países que deve reduzir em 20% o nível de emissões de gases com efeito de estufa (GEE) através do acordo de Paris, assinado em 2016 (Parlamento Europeu, 2019). Para que esses valores sejam atingidos muitos países europeus vêm investindo fortemente em energias renováveis e em particular na energia eólica, como se pode perceber pelo aumento exponencial da capacidade energética dessa fonte de energia. De 1992 até 2018 a capacidade de energia eólica geradora instalada, a nível mundial, cresceu de, aproximadamente, 20 GW para 600 GW, sendo a Europa responsável por quase $\frac{1}{3}$ desse total (Energias Endógenas Portugal, 2018).

No que tange o pacote clima-energia para 2020, é prevista uma redução das emissões de GEE no país de 21%, relativos aos níveis atingidos em 2005. Em uma perspectiva a longo prazo, de acordo com o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC 2020/2030) estipula e promove uma transição do consumo energético atual para um de baixo nível de carbono (REA, 2020). De acordo com os dados registados em 2017, o país segue uma trajetória de cumprimento das metas estabelecidas para 2020 e 2030, tendo registado uma redução de 18% em comparação aos valores de 2015 (REA, 2020).

Recentemente Portugal apresentou o Roteiro para Neutralidade carbónica 2050, que tem por objetivo a descarbonização profunda da economia nacional até o final de 2050 (REA, 2020).

Uma das estratégias adotadas pelo governo português para que esses níveis sejam atingidos foi o de investir nas energias renováveis, em especial eólica e solar.

Ao se deparar com o montante atual da energia eólica no mix energético português, exposto na Figura 11, percebe-se o grande percentual de contribuição da energia eólica, atingindo valores superiores a 20% do total, colocando-a como a primeira fonte de energia renovável no país. É possível ressaltar que com os investimentos previstos até 2030, essa fonte energética poderá chegar a contribuir com até 40% do total do mix energético do país (Portal do Estado e Ambiente de Portugal, 2019).

Outro dado importante a ser considerado é a contribuição total de energias renováveis. Ao se adicionar a parcela da energia eólica os valores referentes a hídrica, solar e bioenergia o montante total supera os 50%. Esse valor, se comparado com vários países desenvolvidos na Europa, está muito acima da média e dentro dos objetivos propostos para os próximos anos.

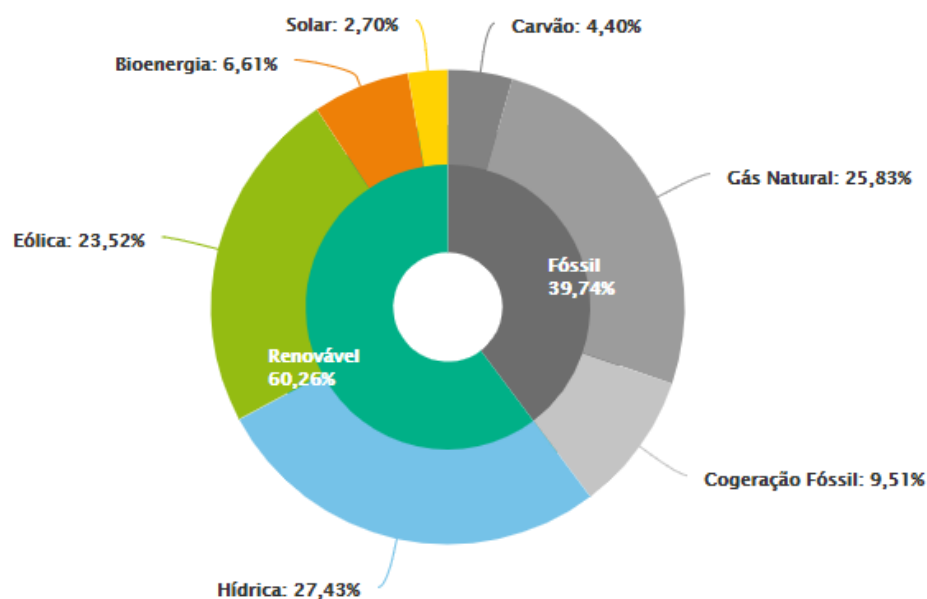


Figura 11 – Mix energético Portugal Continental 2020

Fonte: Apren – Associação Portuguesa de Energias Renováveis, 2020

3.2 Parques eólicos Portugal Continental e ilhas

Historicamente, Portugal não foi um dos primeiros países a possuir parques eólicos em funcionamento, tanto a nível Europeu, quanto mundial. De acordo com dados do Boletim Informativo da Empresa de Eletricidade de Madeira (EEM, 2020), o primeiro parque eólico construído em Portugal fica situado no arquipélago da Madeira, na Ilha Porto Santo, e data de 1986. Posteriormente, em 1988, foi construído o parque eólico do Figueiral, na ilha de Santa Maria nos Açores, e, em 1992, o parque eólico de Sines no Alentejo.

Atualmente em Portugal, a capacidade instalada é de aproximadamente 5,5 GW, havendo alguns parques ainda em construção ou remodelação (Energias Endógenas Portugal, 2018). A Figura 12 mostra a localização dos parques eólicos localizados em Portugal Continental, além dos valores em capacidade instalada das ilhas. Os sítios que possuem as maiores capacidades instaladas são, em sua maioria, locais de maior altitude, ou próximas a costa, que os tornam mais propícios a terem ventos de maior velocidade e mais constantes.

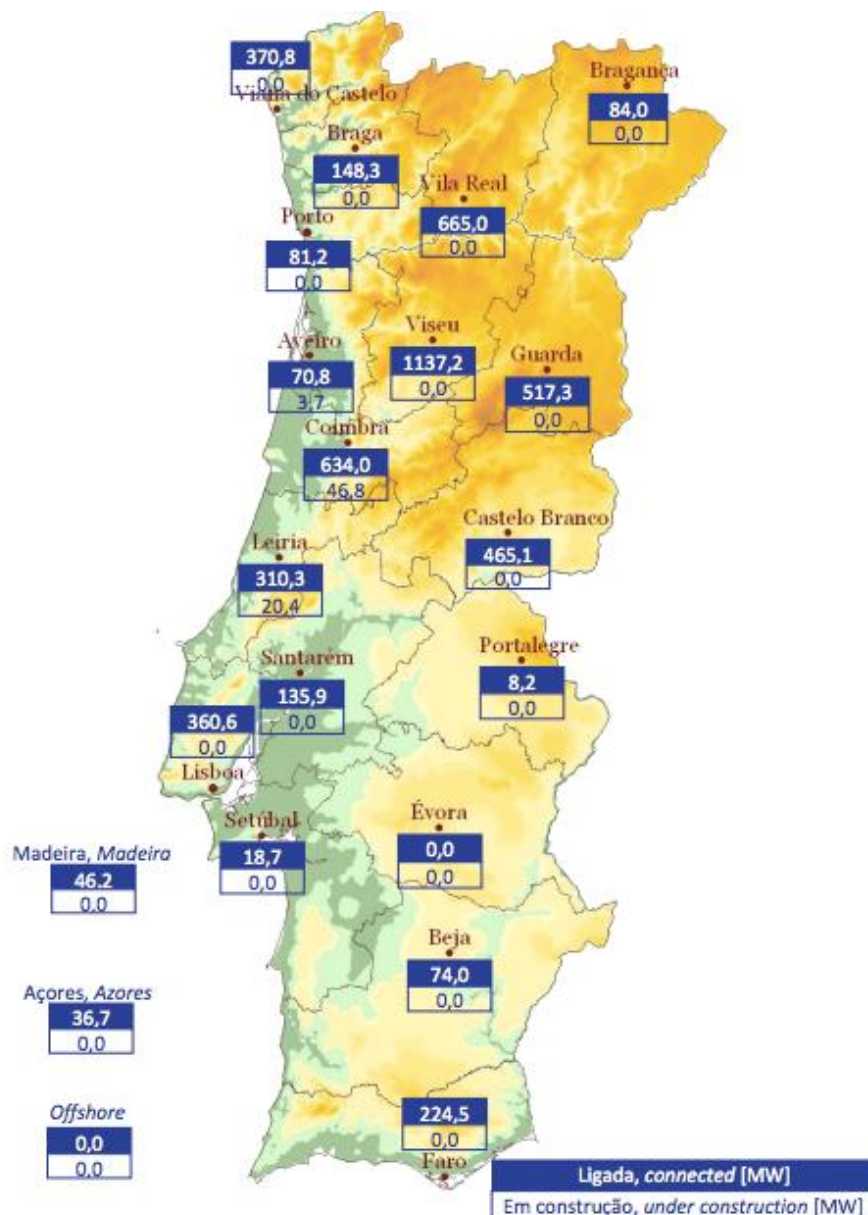


Figura 12 – Capacidade de geração eólica em Portugal, 2018

Fonte: Energias Endógenas Portugal

O crescimento dessa tecnologia nos últimos dois anos não foi muito expressivo. A construção de novos parques e aerogeradores diminuiu bastante se comparado ao início da década, chegando a modestos 100 MW no ano de 2018 (Energias Endógenas Portugal, 2018). Esse valor pode ser mal interpretado, mas se for considerando o percentual que essa tecnologia possui no total de produção de energia do país, o crescimento, ainda que modesto dos últimos dois anos, pode atingir os valores esperados até o final da próxima década, ainda mais se considerar os projetos que dependem de aprovação e incentivos económicos para se concretizarem.

Os parques mais recentes em Portugal são: i) Marvila II, no distrito de Leiria, com o potencial gerador de 20,4 MW (Diário Leiria, 2017). ii) parque eólico de Penacova no distrito de Coimbra, também iniciou sua construção em 2018 com o potencial gerador de aproximadamente 50 MW; e iii) um aerogerador único para a empresa Riablades em Aveiro, com uma potência de 3,7 MW que reduzirá o consumo de energia ligada a rede por parte da empresa. A empresa Riablades é também uma das fábricas responsáveis pela produção e comercialização de pás eólicas na Europa (Energias Endógenas Portugal, 2018).

3.2.1 Parque eólico Marvila II – São Mamede

O parque eólico de Marvila II – São Mamede é constituído por dez aerogeradores ligados à rede elétrica de Portugal através da SEN – Serviço Elétrico Nacional, e está localizado nos concelhos de Batalha e Ourém em Leiria. Esse parque eólico faz parte de um grande projeto de produção de energia eólica na freguesia, que possui além desse, outros quatro parques eólicos, são eles: Parques Eólicos de Chão Falcão I, II e III e o Parque Eólico de Marvila I (Parque Eólico de Marvila II – São Mamede, 2015).

O parque contempla a instalação de dez aerogeradores com 100 m de altura e 100 m de diâmetro de rotor, 2 MW de potência unitária, totalizando 20 MW. A ligação à rede elétrica é feita a partir de um ramal saindo da subestação do parque e o ligando a um ponto de linha elétrica, que está conectado à subestação de Fátima, em um sistema similar ao que ocorre no parque eólica Marvila I (Parque Eólico de Marvila II – São Mamede, 2015).

Os parques do distrito de Leiria produzem 28% da energia consumida na região com um total de 705 GWh, dados de 2017. A Figura 13 ilustra os vários parques eólicos da região. A imagem é referente aos parques construídos até 2017, anterior a instalação do parque eólico de Marvila II (Jornal de Leiria, 2019).

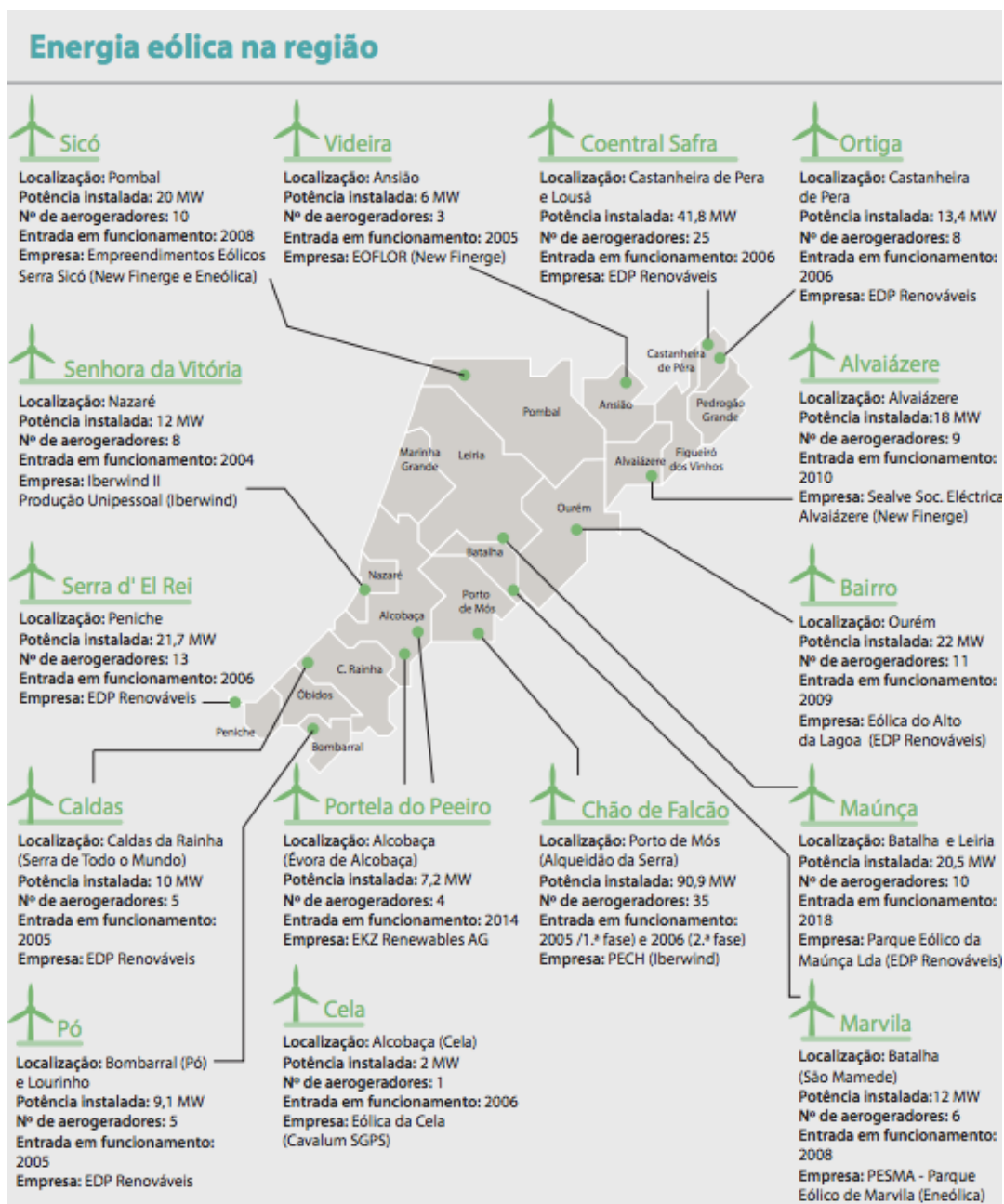


Figura 13 – Parques eólicos Região de Leiria

Fonte: Jornal de Leiria, 2019

Em relação aos fatores climáticos da região é possível destacar que durante o ano, a velocidade média dos ventos na região de Leiria varia entre 11 km/h e 13 km/h. Tendo seu pico no final do inverno e começo da primavera, nos meses de março e abril e atingindo seus valores mais baixos no final do verão e começo do outono, entre setembro e outubro (Weather Spark, 2019). Nos picos de velocidade do vento, o valor máximo pode ser superior a 29 km/h e o mínimo 6,5 km/h. A distribuição desses valores pode ser observada na Figura 14.

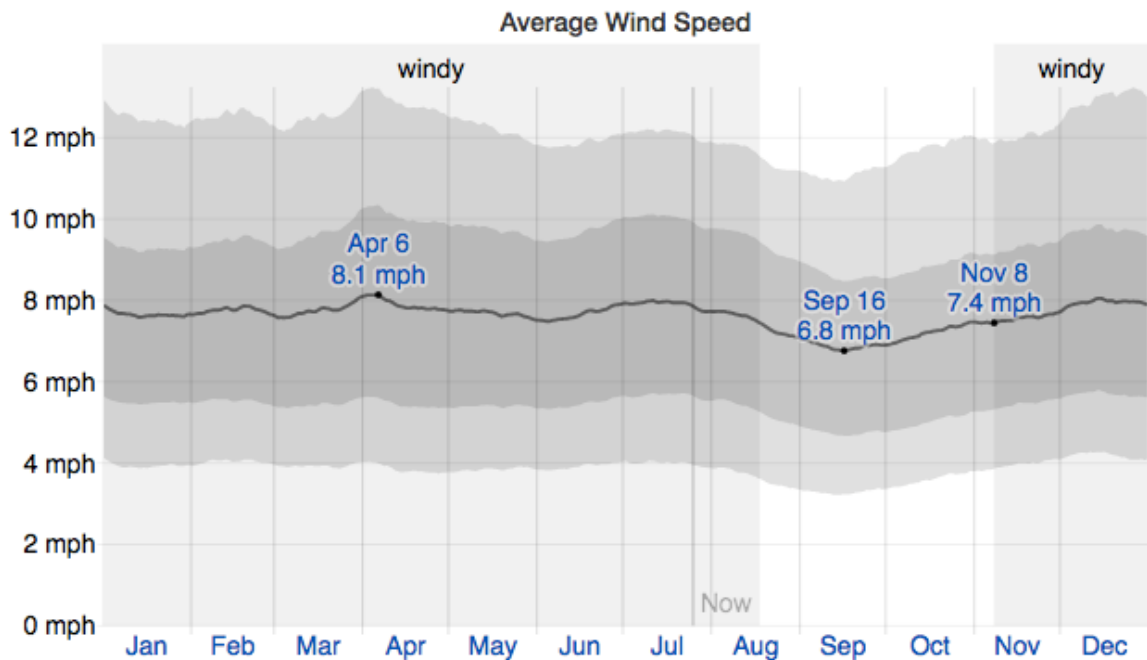


Figura 14 – Distribuição dos ventos em Leiria

Fonte: Weather Spark, 2019

3.2.2 Parque eólico Penacova - Coimbra

Em junho de 2019 foi inaugurado o parque eólico de Penacova, distrito de Coimbra, o mais recente parque eólico de Portugal. O projeto possui um total de 13 turbinas que geram uma potência nominal de 46,8 MW e totalizou um investimento por parte da EDP de aproximadamente 42 milhões de euros (Notícias de Coimbra, 2019).

De acordo com o presidente executivo da EDP, António Mexia, o parque terá uma produção média de 110 GWh, que em média seria suficiente para abastecer aproximadamente 50 mil casas. Adicionalmente evitaria a emissão de 48 mil toneladas de dióxido de carbono (CO₂) anualmente (Penacova Actual, 2019). A Figura 15 mostra a imagem do parque eólico de Penacova.



Figura 15 – Parque eólico Penacova

Fonte: Campeão das Províncias, 2019

Penacova é uma vila localizada na província da Beira Litoral, região do Centro e subregião de Coimbra, possui 216,73 km² e uma população de 15.251 habitantes. A cidade fica localizada a 142 m de altitude (DB-city).

Durante o ano, a velocidade média dos ventos em Penacova, varia entre 7,5 km/h e 8,9 km/h. Tendo seu pico no final do inverno e começo da primavera, nos meses de março e abril e atingindo seus valores mais baixos no final do verão e começo do outono, em meados de setembro (Weather Spark, 2019). Nos picos de velocidade do vento, o valor máximo pode chegar a atingir quase 14 km/h e o mínimo 4 km/h. A distribuição desses valores pode ser observada na Figura 16.

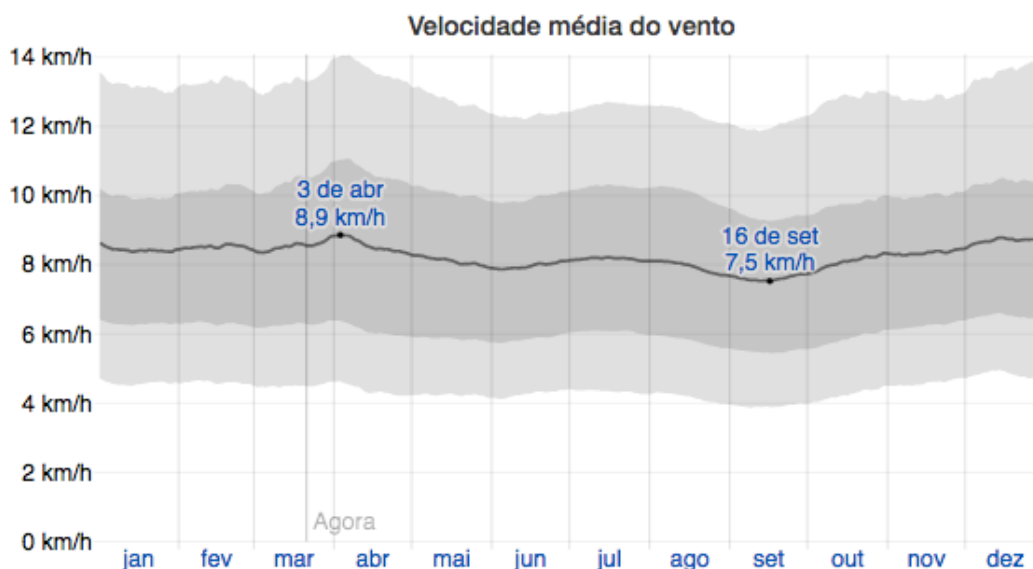


Figura 16 – Distribuição dos ventos em Penacova

Fonte: Weather Spark, 2020

3.2.3 Aerogerador para autoconsumo da RiaBlades

O terceiro projeto a se considerar é uma turbina eólica instalada na empresa Ria Blades em Vagos no distrito de Aveiro. A empresa que anteriormente pertencia ao grupo Senvion, foi recentemente adquirida pelo grupo Siemens Gamesa, no começo de 2020 (Siemens Gamesa, 2020). Essa fábrica que produz pás eólicas, construiu seu próprio gerador eólico, em regime de autoconsumo, para reduzir a captação de energia através da rede elétrica, suprimindo assim parte dos gastos produzidos em sua fábrica.

O aerogerador, que foi fabricado e instalado em 2019, estava sendo utilizado periodicamente durante o ano de 2019 durante a gestão da sua antiga matriz, entretanto o grupo da Senvion acabou passando por uma situação de insolvência. Agora com a nova aquisição da empresa pelo grupo Siemens a expectativa é de que o aerogerador passe a funcionar constantemente. O aerogerador, visto da perspectiva de um colaborador, é ilustrado na Figura 17.



Figura 17 – Imagem do aerogerador eólico da empresa Ria Blades

Fonte: Autor, 2019

Outros aspectos importantes a serem ressaltados dessa instalação são os seguintes: a turbina eólica da Ria Blades é a maior e mais potente entre as atualmente instaladas em Portugal, atingindo quase 4 MW de potência, mais de

100 metros de altura e quase 70 m de comprimento (Terra Nova, 2019). A Ria Blades também se torna a primeira empresa portuguesa a possuir um aerogerador eólico para autoconsumo, tal investimento pode ser atrativo futuramente para empresas que possuam um elevado consumo de energia e que disponham de um espaço suficientemente grande para a instalação de um gerador, além de um potencial local de correntes de vento que proporcionem uma geração de energia constante e rentável.

Em relação à distribuição dos ventos em Vagos, a variação média fica entre os valores de 10,5 km/h e 12 km/h. Tendo seu pico no meio do inverno nos meses de dezembro e janeiro atingindo seus valores mais baixos no final do outono em meados de setembro (Weather Spark, 2019). O interessante de se ressaltar em relação a esses dados de Vagos é que os ventos são muito constantes durante todo o ano, o que permite uma melhor geração de energia eólica se comparado com os outros projetos. Durante o período entre o final e o início do ano, também pode ser perceber a presença de ventos muito fortes. A distribuição desses valores pode ser observada na Figura 18.

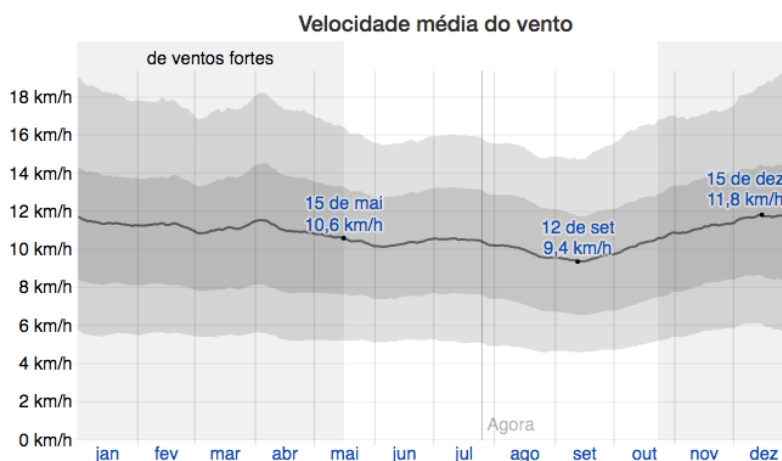


Figura 18 – Distribuição dos ventos em Vagos

Fonte: WeatherSpark, 2019

Além dos projetos citados nos tópicos 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.3, vale ressaltar também outros dois projetos no âmbito da energia eólica que também ocorrem em Portugal. O primeiro é de um aerogerador eólico offshore na costa portuguesa denominado WindFloat Atlantic. O segundo é uma solicitação de capital do grupo EDP Renováveis ao BEI (Banco Europeu Internacional) para a construção de dois novos parques eólicos que totalizam em conjunto uma capacidade de 125 MW. Se instalados esses dois novos parques eólicos serão responsáveis por um crescimento da tecnologia no país superior a todos os parques instalados em 2019 (Expresso Economia, 2020).

3.2.4 WindFloat Atlantic

Portugal ainda não possui grande representatividade no ramo das energias eólicas offshore, porém existe uma estimativa prevista para instalação de um total de 175 MW de energia eólica offshore até o final de 2030 (Wind Energy in Europe, 2017).

Para alavancar tal crescimento, no final de 2019, um projeto intitulado WindFloat Atlantic (Figura 19) começou a ser instalado na costa de Portugal, próximo a Viana do Castelo. Este será o primeiro parque eólico flutuante do país. Com uma produção de aproximadamente 25 MW nas três torres instaladas, este parque será capaz de gerar energia para mais de 60.000 pessoas durante o ano (EDP, 2019).

Esse projeto é considerado o primeiro parque eólico offshore semi submersível flutuante e o primeiro parque eólico flutuante na Europa continental (Power Technology, 2019). Ele está sendo desenvolvido pela EDP renováveis em parceria com a Repsol, Engie e Principle Power, esse grupo de empresas é denominado “Windplus Consortium”

Para que seja possível gerar a maior quantidade de energia o parque foi equipado com uma turbina flutuante de tecnologia desenvolvida pela Principle Power, que permite que o gerador atue em alto mar em profundidades superiores a 40 m (Power Technology, 2019).

Ao conseguir produzir energia em pontos mais afastados da costa, em que a velocidade do vento é maior e mais constante do que os atuais parques offshore, essa tecnologia propicia um bom custo-benefício fazendo com que seja rentável a sua instalação (Power Technology, 2019).

Em maio de 2020, o último dos três geradores saiu do porto de Ferrol, na Espanha, para se juntar aos outros dois geradores já instalados e em funcionamento na costa portuguesa (EDP, 2020). Os dois primeiros geradores começaram a operar no início de 2020.



Figura 19 – WindFloat Atlantic

Fonte: EDP, 2019

3.2.5 Novo projeto Cantanhede e Guarda

A empresa EDP Renováveis recentemente solicitou, no início de junho de 2020, um investimento de 60 milhões de euros ao Banco Europeu de Investimento (BEI) para a construções de dois novos parques eólicos em Portugal nas regiões de Cantanhede e Guarda (Portugal Global, 2020).

A empresa ainda não revelou os pormenores dos projetos, mas aparentemente tratam-se de dois novos parques na região Norte e Litoral portuguesa com capacidade conjunta de 125 MW de potência e que já receberam a “aprovação ambiental condicionada” concedida pela Agência Portuguesa do Ambiente (Portugal Global, 2020).

Os parques eólicos deverão ser o da Tocha, possuindo nove geradores e um total de 32,4 MW de potência a ser instalado onshore, em Cantanhede, e o de Sincelo, que deverá possuir um total de 93,6 MW de potência instalados entre os 26 aerogeradores pertencentes a esse parque. A construção será realizada entre os concelhos da Guarda e de Pinhel (Expresso PT, 2020).

Além desses dois projetos, também está a ser estudado pela APA a aprovação ambiental do parque eólico de Morgavel, em Sines, que, se bem sucedido, será construído pela empresa Island Renewable Energy. Mas este projeto ainda não tem data prevista para iniciar.

3.3 Incentivos governamentais/programas

Desde as últimas décadas a preocupação com o aumento da emissão de gases de efeito estufa e o aquecimento global consequente, vários governos e instituições têm trabalhado em conjunto para adotar medidas que sejam eficientes para sanar tal problema.

Um dos primeiros tratados a conseguir grande repercussão foi o Protocolo de Quioto, criado em 1997 e que entrou em vigor em 2005. O tratado que foi proposto e assinado no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática definia metas rigorosas de emissões de gases com efeito de estufa para os países desenvolvidos, que historicamente são responsáveis pela mudança climática (Ministério do Meio Ambiente, 2020).

Posteriormente, em 2015, foi proposto o Acordo de Paris, que tinha como objetivo também a redução de emissões de gases de efeito de estufa e que pela primeira vez foi assinado por quase a totalidade dos representantes dos países presentes. Esse acordo propõe um plano de ação a longo prazo para conter o aumento da temperatura média do planeta em 2°C, preferivelmente 1,5 °C (Conselho da União Europeia, 2020). Os objetivos desse acordo englobam a redução de pelo menos 40% das emissões de gases com efeito de estufa, ter um mínimo de 27% de quota de energias renováveis no mix energético e melhorar a sua eficiência energética em pelo menos 27% (Ferreira J, 2016).

Além dos próprios países, a União Europeia como um bloco tomou um papel de liderança na tomada de ações possíveis para que as metas sejam atingidas (Conselho da União Europeia, 2020).

Para cumprir as metas propostas pelo Protocolo de Quioto, o Conselho Europeu de Bruxelas adotou um plano, denominado Pacote Clima-Energia 20-20-20. Os objetivos consistem na redução de emissões de gases com efeito de estufa em 20%, na integração e utilização de 20% de energia de fontes renováveis relativos ao consumo total de energia da UE e na consequente poupança de 20% do consumo de energia previsto para 2020 (Comissão Europeia, 2014).

No caso de Portugal, uma das estratégias governamentais utilizadas para incentivar e aquecer o mercado das energias renováveis foi utilizar as chamadas tarifas feed-in. Como explicado na dissertação de Ferreira J, 2016: *“A tarifa feed-in, também conhecida como remuneração bonificada, é um instrumento de política energética ambiental utilizada pelo Governo para incentivar os produtores de energia elétrica a investirem em energias renováveis na produção de eletricidade.”*

Essas tarifas visam estimular o investimento em tecnologias renováveis na sua fase de implementação até a estabilização dessa nova tecnologia no mercado. Esse método, que foi utilizado em Portugal, atingiu a sua maturação no início da última década, como pode ser visto nas Figuras 20 e 21. Conforme as tecnologias

se estabilizam e seu custo de implementação e instalação diminui, o incentivo governamental, que foi crucial e impactante nos primeiros anos, passa a ser reduzido até que ocorra a sua completa retirada (Costa A, 2012).

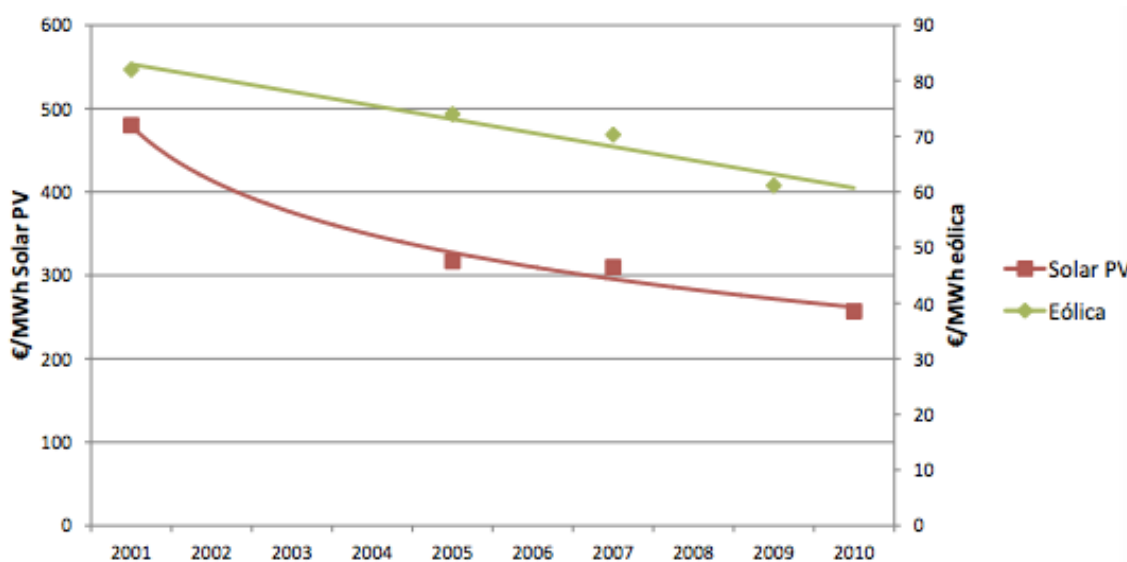


Figura 20 – Evolução das tarifas eólicas e solares para novos projetos

Fonte: Costa A, 2012

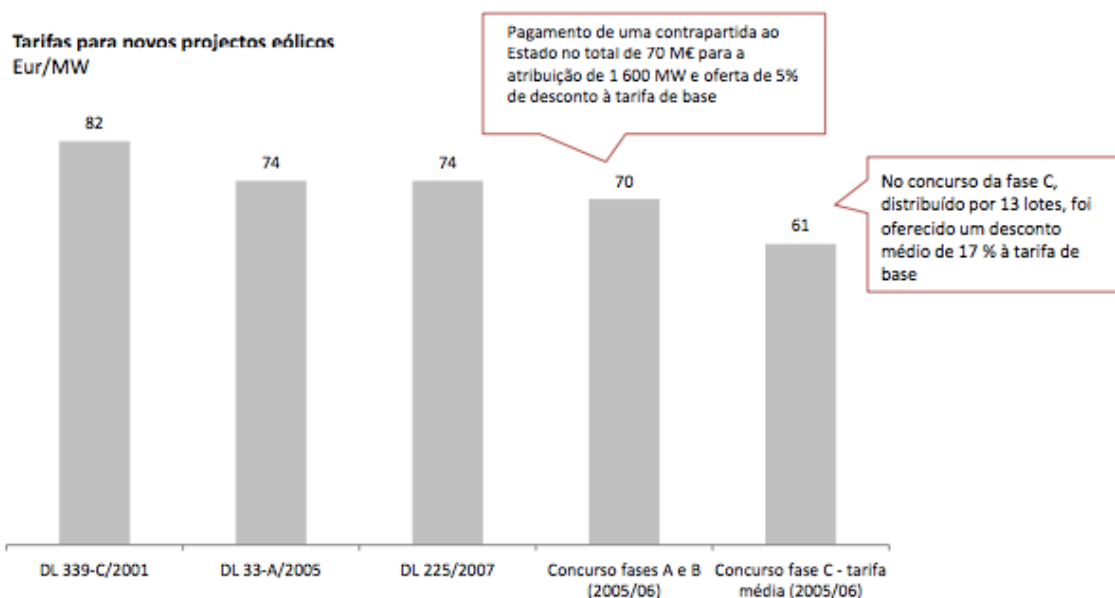


Figura 21 – Tarifas para novos projetos eólicos

Fonte: Costa A, 2012

A utilização dessas tarifas de incentivo foi importante para que o custo de novos projetos eólicos se tornasse viável e que com isso a tecnologia conseguisse se estabelecer no mercado português nos anos 2000 e no início da década passada, período de grande crescimento percentual dessa tecnologia. Nos últimos anos, com

a tecnologia mais bem estabelecida houve a redução dessas tarifas (Costa A, 2012).

Essa remuneração costuma ter a validade de 15 a 20 anos e pode ser realizada de forma diferente em função do tipo de produtor (empresas ou produção autónoma) para que a produção de energia a partir dessa nova tecnologia se torne rentável. Após o término dos contratos o custo da energia passa a ser o preço médio anual de mercado (Ferreira J, 2016).

3.4 Energia e rede elétrica

Para melhor entender o impacto das tarifas concedidos pelo governo aos produtores de energia elétrica através de fontes sustentáveis, é importante entender o funcionamento da rede elétrica portuguesa e como esse investidor conseguirá vender a sua energia produzida.

3.4.1 Sistema Elétrico Nacional (SEN)

O Sistema Elétrico Nacional é um sistema integrado que abrange a produção, transporte, distribuição e comercialização da energia elétrica em Portugal Continental (Borges M, 2018). O sistema começou a ser aberto, de modo gradual, a livre concorrência desde que ele foi liberalizado em meados de 2006, a partir daí os consumidores portugueses passaram a poder escolher qual seria seu fornecedor de energia elétrica e comprar energia sem interferência do Estado.

Atualmente, na fase transitória do mercado regulado e mercado liberalizado, os consumidores podem optar por fazer seu contrato diretamente com o fornecedor, onde o preço não é fixado, no caso do mercado liberalizado. Ou utilizar do mercado regulado, que está atuando nesse momento de transição que tem o preço fixado pela ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos). Esse mercado regulado está para ser extinto ao final de 2020, a partir daí conclui-se totalmente a liberalização do mercado de energia (EDP, 2020).

Para se produzir e comercializar a energia no país é necessário se obter uma licença adequada, para que haja uma maior eficiência na gestão e exploração dos diversos recursos (Borges M, 2018). A Atual disposição do Sistema Elétrico Nacional, com o setor regulado e o setor liberalizado, está exposta na Figura 22.

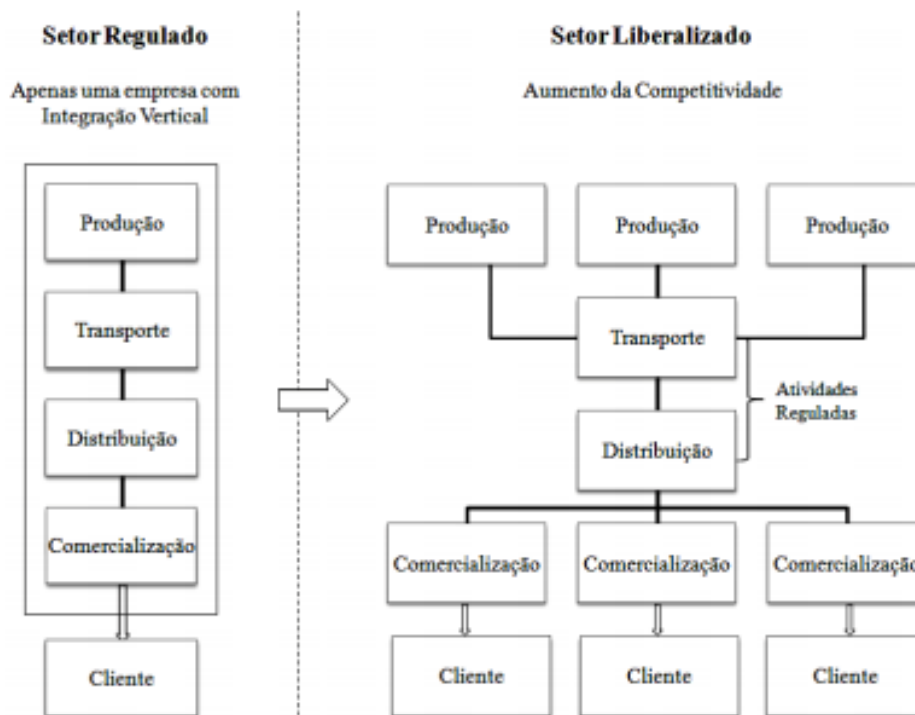


Figura 22 – Atual modelo estrutural SEN

Fonte: Feio I, 2014

As diversas áreas do setor energético de eletricidade de Portugal podem ser classificadas como:

1) Produção de energia: Atividade da produção de eletricidade sujeita a concorrência e que pode ser dividida em duas grandes áreas.

- Produção em Regime Ordinário (PRO): referente a produção através de fontes não renováveis ou em grandes centros hídricos.
- Produção em regime especial (PRE): referente a produção através de fontes de energia renováveis e PCH (pequenas centrais hídricas).

A diferença dessas duas fontes de produção se dá especialmente ao tipo de licenciamento necessário para se começar a produzir energia e as tarifas especiais, já previamente mencionadas, que o governo utiliza para beneficiar a produção a partir de fontes renováveis (Feio I, 2014).

2) Transporte: O transporte da energia diz respeito às redes de alta tensão responsáveis pelo transporte da energia elétrica da sua fonte de produção até o centro de distribuição a partir do qual será enviada às empresas e residentes. Essa atividade é regulada e operada pela REN (Redes Energéticas Nacionais) que comanda a RNT (Rede Nacional de Transporte). A RNT é responsável por garantir o equilíbrio entre a oferta de energia (produção) e a procura dos clientes (Feio I, 2014).

3) Distribuição: Outra atividade que é regulada pelo governo, e distribuída pela RND (Rede Nacional de Distribuição), que define e distribui a eletricidade em alta, média e baixa tensão. As redes de alta e média tensão são operadas pelo grupo EDP em concessão feita pelo governo, enquanto as redes de baixa tensão são operadas pelos próprios municípios (Feio I, 2014).

4) Comercialização: A comercialização de energia está aberta a livre concorrência mediante ao pagamento de tarifas as redes de transporte e distribuição conforme regulamentação da ERSE. Os próprios produtores de energia podem se tornar comerciantes de energia (Feio I, 2014).

Atualmente em Portugal existem mais de uma dezena de empresas que realizam a comercialização de energia elétrica, permitindo que o consumidor final, seja doméstico ou empresarial, possa optar o fornecedor de sua preferência (Portugal Energia, 2020).

3.4.2 Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL)

O MIBEL (Mercado Ibérico de Eletricidade) constitui em uma cooperação realizada pelos governos da Espanha e de Portugal para facilitar o comércio de energia elétrica entre os dois países. Durante a construção desse acordo podem-se destacar quatro importantes acontecimentos que refletem o atual cenário do MIBEL (MIBEL, 2020).

- A celebração do Protocolo de colaboração entre as administrações portuguesa e espanhola para a criação de um Mercado Ibérico de eletricidade, que ocorreu em novembro de 2001.
- A assinatura do Acordo entre a República Portuguesa e o Reino da Espanha, que aconteceu em outubro de 2004 em Santiago de Compostela.
- A XXII.^a Cimeira Luso-Espanhola de Badajoz, que foi realizada em novembro de 2006.
- E finalmente, em janeiro de 2008, a assinatura do Acordo de Braga, que revê e ratifica o Acordo ocorrido em Santiago de Compostela.

Antes mesmo do Acordo de Braga ser firmado, já em julho de 2007, o MIBEL já estava a operar em sua completa dimensão. Esse Mercado Ibérico possui a intenção de unir a rede elétrica dos moradores de ambos os países e garantir o acesso facilitado aos habitantes com condições de igualdade, transparência e objetividade (MIBEL, 2020).

A partir disso tornou-se possível que qualquer consumidor de energia elétrica desses dois países pudesse comprar energia elétrica em um regime de livre

concorrência a qualquer produtor, seja da Espanha ou Portugal (OMIP, 2020). Algumas outras metas que o MIBEL também pretende atingir são: estruturar o funcionamento do livre mercado de energia elétrica entre os dois países com auto-funcionamento e auto-organização; favorecer a eficiência económica das empresas desse setor; favorecer o desenvolvimento e crescimento desse mercado nos dois países envolventes (OMIP, 2020).

3.4.3 Sistema de rede elétrico nas ilhas

Devido a maior dificuldade de se acessar as redes elétricas continentais, pelo distanciamento em relação ao continente, as ilhas dos arquipélagos da Madeira e dos Açores costumam utilizar várias tecnologias de energias renováveis como forma de obtenção de energia elétrica. A principal forma de se obter energia nos arquipélagos continua sendo as fontes fósseis, mas o crescimento das energias renováveis é bastante relevante, em especial geotérmico e eólico como é possível observar nos exemplos apresentados nesse capítulo.

Ao incentivar essas tecnologias, em especial eólica e solar, as ilhas evitam as emissões provenientes dos combustíveis fósseis e aproveitam dos recursos naturais, que em muitas dessas ilhas é abundante.

Nesta secção será exposto o funcionamento da rede elétrica em cada um dos arquipélagos de Portugal, destacando algum caso específica de alguma das ilhas como também alguns parques eólicos e a sua importância para a geração de energia local. Percebe-se claramente, dentro do mesmo país, a diferença na necessidade da utilização desse tipo de tecnologia.

3.4.4 Arquipélago dos Açores

O arquipélago de Açores é constituído por nove ilhas: Santa Maria, São Miguel, Terceira, Graciosa, São Jorge, Faial, Pico, Flores e Corvo (Byacores, 2020). Cada uma dessas ilhas possui um sistema elétrico independente, denominados microssistemas isolados (CARE, 2019). Esses microssistemas elétricos são compostos por uma central termoelétrica responsável pela produção de energia. O transporte e distribuição da energia elétrica dos Açores é realizada pela Eletricidade dos Açores (EDA).

Os sistemas de rede elétrica dos Açores possuem uma considerável contribuição das energias renováveis e endógenas. Em 2019, aproximadamente 38% de toda energia elétrica produzida no arquipélago foi decorrente de energias renováveis ou endógenas, com destaque para a geotérmica (24%) e eólicas (9%) (Portal da Energia, 2020). A Figura 23 mostra o mix energético do arquipélago de Açores.

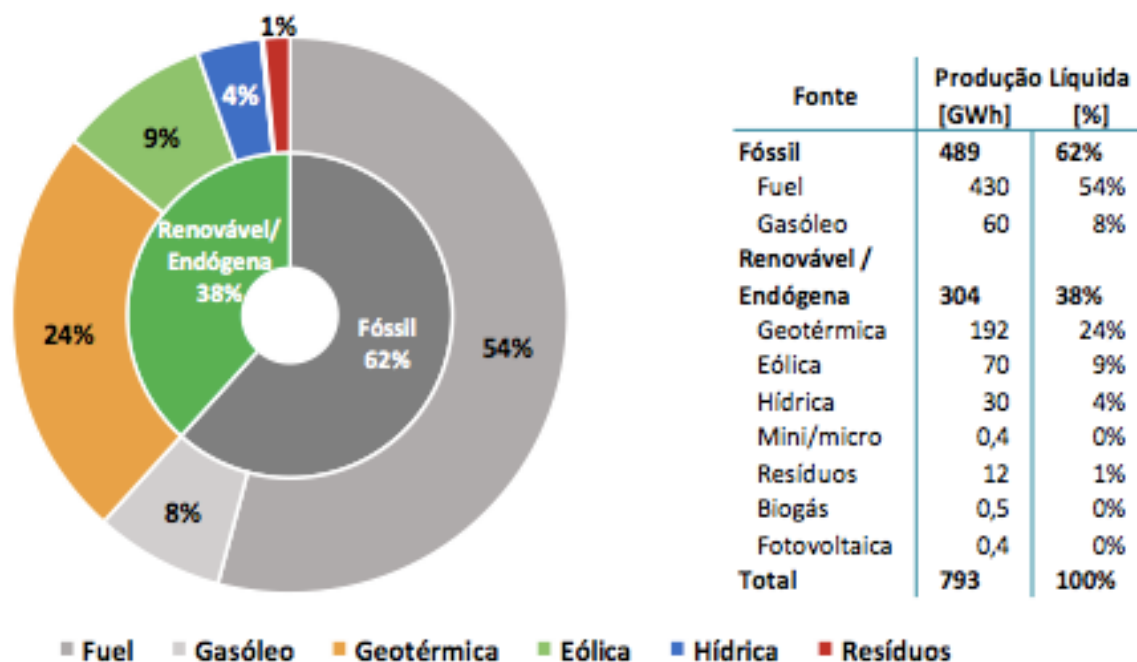


Figura 23 – Mix energético dos Açores

Fonte: CARE, 2019

Um dos grandes destaques nos Açores é que a energia eólica está presente em quase todas as ilhas, com exceção do Corvo. Já a energia geotérmica, presente apenas nas ilhas de São Miguel e da Terceira, ainda é a fonte energética renovável de maior contributo neste arquipélago (CARE, 2019).

Alguns estudos feitos no final de 2017, na ilha do Corvo, instalou uma torre meteorológica com intuito de medir os ventos, no chamado Morro da Fonte, e determinar se o fluxo e velocidade dos ventos naquele sítio justificariam a instalação de um parque eólico. Os ventos eram tão fortes que em determinado momento a torre não resistiu (Diário de notícias, 2017). Essa zona do Corvo é propícia para a instalação de um parque eólico, de acordo com os estudos realizados pela EDA, e pode vir a se tornar uma área com um novo parque eólico nos Açores, e com isso totalizando parques em todas as ilhas do arquipélago (Reia C, 2018). A Figura 24 mostra a distribuição da energia eólica em cada uma das ilhas do arquipélago.



Figura 24 – Energia eólica produzida nos Açores em 2019

Fonte: Portal da Energia, 2020

Os destaques da produção eólica no arquipélago dos Açores vão para as ilhas Terceira e Graciosa, que possuem respectivamente 12,6 MW e 4,5 MW de potência instalada. Essas duas ilhas são as que apresentam o maior percentual de energia elétrica proveniente da fonte eólica. Os principais projetos referentes aos parques dessas duas ilhas serão descritos brevemente nos tópicos 3.4.4.1 e 3.4.4.2.

3.4.4.1 Ilha Graciosa nos Açores

A ilha Graciosa nos Açores foi abastecida durante 75 dias, dentro de um período de 270 dias, 100% por energias renováveis em um projeto denominado “Gracióllica” entre 2019 e 2020 (Açoriano Oriental, 2020).

Durante esse período houve um crescimento percentual na produção de energia gerada pela fonte eólica de 10% (de 28% para 38%). Esse valor fez com que o percentual de contribuição de energias renováveis em seu mix energético alcançasse um total de 65%. A adição dos aerogeradores eólicos e painéis fotovoltaicos vieram para complementar a produção renovável de eletricidade que

anteriormente era realizada a partir de uma central termoelétrica (Eletricidade dos Açores, 2019).

Este projeto, que foi financiado pelo Governo dos Açores, em um total de 4,5 milhões de euros a título de fundo perdido e 2,9 milhões reembolsáveis (Açoriano Oriental, 2020). O projeto é realizado pela empresa dinamarquesa Howard Scott, que atualmente já é capaz de produzir energia para a Empresa de Eletricidade dos Açores desde agosto de 2019 (Açoriano Oriental, 2020).

O sistema Gracióllica é composto por um parque eólico de 4,5 MW de potência, divididos em cinco aerogeradores, além de 1 MW de painéis fotovoltaicos e um centro de armazenamento e gestão de energia de 7,4 MW está ilustrado na Figura 25 (Eletricidade dos Açores, 2019).



Figura 25 – Projeto Gracióllica

Fonte: Eletricidade dos Açores, 2019

3.4.4.2 Ilha Terceira nos Açores

O primeiro aerogerador da Ilha de Terceira foi instalado na Serra do Cume em meados de 2008. O parque eólico consistia em cinco aerogeradores de potência nominal de 0,9 MW que produziam em média 5% da energia consumida pela população da ilha. O projeto foi realizado pela EDA, com o custo de produção e instalação de cinco milhões de euros (RTP, 2008).

Em meados de 2013 houve uma ampliação desse parque realizado pela Empresa de Electricidade e Gaz. O número de aerogeradores eólicos dobrou, totalizando dez aerogeradores, e com uma produção de 9 MW de potência. Com isso a produção anual de energia eólica pode atingir valores próximos a 26 GWh, correspondendo a 12% do total de energia produzido na Terceira (EDA, 2013).

A ideia da ampliação do parque decorreu dos ótimos resultados apresentados no ano de 2010, seja em questão de fiabilidade dos equipamentos ou dos recursos eólicos provenientes do local (EDA, 2013). O parque em destaque é o maior em capacidade instalada, ao lado do parque eólico do planalto de Graminhais, na ilha de São Miguel (a maior das ilhas Açorianas). A Figura 26 mostra a imagem do parque eólico da Serra do Cume.



Figura 26 – Parque eólico da Serra do Cume

Fonte: Siam, 2020

3.4.5 Arquipélago da Madeira

Já o arquipélago da madeira é constituído essencialmente pela Ilha da Madeira e a Ilha do Porto Santo, as duas maiores ilhas do arquipélago. Existem também o conjunto de ilhas denominado ilhas desertas, que em sua maioria são desabitadas e o conjunto das ilhas Selvagens que possuem duas pequenas ilhas habitáveis e 17 ilhéus desabitados (Madeira Islands Essential, 2014).

A empresa responsável pela regulamentação da produção, transporte, distribuição e comercialização da energia elétrica no arquipélago é a Empresa de Electricidade da Madeira (EEM). A EEM é uma empresa verticalmente integrada que adquire energia de produtores privados e atua na produção além de trabalhar no setor de transporte distribuição e comercialização da mesma (EEM, 2019).

A produção de energia no arquipélago provém de cinco principais fontes de energia: eólica, fotovoltaica, recursos hídricos, queima de combustíveis fósseis e

queima de RSU (Resíduos Sólidos Urbanos). No que tange a produção eólica a ilha possui diversos parques eólicos, sendo alguns geridos pela própria EEM e ENEREEM (Energias Renováveis da EEM), como no caso do parque no Porto Santo, os parques da Madeira, e alguns outros geridos por entidades privadas, em sua maioria no Paúl da Serra (EEM, 2019).

A utilização das energias renováveis no arquipélago é bastante elevada. No ano de 2018, 30,8% da energia produzida foi proveniente dessas fontes, valor que totalizou uma produção de 266,2 GWh (EEM, 2019). Além disso o planejamento do governo era de que ao final de 2020 fosse possível aumentar esse percentual para 50% (RTP, 2017).

O planalto de Paul da Serra é o maior e mais extenso planalto existente na ilha da Madeira, possuindo uma altitude média de 1500 m. O local é propício para a obtenção de energia eólica e, por isso, abriga atualmente oito parques eólicos. Sendo quatro deles operados pela ENEREEM e outros quatro operados por empresas privadas, no total a potência instalada na somatória dos parques é de cerca de 44,21 MW (EEM, 2019). A Figura 27 mostra a imagem do parque eólico denominado com o nome do planalto.



Figura 27 – Parque eólico do Paúl da Serra

Fonte: TPF, 2020

Além dos parques anteriormente citados, em meados de 2019, o governo da Madeira anunciou a concretização de dois novos projetos eólicos que devem começar a operar ainda em 2020 designados Parque Eólico do Alecrim e Parque Eólico do Urze, localizados no mesmo planalto (Funchal Notícias, 2019).

O projeto será construído e explorado pela sociedade denominada Euroventos Atlantic-Projetos Ecológicos e Energéticos do Atlântico, Ltda (Funchal Notícias, 2019). As 12 pás eólicas referentes aos parques em questão além de quatro geradores de energia já foram transportadas e entregues pela empresa LASO em uma operação que durou cerca de 3 meses (Revista Cargo, 2020). Ao final de junho de 2020 eram feitas reparações nas pás eólicas que foram decorrentes do transporte via marítima e viária, ao final deste processo se dará início a construções dos mesmos (DNotícias, 2020).

4. Energia eólica no Brasil

4.1 Panorama da energia eólica no Brasil

O início da utilização do potencial eólico, como fonte de geração de energia elétrica no Brasil, começou no começo dos anos 90. A ANEEL informa que a primeira turbina de energia eólica do país foi instalada na ilha de Fernando de Noronha, no Pernambuco, porém não estava diretamente conectada com a rede elétrica nacional, por se tratar de uma ilha. Similarmente ao caso dos arquipélagos portugueses, o incentivo em geradores eólicos na ilha de Fernando de Noronha tinha como objetivo a redução do uso de combustíveis fósseis, nesse caso específico o Diesel, como fonte de produção de energia. Na época essa turbina era responsável pela produção de 10% da energia da ilha.

O primeiro gerador eólico ligado diretamente a rede brasileira começou a ser operado em 1994, na cidade de Gouveia-MG (ANEEL, 2010). Nos anos 2000, o governo brasileiro iniciou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) que começou a difundir ainda mais as fontes renováveis geradoras de energia, o que por consequência acarretou a construção de mais parques eólicos no país (ANEEL, 2010).

Como consequência desta ação, a capacidade instalada de energia eólica no país cresceu vertiginosamente. A Figura 28 revela informações sobre a evolução do potencial instalado no país nos últimos anos, valores em GW, bem como o total de cada um dos anos referentes, mostrando assim um futuro próspero para a produção de energia desse setor no futuro.



Figura 28 – Potencial eólico brasileiro instalado, em GW

Fonte: ABEEólica, 2019

No dia 15 de junho de 2020, considerado o Dia Mundial do Vento, o portal da Agência Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica) informou dados referente a produção dessa fonte atualizados do primeiro semestre do ano. O Brasil atingiu a marca de 16 GW de capacidade eólica instalada, ratificando o segundo lugar em geração de elétrica no mix elétrico energético nacional, posição essa que foi atingida pela primeira vez em 2019. O percentual de produção eólica atingiu os 9,3%, conforme indicado na Figura 29, atrás apenas da fonte hídrica que é a referência em produção de energia no país (ABEEólica, 2019).

Os valores absolutos de capacidade instalada colocam o Brasil em sétimo no ranking mundial de produção de energia a partir dessa tecnologia, estando pouco atrás da França que atualmente ocupa a sexta posição (ABEEólica, 2019). Em comparação com Portugal, o país europeu aparece na décima-sétima posição mundial, colocação bastante expressiva tendo em consideração a sua pequena extensão se comparado com os países a sua frente. Apenas a Dinamarca, atualmente em décimo-sexto, possui uma dimensão territorial menor que Portugal (Wind Energy International, 2020)

Outro parâmetro que indica um possível contínuo crescimento dessa fonte no país é o potencial eólico do mesmo, de acordo com o estudo feito pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), publicado em 2020, é possível atingir um total de 170 GW onshore, valor esse que é aproximadamente dez vezes maior do que o total de capacidade eólica produzida pelos parques eólicos atualmente em funcionamento (Empresa de Pesquisa Energética, 2020).

O governo do país destaca também o percentual de energias renováveis na matriz energética global, atingindo um total de 46,1% no ano de 2019, com aumento percentual de 0,6 em relação a 2018. Capitaneados pelas fontes hídricas e somados as contribuições da eólica, solar e bioenergia o indicador brasileiro é três vezes maior do que a média mundial (Ministério de Minas e Energia, 2020). O valor é bastante similar a matriz energética portuguesa, que também está por volta de 50%, indicando a força das energias renováveis nos dois países.

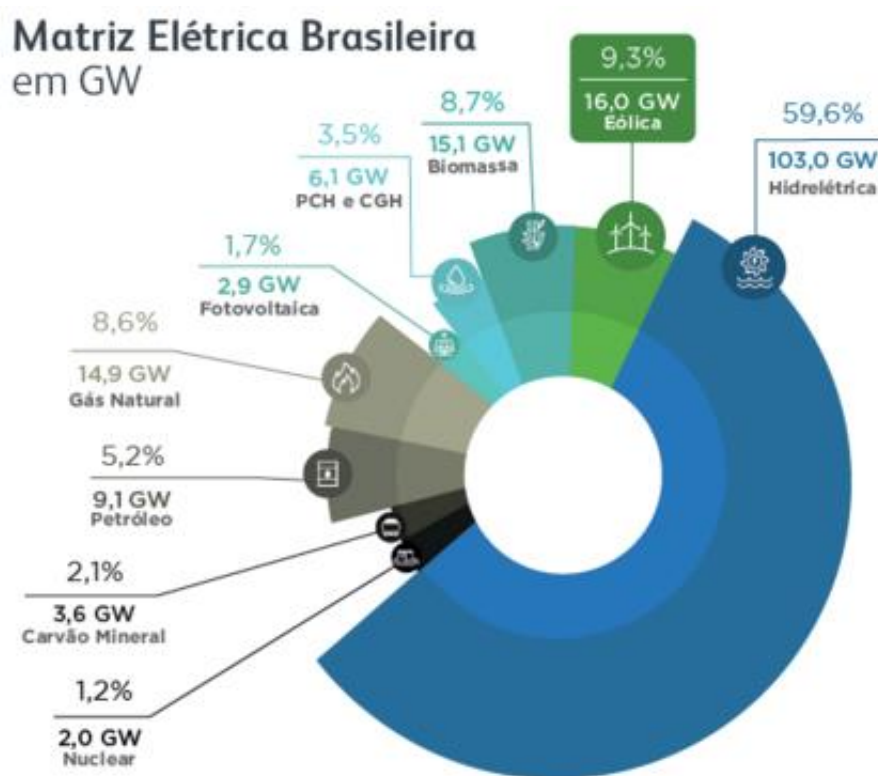


Figura 29 – Mix elétrico energético brasileiro

Fonte: ABEEólica, 2020

Outros dados interessantes referentes à produção eólica no país mostram que o Brasil possui atualmente 637 parques eólicos instalados com mais de 770 aerogeradores (ABEEólica, 2020). A estimativa para o futuro é positiva, com

previsões de 24 GW de capacidade eólica instalada até 2024 a considerar os leilões já realizados e os contratos previamente firmados (Canal Energia, 2020).

O principal destaque no que tange a produção de energia eólica no país é a região Nordeste, nessa região, em determinados momentos, atingiu-se uma produção de energia suficiente para abastecer a rede elétrica de toda a região (ABEólica, 2020).

Outro ponto interessante a se destacar é o alto fator de capacidade de produção, em especial nos parques da região Nordeste. Este fator compara o percentual de energia efetiva produzida por um parque ou por um gerador eólico, em função da capacidade total que seria possível atingir em função da variação dos ventos do local. Esse valor percentual está acima dos 40% no Brasil enquanto a média global é de apenas 25% (Miguel F, 2016). Se comparado com a média europeia, a disparidade é um pouco menor, dado que o FC europeu beira os 28%.

$$F_C = \frac{E_G}{C_I} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

F_C – Fator de Capacidade

E_G – Energia Gerada

C_I – Capacidade Instalada

O fator de capacidade, que representa um valor adimensional, representa a energia total gerada em MWh em função da capacidade instalada, que normalmente é exposta em MW, mas se calculado o potencial por um determinado período, pode ser obtido também em MWh (Bluhm B, 2017).

Por se tratar de uma fonte de energia intermitente, existe uma grande diferença percentual de produção entre os períodos do ano mais ventosos em relação à média anual. O ano de 2019 foi o que teve a maior geração de energia injetada na rede elétrica com um percentual médio de 9,7% vindo de parques eólicos. Mas, se considerado os valores nos meses mais ventosos, esse percentual chegou a atingir valores de 17% do total de energia injetada na rede (REVE, 2020). A REVE (Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico) também destacou que a energia eólica média gerada no país em 2019 seria suficiente para fornecer energia para 28,8 milhões de casas ou aproximadamente 86 milhões de pessoas.

Outra vertente da energia eólica que tem ganhado muito destaque é a offshore, mas que por se tratar de uma tecnologia ainda em expansão e evolução, o Brasil não possui nenhuma torre eólica offshore. O artigo lançado pela empresa vinculado ao ministério de Minas e Energia do Brasil tem como objetivo alavancar uma discussão sobre a tecnologia, para que possíveis investimentos futuros possam ocorrer.

No Brasil o potencial eólico offshore é ainda maior, de acordo com o estudo feito pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), publicado em 2020, é possível atingir um total de 700 GW, valor esse que é aproximadamente quatro vezes maior do que o potencial onshore (Empresa de Pesquisa Energética, 2020).

4.2 Parques eólicos

Por se tratar de um país com dimensões continentais, é importante entender em que regiões e estados do Brasil existem mais projetos de energia eólica, em quais regiões são mais favoráveis para a exploração dessa tecnologia e onde estão sendo criados os novos parques eólicos no país. Para melhor visualização, a Figura 30 ilustra as diferentes regiões do Brasil enquanto a Tabela 1 mostra o total de energia produzida no ano de 2019 por cada uma das regiões, e a sua representatividade.



Figura 30 – Divisão do Brasil por Regiões

Fonte: Suporte Geográfico, 2020

Tabela 1 – Produção de energia eólica em 2019

Região	Energia Produzida (TWh)	Percentual
Sudeste	0,06	0,10%
Sul	5,62	10,30%
Nordeste	48,68	89,60%
Total	54,36	100%

Fonte: Adaptado de ABEEólica, 2019

Como pode ser visto, na Tabela 1 a principal região em valores absolutos de produção é o Nordeste, fato que se explica pelo grande potencial ventoso dos Estados presentes nessa região. Atualmente dos cinco estados que mais produzem energia eólica, os quatro primeiros se encontram na região Nordeste (Bahia, Rio Grande do Norte, Piauí e Ceará) e o quinto em representatividade é o Rio Grande do Sul, da região Sul (ABEEólica, 2019). A Tabela 2 mostra o potencial eólico dividido por estados no começo de 2020.

Tabela 2 – Potência instalada por estado no Brasil no começo de 2020

Região	Estado	Nº de aerogeradores	Pot. Instalada (MW)
Nordeste	BA	166	4125
	PI	61	1662
	PE	34	782
	RN	160	4372
	MA	14	402
	PB	15	157
	CE	83	2160
	SE	1	35
Sul	RS	80	1836
	SC	12	233
	PR	1	3
Sudeste	RJ	1	28
Total		628	15795

Fonte: Adaptado de ePowerBay, 2020

É importante destacar que houve um crescimento produtivo de 17% de 2018 para 2019, que se deve em parte pela nova capacidade instalada no país. Foram construídos 38 novos parques eólicos que somam um total de 745 MW de potência, distribuídos em 3 estados diferentes (Bahia, Rio Grande do Norte e Maranhão), novamente estados pertencentes à região Nordeste.

A nova capacidade instalada no Brasil no ano de 2019 foi a menor dos últimos seis anos, valor que pode ser explicado pela não realização de leilões entre os anos de 2015 e 2017, mas que ainda representa o décimo segundo lugar mundial em novas instalações (GWEC, 2019). Esse valor não deve gerar preocupação devido ao elevado número de leilões realizados e que permitirão a construção de novos parques dentro dos próximos anos. Ainda referente ao investimento em energias renováveis, o setor eólico foi responsável por 53% dos mais de R\$ 25 bilhões do montante total investido no Brasil. O investimento em energias renováveis no país foi o maior desde 2015 com um crescimento de 74% se comparado com 2018 (ABEEólica, 2019).

Após verificar o crescimento da energia eólica no país nos últimos anos também vale expor alguns dos novos projetos concluídos, ou em desenvolvimento que são destaque no Brasil. Como a quantidade de parques e novas construções é maior do que o caso português, será mais fácil subdividir este tópico entre as principais regiões e estados do país.

4.2.1 Região Nordeste

4.2.1.1 Bahia

Apenas no primeiro semestre de 2020 já haviam sido construídos seis novos parques eólicos no Estado da Bahia, são eles: Caititu II, Caititu III, Corrupião III, Carcará, Ventos de São Januário XX e Ventos de São Januário XXI (G1, 2020). Os novos projetos estão localizados nos municípios de Pindaí e Campo Formoso. Atualmente, com a adição dos seis novos parques, a Bahia contribuiu com a produção de 32% da energia eólica nacional no período entre janeiro e maio de 2020, valor suficiente para suprir as necessidades energéticas de mais de 8 milhões de famílias, valor superior ao número de famílias do próprio Estado (Ciclo Vivo, 2019).

Além dos seis projetos citados, dois novos projetos ainda devem entrar em funcionamento até o final de 2020, são eles: Ventos de São Januário IV e Ventos de São Januário XXII, no município de Campo Formoso (G1, 2020). A Bahia, além do seu potencial eólico, é líder nacional na produção de energia solar com 30,9% do montante total. A Figura 31 mostra os municípios baianos que possuem parques eólicos e solares.

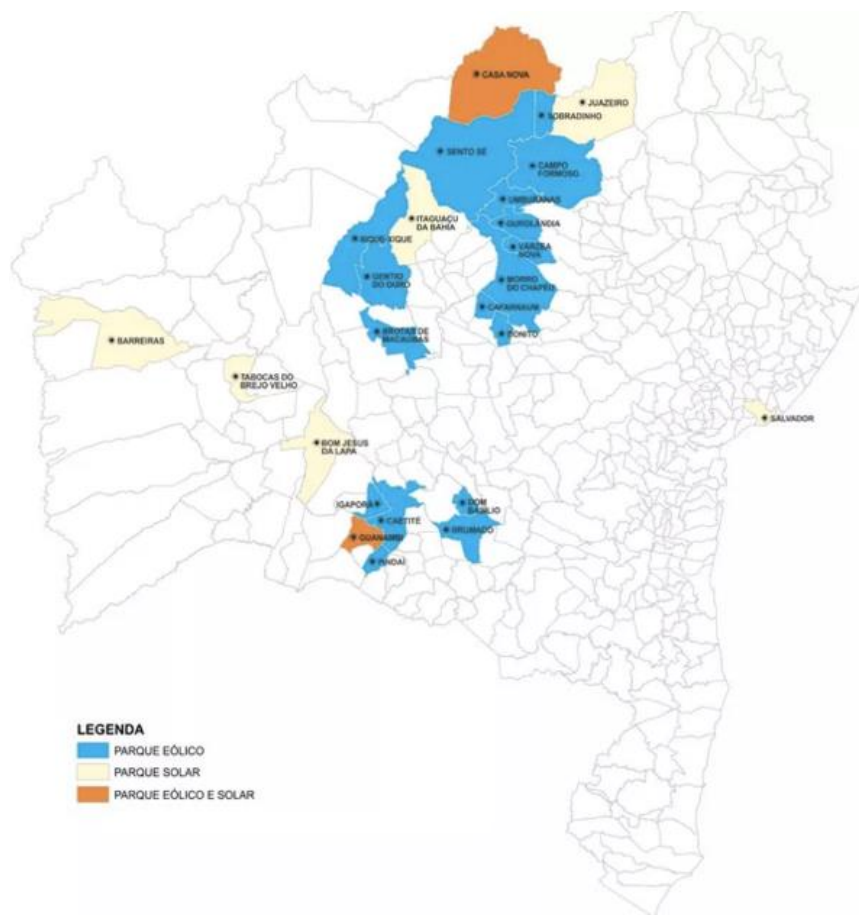


Figura 31 – Parques eólicos e solares no Estado da Bahia

Fonte: G1, 2020

De acordo com os dados do setor de energias renováveis da SDE (Secretaria de Desenvolvimento Econômico) existem atualmente 54 parques eólicos em construção na Bahia e mais 70 com previsão para que se inicie as construções brevemente (Ciclo Vivo, 2020).

4.2.1.2 Paraíba

Por mais que faça parte da região Nordeste do país, que é a que mais investe em energia eólica, e possuir uma costa favorável para a exploração desse recurso, o estado da Paraíba ainda não possui um grande destaque na produção nacional de energia por fontes eólicas, porém esse cenário deve mudar nos próximos anos.

O estado que se destaca por ser um dos que possui alto fator de capacidade, atingindo valores acima dos 60% no inverno, será o local de investimento de 12 novos parques nos próximos três anos (ABEEólica, 2019). O BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) aprovou no início do ano um

financiamento de aproximadamente 200 milhões de euros para a empresa Neoenergia (Ciclo Vivo, 2020).

Esses parques serão responsáveis por aumentar a capacidade local instalada em 370,8 MW, quase 3% do total instalado atualmente no país, e poderão gerar energia suficiente para abastecer 840 mil residências.

A empresa Neoenergia, que é uma subsidiária da Iberdrola, empresa responsável por vários investimentos em Portugal bem como em outros países da Europa, pretende construir um complexo eólico no estado até o final de 2023, composto por um total de 18 parques eólicos, sendo três atualmente já em operação, os 12 que foram financiados pelo BNDES e mais três a aguardar financiamento (Iberdrola, 2020).

Esse projeto será de suma importância para a criação de empregos locais, visto que está previsto a contratação de mais de 1000 colaboradores, movimentando a economia local (Ciclo Vivo, 2020). Outro ponto importante a se destacar é que após concluído, esse projeto será responsável por transformar o Brasil no país com a maior potência eólica do grupo Iberdrola dentro da América Latina (Iberdrola, 2020).

4.2.1.3 Pernambuco e Piauí

Os estados de Pernambuco e Piauí, também pertencentes a região Nordeste do Brasil, receberão investimento de uma Joint Venture da Votorantim Energia e um fundo de investimentos canadense intitulado CPP (Uol, 2020). Uma Joint Venture, ou empreendimento em conjunto, é um acordo entre duas empresas distintas para fazerem parte de um projeto, assumindo os lucros, perdas e custos associados ao projeto de forma conjunta (The Balance Small Business, 2020). Essa forma de parceria é muito utilizada em empresas que não conseguem mais investir em seu país de origem e procuram alcançar suas metas investindo em países terceiros. O Brasil se beneficia bastante do seu potencial, no caso eólico, para atrair muitas empresas estrangeiras em acordos comerciais similares a esse.

Pernambuco foi um dos pioneiros na implementação da energia eólica no Brasil, com a turbina eólica de Fernando de Noronha, em um projeto em parceria com a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e órgãos federais, além de uma instituição dinamarquesa.

Atualmente os dois estados possuem investimentos massivos na produção de energia eólica, que datam de 2017 e 2018. Os últimos parques instalados na Chapada do Araripe, que fica na divisa dos dois estados, possuem um potencial de mais de 350 MW de potência instalada. Esses parques fizeram parte de um conjunto de projetos instalados nessa área que chegam a totalizar mais de 1 GW de potência instalada (Canal BioEnergia, 2017). A Figura 32 ilustra o complexo de Ventos do Araripe.



Figura 32 – Complexo Ventos do Araripe

Fonte: E-cycle, 2017

Os projetos, que também tiveram a participação do grupo Votorantim juntamente com a empresa Casa dos Ventos, foram importantes na criação de milhares de empregos, que priorizaram a mão de obra local, desde o final de 2016 até 2018. Além disso, no âmbito social, a empresa Casa dos Ventos se tornou parceira de mais de 70 famílias que residem nessa área, que arrendaram parte dos seus terrenos para a construção do complexo, e recebem mensalmente parte dos lucros gerados pela produção de energia do complexo (E-Cycle, 2017). A empresa Casa dos Ventos também foi responsável pela construção de uma linha de transmissão que permite que a energia gerada no local seja ligada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) (E-Cycle, 2017).

O grupo Votorantim pretende iniciar as obras desses dois novos parques ainda no início de 2021 e conclusão prevista para o final de 2023. Os parques, que terão uma capacidade conjunta de aproximadamente 410 MW, ao se juntarem ao grande complexo eólico da região de Araripina se tornarão o maior cluster do país, sendo responsável por mais de 5% da produção Nacional (Uol, 2020).

4.2.1.4 Rio Grande do Norte

O estado do Rio Grande do Norte obteve a maior produção de energia eólica no ano de 2019, com 14,09 TWh de produção e possui o maior potencial de energia

instalada no país com 4 GW. Além disso foi responsável pelo pequeno aumento do potencial brasileiro no mesmo ano, com a instalação de cinco novos parques com potencial de 146 MW (ABEEólica, 2019). Esse estado, que atualmente possui mais de 1500 aerogeradores em funcionamento, alguns deles expostos na Figura 33, movimentou mais de 15 mil milhões de reais nos últimos 20 anos, e há de se destacar que grande parte da mão de obra para a construção desses projetos é local. O presidente do CERNE (Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia) cita que 30% de toda o corpo de colaboradores que atuam nesses projetos são contratados nas localidades e que o setor eólico fomenta um novo mercado de negócios, com criação de novas empresas da área ou de prestação de serviços (AgoraRN, 2019).



Figura 33 – Aerogeradores no Rio Grande do Norte

Fonte: Jovem Pan, 2020

Por possuir um alto potencial eólico o estado do Rio Grande do Norte sempre foi um dos locais destaque para a criação de novos projetos na área, e o cenário parece continuar nos próximos anos. Ainda no início de 2020 foi aprovado pelo BNDES um projeto realizado pela EDP Renováveis com potência instalada de 319 MW que devem começar sua instalação ainda em 2021 (EDP, 2020). Mais uma vez é possível perceber grandes empresas internacionais agindo em parceria com o banco de investimentos nacional para a criação de projetos no setor eólico do país.

A contratação de colaboradores locais também já é estudada pela empresa, e de acordo com a própria EDP, será necessária a contratação de

aproximadamente 700 colaboradores, sendo a busca por mão de obra local uma possibilidade da empresa (EDP, 2020).

Além do projeto previamente citado, o estado do Rio Grande do Norte pode se tornar o pioneiro no Brasil em utilizar a tecnologia eólica offshore. No começo de setembro a empresa BI Energia apresentou uma proposta ao governo do Estado que deve ser assinada ainda no ano de 2020, referentes à construção de parques eólicos na costa do estado (Click Petróleo e Gás, 2020).

Se os projetos forem aprovados e licenciados a expectativa é de que as obras se iniciem em dois ou três anos. Os parques que poderão ser construídos na costa das cidades de Touros, São Miguel do Gostoso e Pedra Grande preveem a instalação de 52 aerogeradores que totalizarão 624 MW de potência instalada (Click Petróleo e Gás, 2020).

4.2.1.5 Ceará

Além do Rio Grande do Norte, outro estado que desponta como grande polo de investimento para futuros parques eólicos offshore é o Ceará. Em julho de 2020 mais um projeto, também efetuado pela Bi Energia, passa a ser analisado e licenciado para futura implementação. O projeto, Figura 34, trata-se da implementação de um parque eólico na costa de Camocim que pode totalizar mais de 1 GW de potência instalada (EPBR, 2020).



Figura 34 – Projeto de parque eólico offshore em Camocim

Fonte: EPBR, 2020

De momento, quatro dos sete projetos eólicos offshore em licenciamento no Brasil se localizam no Ceará (EPBR, 2020). E esses valores podem ser explicados

pelo alto potencial de capacidade para instalação offshore aliado a um alto fator de capacidade que consegue superar os valores onshore, que já estão bem acima da média mundial (Atlas Eólico e Solar, 2019).

Os outros 3 projetos offshore em licenciamento no estado totalizam mais de 3,5 GW de potência instalada. O total previsto para o estado, se forem concluídos os quatro projetos, aumentariam em mais de 25% o potencial total do Brasil. E, por motivos de comparação, esses quatro projetos sozinhos praticamente atingiriam o potencial total de Portugal (Diário do Nordeste, 2020).

Além da criação de empregos, diretos e indiretos, na construção desses projetos no Nordeste previamente citados, vale ressaltar os projetos acadêmicos e as oportunidades que têm se criado em especial nesse estado. A quantidade de artigos e dissertações produzidas nos últimos anos pelas universidades desse estado tem crescido, aproveitando o potencial eólico do Estado.

Em relação à produção de energia eólica onshore no estado, não há nenhum grande novo projeto em andamento, devido ao grande interesse em projetos offshore, mas o mesmo ainda se destaca em âmbito nacional, com mais de 2 GW de potência instalada, e entre os três maiores produtores nacionais (ePowerBay, 2020).

4.2.2 Região Sul

Um dos poucos estados fora da região Nordeste que se destaca na produção de energia eólica no Brasil é o Rio Grande do Sul, localizado na Região Sul do país. Desde o início da implantação e disseminação desta tecnologia no país o governo do estado sempre buscou entender o potencial real do estado e conseguiu se destacar em uma zona do país que não investe tanto no setor.

Em 2014, foi lançado o Atlas de Energia Eólica do Rio Grande do Sul que serviu de incentivo para que grandes empresas começassem a apostar em energia eólica também no sul do país. O potencial onshore do estado é um dos maiores do país, superando vários da região Nordeste, podendo atingir mais de 250 GW se for utilizado a tecnologia com torres de 150 m de altura (InvestRS, 2019). De acordo com os dados de 2019 o estado possui 80 parques ativos com quase 2 GW de potência instalada. O valor ainda pode aumentar exponencialmente tendo em vista que existem muitos projetos que já atualmente possuem viabilidade econômica e ambiental (InvestRS, 2019).

Um dos grandes problemas para o atual crescimento de projetos no estado é a questão logística de transmissão da energia gerada. O estado vem sofrendo com problemas de infraestrutura que impossibilitam novas construções. Esse setor no estado teve um crescimento entre os anos de 2014 e 2017, mas desde então se manteve praticamente estável. Esse problema, no entanto, deve estar próximo de ser resolvido. Obras para a construção de novas linhas de transmissão e

subestações elétricas estão ocorrendo no Brasil, mesmo em meio a pandemia do Covid-19. Com os projetos concluídos, o interesse para a construção de novos parques será maior, bem como a própria produção de componentes do aerogerador dentro do estado (GZH Economia, 2020). Outro “problema” que interfere o crescimento do setor no Rio Grande do Sul é a forte concorrência dos projetos no Nordeste, mas que no âmbito nacional não se reflete diretamente como um problema.

Em função disso alguns novos projetos começam a avançar, como é o caso da ampliação do Corredor do Senades, Figura 35, que atualmente possui 108 MW de potência instalada e, de acordo com a empresa ADS Energias renováveis, deve ampliar em 80 MW (Jornal do Comércio, 2020).



Figura 35 – Corredor do Senades no Rio Grande do Sul

Fonte: Jornal do Comércio, 2020

Além do que já foi citado anteriormente em relação a energia eólica offshore no Ceará e no Rio Grande do Norte, a empresa Neenergia (Iberdrola) também já fez estudos em relação ao potencial offshore do estado do Sul do país e prevê o crescimento dessa vertente (Click Petróleo e Gás, 2020). Os estudos ainda não devem sair do papel em 2020 ou 2021, mas em breve o Rio Grande do Sul também deve despontar como uma porta de entrada para a produção de energia eólica offshore no país.

4.3 Incentivos governamentais / programas

O Brasil sempre foi um país que priorizou a produção de energia elétrica através das fontes hídricas, parte pelo fato de obter um grande potencial, parte por ser uma energia de baixo custo de produção e despacho (Cenários Eólica, 2018). Porém, dada a crise hídrica que ocorreu no país no ano de 2001 e evidenciou uma

dependência dessa fonte, aliada às pressões internacionais em busca de fontes alternativas, a ideia de melhor explorar o potencial renovável no país começou a ser questionada (Cenários Eólica, 2018).

No âmbito da energia eólica, o primeiro projeto de incentivo governamental ocorreu ainda no ano de 2001. O chamado Proeólica, Programa Emergencial de Energia Eólica, tinha como objetivo viabilizar a implantação de 1,05 GW de potência instalada no país, até o final do ano de 2003, e que tal energia estivesse integrada ao sistema elétrico interligado nacional (Governo Brasileiro, 2001). E para tentar concluir esse objetivo alguns incentivos foram realizados, em especial referente ao elevado custo de implantação dessa tecnologia, que o governo brasileiro iria auxiliar, pagando pela energia produzida pelos projetos que fossem instalados até o fim do ano de 2003. Mas devido a inúmeros obstáculos o projeto sequer foi regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Cenários Eólica, 2018).

Posteriormente ao Proeólica, no primeiro semestre de 2002, foi criado o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de energia elétrica, denominado PROINFA, pelo congresso nacional (Governo Brasileiro, 2002). Esse programa tem como objetivo incentivar pequenos empresários e empreendedores a produzirem energia a partir de fontes renováveis, assegurando a aquisição da energia produzida por tais empreendimentos contratados dentro de um prazo de 20 anos (Eletrobrás, 2017). O valor máximo, estipulado pelo governo nacional, em que fosse possível produzir energia e ter a certeza de que ela seria comprada pelo governo era de 3,3 MW de potência instalada, dividido entre todas as fontes participantes, porém ao nos depararmos com os valores de potência instalados atualmente no Brasil, podemos afirmar que tal programa alavancou a produção eólica nacional (ANEEL, 2015).

Uma das medidas tomadas pelo governo brasileiro para incentivar o crescimento do mercado eólico no Brasil e conseguir gerar mais empregos, bem como aquecer a economia no setor, foram as exigências do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social em relação ao crédito destinado aos projetos eólicos no país. Para financiar os projetos o BNDES exige que ao menos 70% do aerogerador seja produzido em solo nacional (Bracier, 2013). Além disso, também foi exigido que a resina e fibra de vidro, utilizadas na produção das pás eólicas, fossem produzidas no Brasil. A medida, que foi implementada de forma progressiva desde o início do crescimento do setor em 2013 até 2016, foi bastante importante para a criação de novos empregos no país, bem como aquecer a economia local.

Outra forma de atrair empresas para investir no setor de energias renováveis, no caso específico aqui referido pela energia eólica, é a de incentivos fiscais. O governo nacional, por meio do chamado: Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI), prevê a isenção de tributos PIS e COFINS sobre a venda ou importação de equipamentos, máquinas e instrumentos novos e de aquisição de serviços em obras de infraestrutura (Moore, 2020). Essa lei entrou em regime em 2017. Outra medida similar é a criação de

convênio com isenção do ICMS (imposto estadual) para aquisição de componentes para geração de energia eólica e solar.

Existem também leis que reduzem os impostos na aquisição de máquinas e equipamentos utilizados na pesquisa e desenvolvimento de inovações de tecnologia, que engloba os estudos na área das energias eólicas (Moore, 2020).

Outra possibilidade de investimentos no setor de energia eólica no país é através dos chamados *Clean Development Mechanism*, similar ao exemplo citados nos Estados do Pernambuco e Piauí. Ele ocorre com o investimento de empresas em projetos nos chamados países em desenvolvimento. Esse mecanismo estimula o investimento, que talvez não seria possível de outra forma, em países em desenvolvimento, ao passo que gera maior flexibilidade para empresas e governos de países desenvolvidos de como atingir as suas metas de redução.

4.4 Energia e rede elétrica

Bem como já foi referido no capítulo 3, em relação ao sistema de rede elétrica de Portugal, também se faz necessário a compreensão do sistema brasileiro. Assim será possível verificar o motivo de algum dos problemas citados, em especial na região sul do país, com relação ao transporte e distribuição de energia, que têm sido um dos principais problemas para o maior desenvolvimento do setor eólico no país.

4.4.1 Setor Elétrico Brasileiro

O setor elétrico brasileiro pode ser dividido em três grandes grupos de atividades: geração de energia, transmissão e distribuição. O setor como um todo é regulamentado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) (Cubi Energia, 2017). No Brasil o serviço de distribuição de energia é público, e existem várias empresas responsáveis por tal serviço, devido a extensão territorial do país, sejam essas empresas autorizadas, permissionárias ou concessionárias. As empresas são regulamentadas pela ANEEL. O mesmo ocorre com as empresas de transmissão de energia (ANEEL, 2018). A Figura 36 expõe o funcionamento da fiscalização e controlo do setor elétrico brasileiro, bem como mostra as superintendências responsáveis por cada setor.

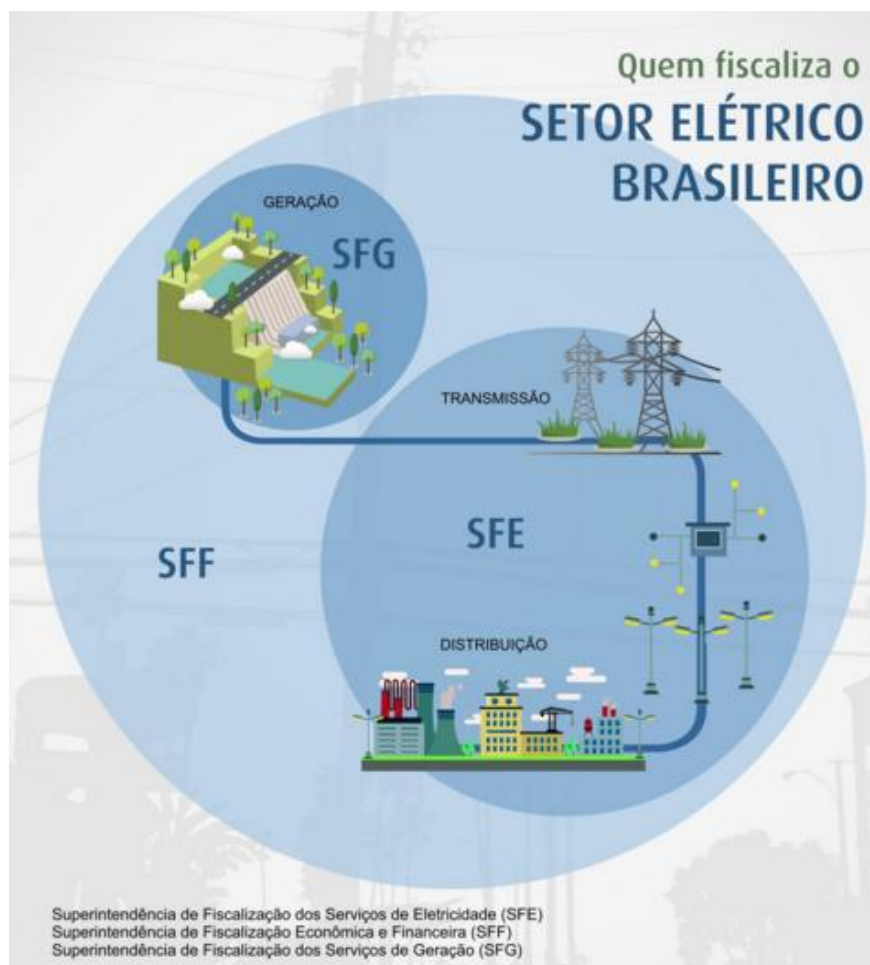


Figura 36 – Fiscalização do Setor Elétrico Brasileiro

Fonte: ANEEL, 2019

Em relação a comercialização da energia elétrica no Brasil, o mercado ainda não é totalmente liberalizado. Desde 2014, o Brasil passou a obter o cenário de um mercado livre para grandes consumidores de energia. O chamado Ambiente de Contratação Livre (ACL) permite que os grandes consumidores de energia possam negociar livremente com os distribuidores de energia, esse mercado movimenta em torno de 25% do total de energia elétrica comercializada no país (Cubi Energia, 2018). Porém, existe também um segundo ambiente, responsável pela maior parte da comercialização elétrica nacional, denominado Ambiente de Contratação Regulamentada (ACR) onde as distribuidoras de energia, por meio de leilões regulados pela ANEEL, ficam responsáveis pela prestação de serviços nas diferentes áreas do país (Soma Energia, 2018). Os contratos firmados pela ANEEL definem, por exemplo, o preço da energia, que não podem ser alteradas unilateralmente (CCEE, 2020).

No âmbito do PROINFA, como foi regulamentado a compra de energia proveniente de fontes alternativas pelos 20 anos seguintes ao decreto de lei, a ANEEL também é responsável pelo leilão dessa energia, em que os distribuidores,

em livre concorrência, comercializam a energia, adquirida pela Eletrobrás, das empresas participantes do PROINFA (CCEE, 2020).

É possível que o Brasil passe a se tornar um país com o mercado elétrico totalmente liberalizado, como ocorrem em países da União Europeia, Estados Unidos e Austrália, mas ainda existem muitos obstáculos a serem ultrapassados para que isso ocorra.

4.4.2 Sistemas Integrado Nacional

O Sistema Integrado Nacional é a rede elétrica responsável pela produção e transmissão de energia elétrica em grande parte do Brasil, onde atuam diferentes empresas de transmissão e distribuição de energia. O sistema abrange quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro Oeste, Nordeste e Norte, sendo o último responsável por uma parte da rede pertencente a esta região, mas não a sua totalidade, conforme demonstra a Figura 37 (ONS, 2020).



Figura 37 – Mapa do Sistema de transmissão da SIN

Fonte: ONS, 2020

Pela imagem é possível perceber que o sistema ainda é bem falho em boa parte da região Norte do país, em especial nos estados do Amazonas, Acre, Amapá, Pará e Roraima. No total existem 235 localidades no Brasil que são

operadas por sistemas isolados, também operados pelo Operador Nacional de Sistema Elétrico (ONS, 2020).

O benefício de se possuir um Sistema integrado Nacional é a possibilidade da transferência de energia entre subsistemas, explorando a diversidade de produção referente aos diferentes climas e terrenos do país, além de aumentar a segurança na distribuição de energia, no caso de ocorrer algum tipo de escassez de recurso de um determinado subsistema ou de alguma fonte de produção de energia, em especial as intermitentes (ONS, 2020).

4.4.3 Sistema Isolados

Os Sistemas Isolados são aqueles que, por algum motivo, normalmente razões técnicas ou económicas, não estão diretamente ligados ao Sistema Interligado Nacional (ANEEL, 2020). Atualmente cerca de 250 cidades brasileiras, na sua maioria na região Norte, possuem seu abastecimento de energia elétrica através de sistemas isolados (Empresa de Pesquisa Energética, 2019).

Por não estarem diretamente conectados ao resto do país, os agentes de distribuição de cada um desses sistemas devem encaminhar um documento anual ao Ministério de Minas e Energia, através do EPE, informando o planejamento para o fornecimento de energia as respectivas cidades (Empresa de Pesquisa Energética, 2019).

Utilizando como exemplo o estado de Rondônia, que possui vários municípios abastecidos por sistemas isolados, anualmente é feita uma análise dos custos necessários para manter o sistema, do possível déficit de energia no futuro próximo, e uma análise económica da possibilidade da criação de redes que façam a conexão com o Sistema Interligado Nacional (Sistemas Isolados, 2020). A Figura 38 mostra os 25 sistemas isolados de Rondônia, com suas respectivas potências instaladas.

Tabela 3 – Sistemas isolados de Rondônia

Localidade	Potência Instalada (kW)
Alvorada D'Oeste	6740
Calama	2040
Campo Novo	3520
Conceição da Galera	267
Costa Marques	6740
Cujubim	13300
Demarcação	344
Buritis	20160
Izidolândia	880
Machadinho D'Oeste	16800
Maici	103
Nazaré	1076
Nova Califórnia	4950
Pacaranã	2200
Pedras Negras	304
Rolim de Moura do Guaporé	856
Santa Catarina	292
São Carlos	2022
São Francisco	9000
Surpresa	854
União Bandeirantes	6720
Urucumacua	880
Vale do Anari	4840
Vila Extrema	4840
Vista Alegre	11430

Fonte: Adaptado de Sistemas Isolados, 2020

Levando em consideração que 8 das localidades terão um déficit de energia previsto para um período anterior a previsão de interligação, o governo decidiu analisar caso a caso para ver a melhor alternativa para o problema (Sistemas Isolados, 2020). O custo referente a interligação desses sistemas era inferior ao custo gerado devido aos deficits de energia. Assim é possível que muitos dos sistemas isolados, seja em Rondônia ou em outros estados próximos, também passem a ser conectados com o resto do país.

O maior empecilho ainda é econômico, tendo em vista que em muitas cidades ainda é mais rentável manter os sistemas isolados, mas conforme o aumento na demanda de energia, esse processo parece inevitável.

Para além disso, uma forma de contornar os custos dos atuais sistemas isolados seria a implementação de projetos de energia renovável, que auxiliariam a produção de energia reduzindo o custo com usinas térmicas, contratadas por meio de leilões, que atualmente são a matriz geradora de energia dessas áreas mais remotas.

5. Comparação Brasil e Portugal

Após verificar a evolução da tecnologia eólica nos dois países e a atual situação de cada um deles, bem como suas projeções futuras, é possível traçar um paralelo em relação aos dois casos. Para perceber quais ações e medidas foram realizadas por cada um dos países de forma similar ou diferente do outro, e assim poder sugerir os possíveis próximos passos em relação a energia eólica em cada um dos países estudados.

5.1 Comparação geofísica

Ao se comparar a geografia dos dois países é bastante importante entender a dimensão de ambos. Enquanto o Brasil possui 8,5 milhões de km² Portugal possui apenas 92 mil km², o que significa que o Brasil é quase 100 x maior do que Portugal. Para melhor visualização desta diferença, a Figura 38 mostra a comparação territorial do Brasil com Portugal. O país europeu é praticamente do tamanho do Estado de Pernambuco, assinalado em verde.



Figura 38 – Assinalado o Estado de pernambuco

Fonte: Adaptado de InfoEscola, 2020

Assim sendo, e sabendo que a potência nominal instalada de energia eólica portuguesa é apenas três vezes menor do que a brasileira é possível ter algumas suposições em relação a isso. Portugal é um país que explora muito bem seus recursos eólicos, o mesmo ainda não pode ser dito sobre o Brasil, levando em consideração o total de potência instalado em cada um dos países e se comparando com o potencial eólico em cada um deles. Mas a possível crescente brasileira nesse setor, prevista pelos últimos leilões, pode diminuir essa disparidade em relação a exploração de recursos. O Brasil ainda é um país com um grande potencial eólico mal explorado.

Outro possível motivo referente a melhor exploração de Portugal seria a composição geofísica do país. Ao final de 2019, um projeto europeu denominado New European Wind Atlas feito em conjunto com os países da União Europeia, além da Noruega, Suíça e Turquia permitiu avaliar o potencial eólico em pequena e grande escala, dos países envolvidos, em diferentes alturas possíveis para a instalação de aerogeradores, com intervalos de 30 minutos e um período avaliado de 30 anos, entre 1989 e 2018 (Dorenkamper M et al, 2020). O espaço territorial avaliado por cada um dos grupos é exposto na Figura 39.

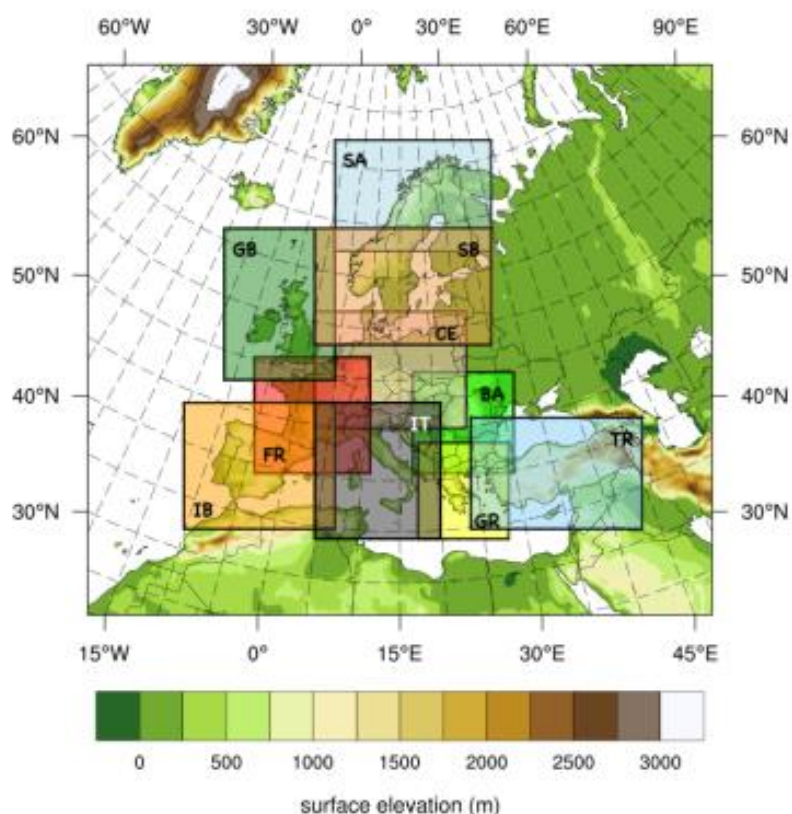


Figura 39 – Disposição da área de estudo de potencial eólico por cada região da Europa

Fonte: Dorenkamper M et al, 2020

A partir dos dados avaliados e coletados foi possível projetar diferentes mapas dos potenciais eólicos dos países em função de determinados parâmetros escolhidos. Pela análise da Figura 40 é possível identificar a diferença na velocidade dos ventos, a uma altura de 100 m, dos países europeus e sua costa marítima próxima, esse mapa leva em consideração os dados referentes aos últimos 30 anos de registros.

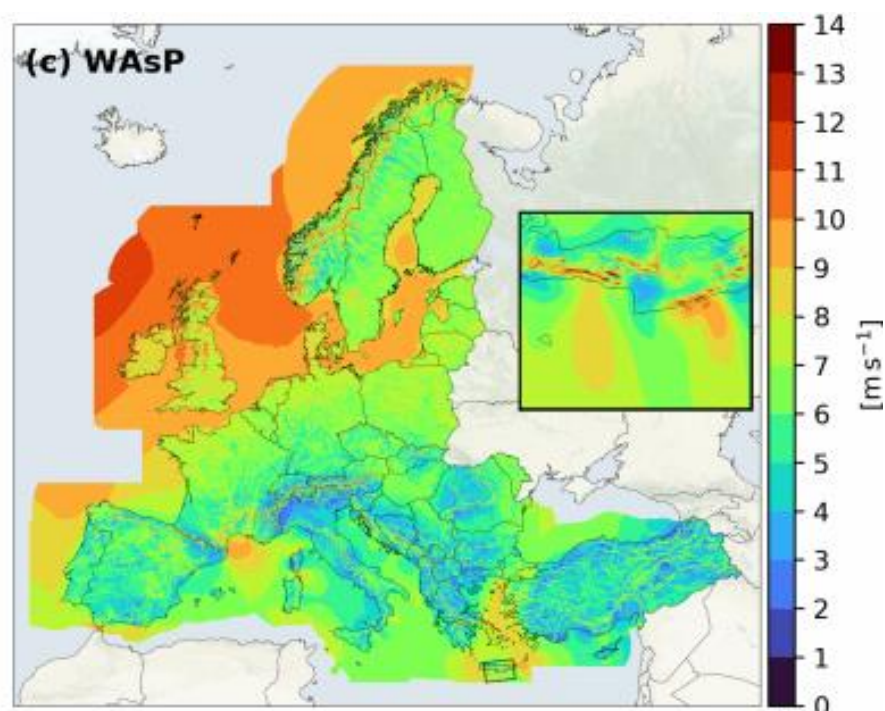


Figura 40 – Velocidade dos ventos atingida a uma altitude de 100m

Fonte: Dorenkamper M et all, 2020

É possível verificar que Portugal possui um potencial eólico relativamente bom, em especial offshore, o que permite que essa tecnologia seja bastante explorada, e com isso justifica o seu crescimento nos últimos 10 anos.

Em relação ao potencial eólico onshore dos parques já existentes, um estudo realizado em 2014, prevê que o crescimento sustentável desta tecnologia não deve ultrapassar mais do que 800 MW de potência instalada onshore. Ou seja, a instalação de novas turbinas ou troca de pás, para o aumento do potencial instalado pode aumentar em aproximadamente 15% do atual potencial do país. Em relação ao espaço territorial que ainda pode ser utilizado para a criação de novos parques é mais restrito, dando prioridade as tecnologias offshore ou em aerogeradores para autoconsumo. (Casadinho, 2014).

No caso do Brasil, por se tratar de um país de dimensões continentais, o estudo sobre o potencial eólico foi realizado com a parceria realizada por várias instituições meteorológicas, espalhadas ao redor do país que estudam os parâmetros referentes ao comportamento do vento nas diferentes regiões do país

(Amarante A et al, 2001). A Figura 41 mostra as médias anuais de velocidade de vento nas diversas regiões do país.

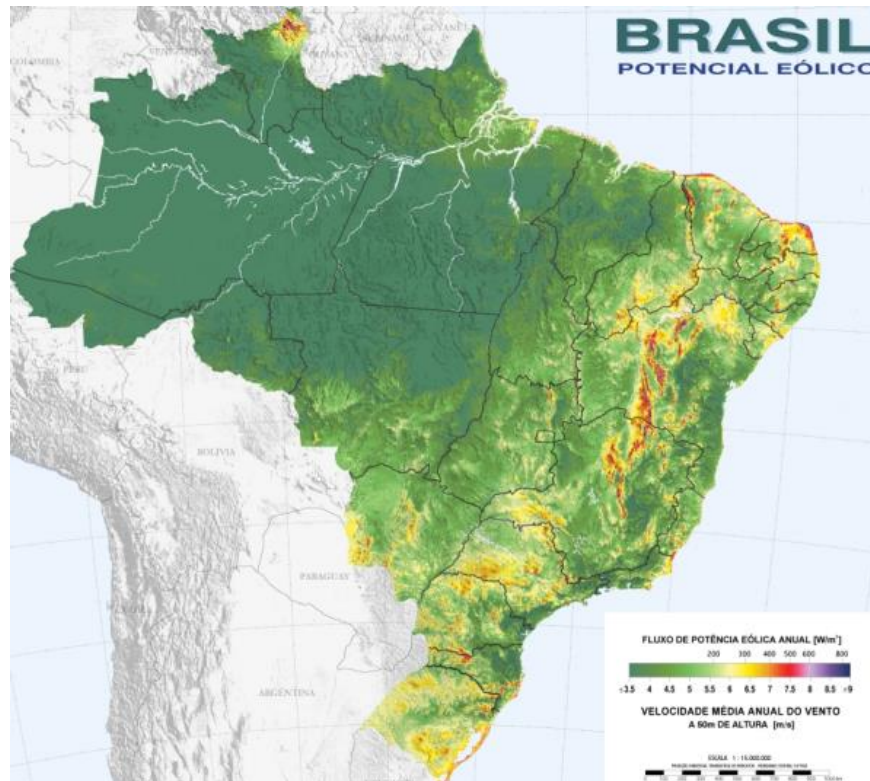


Figura 41 – Fluxo de potência eólica no Brasil

Fonte: Amarante A et al, 2001

Um dos fatores interessantes a se considerar é a grande variedade de climas e relevos presentes em seu território, isso faz com que os estudos sejam realizados de forma um pouco diferente. Alguns estados brasileiros podem apresentar uma média de velocidade de ventos anual não muito alta, mas que nos meses de pico atinjam valores tão elevados que justificam o investimento nesse setor de tecnologia, um desses casos é o Rio Grande do Sul (Amarante A et al, 2001).

Devido a essa grande variedade sazonal, esse estudo realizado em meados de 2001 levou em consideração além das médias anuais as médias trimestrais, que representam a velocidade do vento e potencialmente durante as diferentes estações do ano. Ao final deste estudo foi possível chegar em um potencial eólico regional representado pela Figura 42.

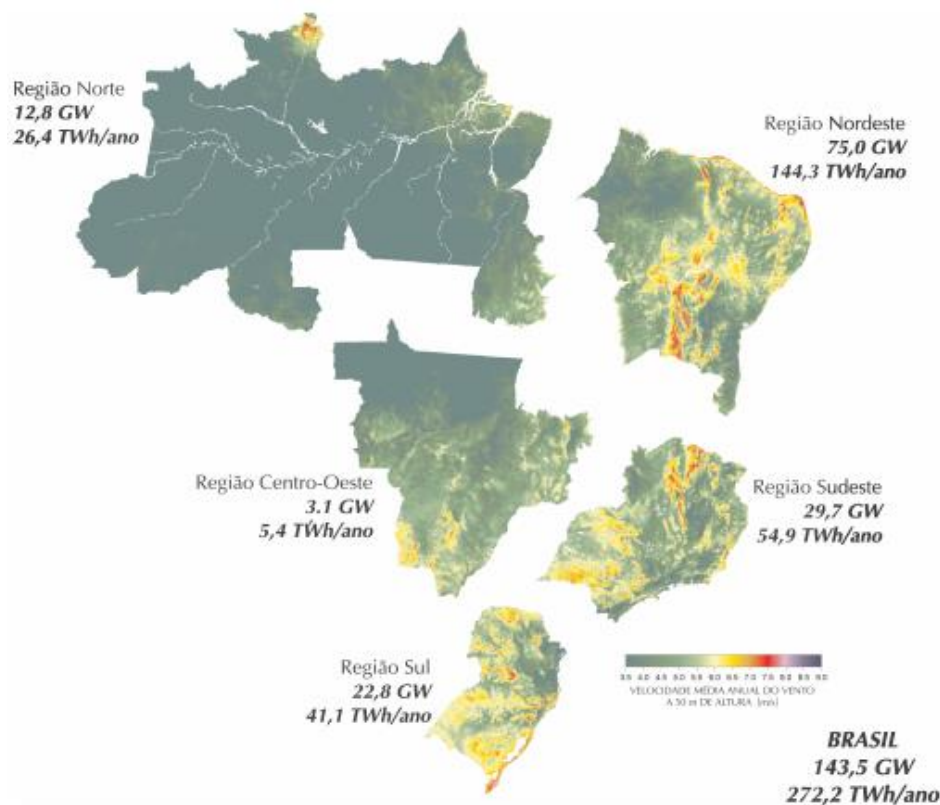


Figura 42 – Potencial eólico brasileiro

Fonte: Amarante A *et al*, 2001

Ao se comparar o total de 143,5 GW exposta pela Figura 45 com os atuais 16 GW de potência instalada no país os valores parecem interessantes, ainda mais se levarmos em consideração os leilões realizados nos últimos anos e a previsão de aproximadamente 25 GW de potência instalada quando os projetos forem concluídos. Porém, devido ao fato desse estudo ter sido realizado há quase duas décadas, pesquisas recentes mostram que os valores estimados estão consideravelmente abaixo da realidade. A estimativa havia sido feita com torres eólicas de altura máxima de 50 m, e atualmente já conseguimos encontrar no mercado protótipos acima dos 100 m, ampliando assim o potencial tecnicamente viável de exploração (Ciclo Vivo, 2016).

Para além disso na época ainda não existia a tecnologia eólica offshore, que está a crescer muito nos últimos anos e está a se tornar uma realidade nos países mais desenvolvidos, o que também aumentaria consideravelmente o potencial brasileiro (Ciclo Vivo, 2016).

Fica claro que Portugal tem explorado melhor os seus recursos eólicos, ainda que esses valores possam e possivelmente irão melhorar com o decorrer dos anos, mas isso já era esperado por se tratar de um país desenvolvido e que começou a trabalhar nessa tecnologia de maneira efetiva alguns anos antes do Brasil. Ainda assim, o futuro parece promissor para ambos os casos e a tendência

é que o percentual de energia eólica no mix energético de ambos amplie com o passar dos próximos anos.

5.2 Tecnologias utilizadas

Em relação a utilização de novas tecnologias é possível perceber uma maior modernização em Portugal. O destaque fica por conta do projeto WindFloat Atlantic que foi o primeiro parque eólico marítimo instalado na costa de Portugal. E por mais que o Brasil esteja descobrindo o seu grande potencial eólico offshore, ainda não existe nenhum projeto em funcionamento no país.

Em relação aos parques onshore, não é possível verificar uma grande diferença tecnológica entre os dois países, seja em questão de potência máxima dos aerogeradores, altura máxima atingida e concepção de parques. Tanto o Brasil quanto Portugal têm se modernizado conforme as novas tecnologias surgem no mercado.

O que se pode questionar em relação a exploração dessa tecnologia é o fato de Portugal ter começado a investir bastante na tecnologia eólica antecipadamente em relação ao Brasil, e isso ocorreu bastante em função da imposição aos países desenvolvidos de reduzirem as emissões de gases de efeito estufa. Como o Brasil ainda é considerado um país em desenvolvimento, muitos dos objetivos a se atingir não são, proporcionalmente, tão rigorosos. Isso fez com que a busca por novas tecnologias e formas de se obter energia demorassem a se desenvolver. Outro motivo importante é o grande percentual dos recursos hídricos dentro do mix brasileiro, por já ser uma tecnologia consideravelmente limpa e ser muito abundante no país.

Porém no início de 2001, devido a uma grande crise energética no país, a busca por novas tecnologias começou a ser pauta no governo, e leis promovendo o investimento em alternativas energéticas, além da grande utilização dos recursos hídricos, comesçassem a ser desenvolvidas, assim o país ficaria com uma menor dependência desse recurso e diversificaria mais o seu mix energético, como foi o caso da Proeólica em 2002.

Nos próximos anos, é possível que o Brasil atinja um pico de crescimento como ocorreu em Portugal, que já tem um percentual de crescimento bem menor que há cinco anos, e por mais que no último ano o Brasil tenha tido um aumento de potencial pequeno, próximo de 1 GW de nova capacidade instalada, o número de novos projetos aprovados e que estão em andamento ainda mostram um cenário de grande crescimento eólico.

5.3 Comparação de incentivos governamentais

Em relação aos incentivos governamentais, a estratégia adotada pelo governo brasileiro foi muito favorável ao crescimento da tecnologia no país, em especial com a garantia da compra de energia dos primeiros projetos durante o período de 20 anos. Essa medida gerou muita segurança aos investidores.

Em Portugal, o desenvolvimento se deu muito em função da necessidade da redução das emissões. Já no Brasil, a busca por alternativas para ramificar o mix energético do país foi um dos grandes impulsos para o aumento do investimento no setor de energias eólicas.

Para além disso ambos os países optaram por uma medida relativamente comum para impulsionar o crescimento da tecnologia, que consiste em um sistema de incentivo ao crescimento da tecnologia, que consiste no Estado arcar com os custos de implementação e produção de energia, fazendo com que o investidor seja beneficiado, e sem aumentar as tarifas do consumidor final. Seja na compra de material, aquisição de terreno, aquisição de colaboradores, o governo auxiliou no desenvolvimento dessa indústria. O custo por produção de energia do setor eólica era mais elevado que seus concorrentes, como a produção térmica ou hídrica por exemplo, assim, para incentivar o desenvolvimento do setor eólico, o governo forneceu um auxílio financeiro, que buscasse arcar com a diferença referente a esse custo de produção, fazendo com que o investimento fosse viável.

O resultado dos incentivos governamentais, em ambos os países, permitiu um impacto positivo no crescimento da tecnologia de energia eólica. Em Portugal a energia eólica já representa $\frac{1}{4}$ do mix energético nacional.

5.4 Comparação do sistema elétrico

O Sistema Integrado Nacional, presente no Brasil, é bastante similar ao proposto pela MIBEL, dado que é possível separar o país em várias subestações. Elas atuam de modo a que não ocorra falta de energia em nenhuma cidade do país, recorrendo a transferência energética quando necessário, conseguindo assim abastecer uma determinada rede na ausência de energia dela.

Agora, assim como os arquipélagos portugueses não estão diretamente ligados ao sistema elétrico de Portugal continental, e com isso precisam utilizar por vezes fontes não renováveis, algumas cidades brasileiras, em especial no estado Norte, também não estão ligadas ao Sistema Integrado Nacional. Por ambos serem mais vulneráveis a algum imprevisto, e estarem sempre a produzir para autoconsumo, em ambos os casos a inserção das energias renováveis, em especial a eólica nos seus mix energéticos se mostra bastante interessante.

A similaridade desses dois casos é bastante interessante, mas é possível que em breve novas medidas possam fazer com que os casos se diferenciem. O Brasil já está a se programar para adicionar tais cidades ao seu sistema elétrico,

tendo em vista que em muitos casos é financeiramente mais interessante investir nas redes de ligação do que o custo em tecnologias para produzir energia para tais cidades. Já nos arquipélagos portugueses os custos de transmissão de energia do continente para as ilhas ainda é demasiado elevado para que se projetem ligações desse tipo. Assim o investimento em energias renováveis na ilha é uma realidade a ser mais explorada.

Outro fator importantíssimo a se levar em conta é a flexibilização do mercado elétrico português, em que qualquer cidadão pode optar pela fornecedora de energia que preferir. Já no Brasil ocorrem leilões agenciados pelo governo nacional, em que as empresas ao ganharem o concurso se submetem a fornecer a energia das áreas referentes ao contrato.

Tal medida pode incentivar o crescimento das tecnologias renováveis tendo em vista que existem empresas fornecedoras de energia que optam por só comprar de geradores renováveis, e os consumidores podem optar por tais empresas, aumentando assim a demanda por energia de fontes renováveis.

No caso brasileiro, atualmente apenas empresas com alto consumo de energia podem negociar diretamente com seus fornecedores. Acredito que o caminho natural para o Brasil seja a flexibilização da energia, prática que ocorre na maioria dos países da união europeia, Estados Unidos e Canadá, Austrália, entre outros países desenvolvidos.

5.5 Comparação de potência instalada e energia gerada

Para além das análises gerais da implementação e evolução da energia eólica nos dois países, também é importante mostrar os valores absolutos e de intensidade da tecnologia em cada um dos casos, para fazer uma comparação dos números de potência instalada no Brasil e em Portugal. A Tabela 4 traz os dados referentes a cada um dos países, bem como uma média global dessa tecnologia, reforçando o fato de que o potencial português é muito bem explorado (GWEC, 2020).

Tabela 4 – Comparação de Potência Instalada

	Brasil	Portugal	Mundo
População	212 milhões	10,3 milhões	8 mil milhões
Extensão territorial (km ²)	8,5 milhões	92 mil	150 milhões
Potência Instalada	Total	16 GW	621 GW
	Média por km ²	2 kW/km ²	4 kW/ km ²
	Média por população	75 W/hab	534 W/hab

Fonte: Adaptado de GWEC, 2020

Os valores expostos na Tabela 3 mostram que tanto a média de potência instalada por habitante, quanto a média de potência instalada por extensão territorial de Portugal estão consideravelmente acima da média mundial. O país conseguiu usufruir bem do seu espaço territorial para expandir a tecnologia por toda a sua extensão. Já o Brasil, que ainda possui muito novos projetos em fase inicial de construção ou em processo de começo das obras, deve aumentar as suas médias, que atualmente estão próximas das médias mundiais, dentro da próxima década. É possível concluir que se comparado com os valores globais os dois países possuem um bom potencial eólico instalado.

Em relação ao percentual de energia gerada já podemos observar um grande destaque do potencial brasileiro, muito em função dos altos fatores de conversão de energia da Região Nordeste do país.

Conforme exposto na Tabela 5, o Brasil possui uma alta taxa de produção de energia dado o mesmo potencial de aerogeradores instaladas, dados de 2019, o que corrobora com o fato de que explorar essa fonte energética no Brasil tem um bom apelo econômico dado a sua grande eficiência na geração de energia (GWEC, 2020).

Tabela 5 – Eficiência na produção de energia em 2019

	Brasil	Portugal	Mundo
Potência Instalada (GW)	16	5,5	621
Energia Produzida (TWh)	54,5	13,4	1404
Eficiência (TWh/GW)	3,41	2,44	2,26

Fonte: Adaptado de GWEC, 2020

6. Pesquisa e inovação tecnológica

6.1 Tecnologias em desenvolvimento

Para garantir um crescimento contínuo desta tecnologia no mercado e aumentar o percentual da energia eólica no mix de energia mundial é necessário que sejam propostas novas soluções e tecnologias que auxiliem nesse crescimento. Além das novas instalações offshore que cresceram bastante nos últimos cinco anos, algumas novas opções também devem ser consideradas. Essas inovações vão de encontro com a Agenda 2030 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, principalmente ao ampliar e desenvolver novas maneiras de integrar as energias renováveis nos mix energéticos, assim como obter uma produção mais sustentável, reduzindo o desperdício e a geração de resíduos (Nações Unidas, 2020).

6.1.1 Tecnologias híbridas

Tecnologias híbridas ou Hybridisation são as soluções tecnológicas que permitem combinar dois tipos de tecnologias diferentes, nesse caso, sendo uma delas a energia eólica, na produção ou no depósito dessa energia (EnergyPedia, 2019).

No caso das energias eólicas, essa combinação ajudaria na criação de pequenos parques eólicos, muitas vezes combinados com campos de painéis solares, que geram energia para pequenas cidades, vilarejos ou ilhas que se situam fora da rede elétrica nacional, ou que possuem dificuldade em conseguir energia da rede (GWEC, 2019). Muitos desses sistemas não estão conectados com a rede elétrica, por isso, possuem baterias capazes de armazenar energia para o abastecimento em períodos de baixa intensidade solar e/ou fluxo de vento (EERE, 2019).

Ao combinar duas tecnologias intermitentes, como no caso da eólica e a solar, também é possível reduzir o problema da flexibilidade da energia, que é diretamente dependente do clima, por se tratar de duas tecnologias diferentes no mesmo projeto, conforme exposto na Figura 43 (GWEC, 2019). No caso dos Estados Unidos, por exemplo, durante o verão, onde se possui uma maior incidência solar, a velocidade do vento é mais baixa e menos constante, ao contrário do inverno que possui altas velocidades e fluxos de vento com uma baixa incidência solar (EERE, 2019).

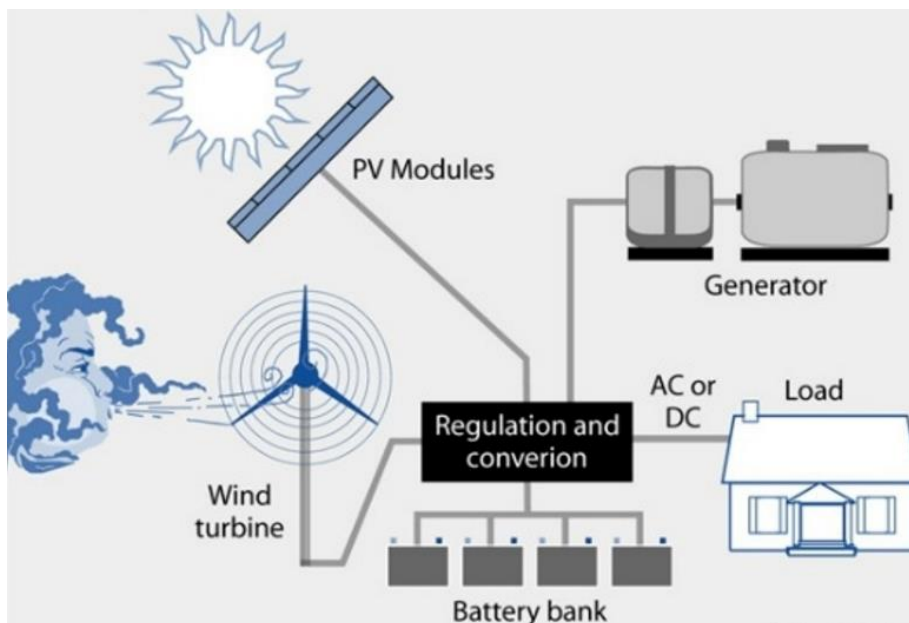


Figura 43 – Esquema de um modelo híbrido de energia

Fonte: EERE, 2019

No intuito de utilizar a tecnologia eólica e solar em conjunto, um escritório italiano criou um projeto denominado Solar Wind, que se trata de uma ponte com turbinas eólicas aliadas a produção de energia solar no asfalto da ponte, utilizando a tecnologia chamada rodovia fotovoltaica, conforme Figura 44 (E-Cycle, 2016).

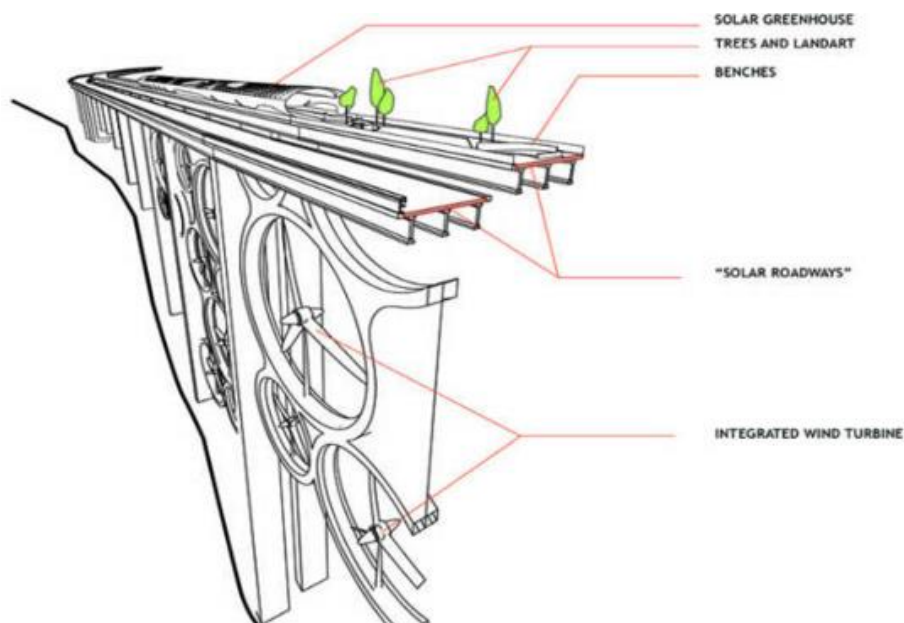


Figura 44 – Tecnologia da Solar Wind Bridge

Fonte: E-cycle, 2016

Ao utilizar da hibridização é possível gerar energia elétrica de duas formas diferentes, utilizando-se de uma ponte que já estava previamente construída, preenchendo os espaços entre os pilares de sustentação da mesma (E-Cycle, 2016). A ponte seria capaz de produzir energia suficiente para abastecer 15.000 habitações apenas com a energia produzida dos geradores eólicos, além de transformar uma construção passiva em um ativo (Better World Solutions, 2017).

Se bem sucedido esse projeto poderia ser replicado em inúmeras pontes ao redor do mundo e aumentar assim a contribuição da tecnologia eólica mundial. A Figura 45 mostra a imagem do futuro do projeto.



Figura 45 – Solar Wind Project

Fonte: E-cycle, 2016

Além da hibridização envolvida na Solar Wind bridge, outros projetos envolvendo o uso de aerogeradores eólicos no meio urbano estão em desenvolvimento e ganhando espaço no mercado, como é o caso dos geradores de eixo horizontal acoplados em edifícios, os chamados *Building Integrated Wind Turbines*.

Ao utilizar novas tecnologias que permitem a eficiência dos geradores para ventos de menor intensidade, velocidade mais baixa, se torna atrativo a implementação dessa tecnologia em edificações. Outro ponto interessante a se destacar é que as pás produzidas para essa tipologia são mais leves e geram menos ruídos, reduzindo alguns dos problemas da imersão do setor eólico no meio urbano. Outra preocupação era em relação a poluição visual, então os designs propostos são modernos e com um visual mais atrativo, conforme ilustrado na Figura 46 (CTCN, 2020).



Figura 46 – Building Integrated Wind Turbine

Fonte: CTCN, 2020

6.1.2 Bladeless wind turbine

A possível geração de energia eólica através de uma tecnologia que não utiliza pás ou qualquer tipo de rotação foi a ideia proposta pela empresa Vortex Bladeless. Com o intuito de gerar energia de forma mais simples e mais barata, essa empresa desenvolveu um protótipo de torre que produz energia através do fenômeno de ressonância aero elástica ou vibração induzida (Vortex Bladeless, 2019).

A tecnologia funciona a partir de um cilindro fixo verticalmente com uma haste elástica. O cilindro irá oscilar em determinado intervalo de velocidades de vento gerando eletricidade através de um alternador, a Figura 47 demonstra um esquema de funcionamento dessa tecnologia. A conversão de energia mecânica em elétrica é similar ao das turbinas eólicas comerciais (Vortex Bladeless, 2019).

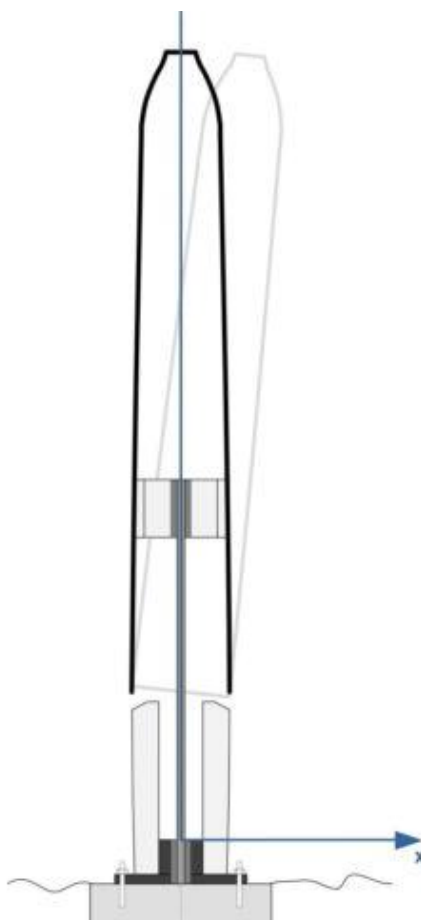


Figura 47 – Esquema de funcionamento da Vortex Bladeless

Fonte: Vortex Bladeless, 2019

Algumas vantagens desse sistema: elimina ou reduz bastante os ruídos provocados em comparação a um aerogerador eólico, não são uma ameaça ao ecossistema (em especial as aves) e possuem um baixo custo de manutenção se comparado as tecnologias já existentes (REVE, 2019). Outro fator interessante é a disposição das torres em relação ao espaço necessário para se ter um parque eólico, a quantidade de protótipos desses geradores sem pá eólica por unidade de área é maior que os aerogeradores comuns.

O principal ponto negativo dessa tecnologia é a conversão de energia mecânica em função do fluxo de vento local, elas são menos eficientes. Ainda assim a procura pela tecnologia deve crescer nos próximos anos, como uma alternativa complementar aos aerogeradores já existentes (REVE, 2019).

Como a única empresa que está a trabalhar com essa nova tecnologia é espanhola, Portugal, por ser um país vizinho, pode acabar se beneficiando do crescimento desse setor e servir como mercado de teste nos primeiros anos de venda dessas novas torres.

6.1.3 Contra-Rotating Wind Turbines (CRWT)

Dada a grande evolução das tecnologias voltadas à produção de energia eólica, e potencial desta tecnologia, novos modelos estão a ser propostos e estudados, a exemplo do CRWT, ver Figura 48.

As turbinas eólicas CRWT possuem um design único, com dois rotores, e possuem dois trios de pás que atuam em direções opostas. Esse tipo de modelo é extremamente dependente da aerodinâmica e do design proposto, sendo utilizado apenas em casos muito específicos (Zhao X et al, 2019).



Figura 48 – Contra-Rotating Wind Turbine
Fonte: Clean Break

Apesar de funcionar melhor em uma faixa de atuação muito bem definida, possuindo eficiência com ventos entre as velocidades de 8 e 14 m/s, nessa faixa os sistemas CRWT possuem um coeficiente máximo de potência superior aos SRWT, que são os sistemas de rotores únicos (Single Rotor Wind Turbine). Esse valor pode chegar a 0,64 (Zhao X. et al, 2019), ultrapassando os 0,59 de pico máximo de um sistema com um rotor (Newman B, 1983).

Em testes realizados em túneis de vento, foi verificado que, em protótipos de pequena escala, os SRWT conseguem produzir até 60% mais energia que os CRWT em determinadas velocidades e direções do fluxo de vento (Habash R. et al 2011).

6.2 Armazenamento de energia

Um dos grandes problemas ao se tratar de energias renováveis é a sua intermitência. Em momentos em que ocorre uma produção abaixo do esperado, a utilização de combustíveis fósseis tende a ser uma das principais alternativas para suprir a demanda de energia de um determinado local. Para além disso também existe o problema oposto, quando a energia produzida está além da demanda necessária. Assim é necessário obter formas de se armazenar essa energia produzida, de modo a não a desperdiçar.

6.2.1 Hidrogénio Verde

O hidrogénio é um dos elementos químicos mais abundantes no planeta Terra, presente em grande parte dos compostos, como a água. Em sua forma gasosa, H_2 , pode se tornar inclusive combustível para automóveis. Apesar de muito abundante, dificilmente é encontrado na natureza em sua forma pura, para tal se faz necessário a extração do seu composto (Hydrogen Europe, 2017).

Atualmente já existem alguns processos para sua extração, mas que envolvem um processo químico de dissociação de gás natural (metano) ou biogás, que também gera como produtos gás carbónico (Geopura, 2019).

Apesar do hidrogénio ser um combustível “limpo” e ser facilmente manipulável quando se encontra na forma de gás, a sua produção atual demanda a emissão de gases com efeito de estufa (Hydrogen Europe, 2017).

Para evitar esse problema, e continuar a expandir a utilização do hidrogénio uma alternativa possível é o chamado hidrogénio verde ou “green hydrogen”. Que consiste na eletrólise da água utilizando energia proveniente de fontes alternativas como a solar ou eólica, a Figura 49 demonstra o esquema de produção.

Como o H_2 não é encontrado em sua forma mais pura na natureza, é necessário produzi-lo através de uma reação, química, comumente através da dissociação da água. Para isso é necessário o consumo de energia, que pode ser utilizado de fontes alternativas. Assim a energia gerada pelas fontes eólicas, nesse caso, é utilizada para fazer a dissociação das moléculas de água em O_2 e H_2 , o hidrogénio é armazenado e pode ser futuramente utilizada como fonte de energia (EDP, 2019).

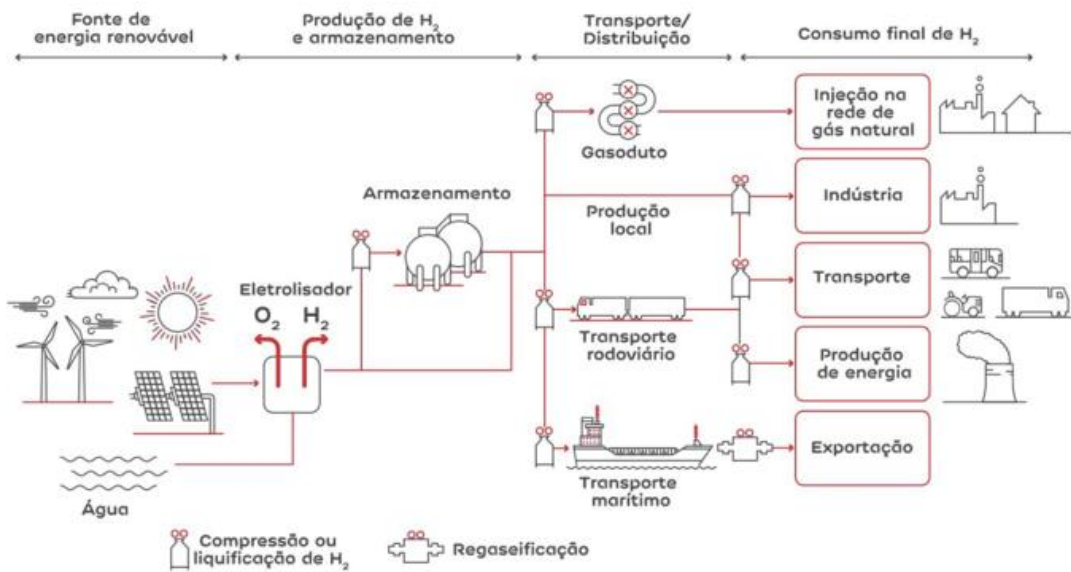


Figura 49 – Esquema da produção de hidrogénio verde

Fonte: EDP, 2019

Assim, além de se produzir energia de forma mais limpa, a alternativa soluciona um dos problemas das principais fontes alternativas de energia, a intermitência. Armazenar energia em forma de gás hidrogénio é uma opção viável para o crescimento de tecnologias como solar e eólica para que não haja desperdício de energia em casa de produção superior a demanda.

Outro ponto positivo a se considerar é a possível redução de gases poluentes, visto que a tecnologia de gás hidrogénio está a ser utilizada como combustível de veículos, que ainda são majoritariamente movidos a combustíveis fósseis.

6.2.2 Armazenamento de energia em baterias

Uma segunda possibilidade de Armazenamento de energia, já bastante utilizada em sistemas fotovoltaicos para geração de energia habitacional, são as baterias de íon-lítio.

Com o maior desenvolvimento do setor de baterias, impulsionado pelo crescimento e desenvolvimento das energias renováveis intermitentes e a difusão dos carros elétricos, os custos associados a produção e utilização de baterias desse tipo reduziram, tornando-se atrativas no uso de armazenamento de energia eólica (Agility Effect, 2020).

Ao armazenar essa energia em uma bateria, era possível utilizá-la no momento de maior demanda e maior necessidade, evitando assim o desperdício de energia no caso de uma produção superior a demanda.

6.2.3 Armazenamento de energia potencial

Outra forma simples de se armazenar o excedente de energia eólica produzida é a partir do potencial gravitacional.

É possível criar uma central hidroelétrica reversível, que utiliza da energia elétrica produzida através de fontes eólicas, para bombear a água de um reservatório de altura inferior, para um reservatório de altura superior. Essa diferença de altura cria uma energia potencial gravitacional que poderá ser utilizada futuramente em um momento de maior demanda de energia (Portal Energia, 2019)

Ou seja, no momento de baixa demanda a água é bombeada para o reservatório superior com auxílio da energia eólica, e no momento de alta demanda a água flui para o reservatório inferior, impulsionando as turbinas e gerando energia através do seu potencial gravitacional (Portal Energia, 2019). A Figura 50 mostra o esquema de uma central hidroelétrica reversível.



Figura 50 – Central hidroelétrica reversível
Fonte: CBIE, 2020

6.3 Fim de vida dos parques eólicos

Para além dos aspectos positivos da implementação e crescimento das tecnologias eólicas, um problema vem se tornando realidade com o passar dos anos, em especial nas instalações mais antigas, o fim da vida útil de um aerogerador eólico. A analisar o cenário atual europeu, americano e asiático, com alguns aerogeradores mais antigos ainda em funcionamento, o questionamento sobre o futuro desses parques começa a ser discutido e algumas alternativas estão em pauta: i) a manutenção dos aerogeradores o maior tempo possível, tentando estender a sua vida útil ao máximo, e se necessário a substituição de algumas peças; ii) o repowering, que é a substituição de peças mais defasadas por outras

de tecnologia mais avançada, aumentando a potência nominal do projeto; e iii) no pior dos casos o encerramento do parque eólico depois de anos de utilização (INEGI, 2019).

No caso do Brasil, que possui em sua maioria aerogeradores mais recentes, e que ainda possuem muitos anos de funcionamento, a situação ainda não é crítica, mas é importante avaliar as possíveis alternativas para conseguir o melhor resultado no futuro. Já para Portugal, que possui mais de 20% dos seus aerogeradores com 15 anos ou mais, a situação já precisa ser analisada com muito mais rapidez. A Figura 51 mostra os dados de alguns países da Europa e das Américas em relação a idade de seus aerogeradores.

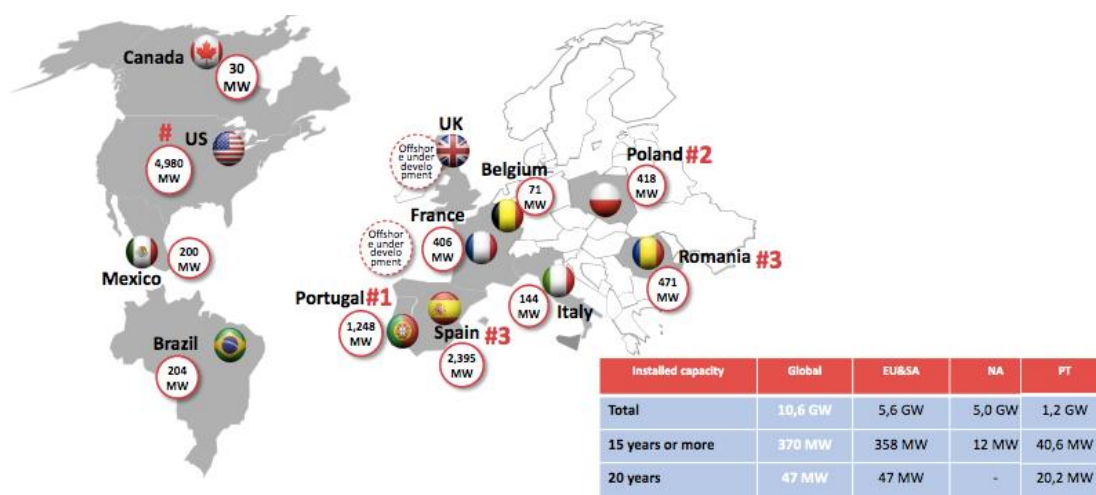


Figura 51 – Dados referentes aos aerogeradores com mais de 15 anos
 Fonte: Gonçalves L, 2018

6.3.1 Manutenção de Parques Eólicos

A primeira alternativa para o melhor aproveitamento da energia eólica é a manutenção dos parques eólicos. Tal opção consiste em maximizar a rentabilidade das turbinas eólicas, substituindo peças específicas, e assegurando o equilíbrio dos custos de manutenção e os proveitos de se manter os aerogeradores ou parques eólicos em funcionamento (Gonçalves L, 2018).

Em geral, os parques eólicos têm a vida útil de 20 anos, e esse valor pode ser estendido caso seja possível a realização de algumas manutenções e trocas de componentes. Para os casos de extensão de vida, os componentes cruciais são aqueles levados em consideração, como é o caso das pás, torre, fundação e eixo principal (Gonçalves L, 2018). Através da recolha de dados e informações sobre as manutenções dos componentes, fadiga do material, inspeções de falhas e análise operacional é possível fazer ações preventivas que permitam a maior durabilidade do equipamento.

O quesito económico também tem um papel fundamental nessa análise, tendo em vista que se não for economicamente viável, alternativas terão de ser estudadas. De acordo com a empresa UL DEWI, é possível atingir ganhos de mais de 10% caso a extensão da vida útil de um parque eólico seja bem sucedida (Canal BioEnergia, 2017).

Essa empresa, que tem se tornado referência na realização de avaliação de aerogeradores e manutenções preventivas, a fim de aumentar a vida útil dos equipamentos, publicou uma norma: UL 4143 – *Standard for Life Extension of Wind Turbines*. Essa norma analisa os dados referentes a cada um dos componentes da turbina, os dados sobre a localização do aerogerador, as cargas de vento recebidas pelo mesmo e gera, a partir desses dados, um modelo computacional que simula o funcionamento do aerogerador ao passar dos anos, a indicar sua vida útil e a probabilidade de duração de seus componentes (Lopez S, 2019). A Figura 52 mostra os resultados de uma simulação do programa da UL DEWI, mostrando a probabilidade de falhas nas pás e no gerador ao decorrer dos anos de funcionamento.

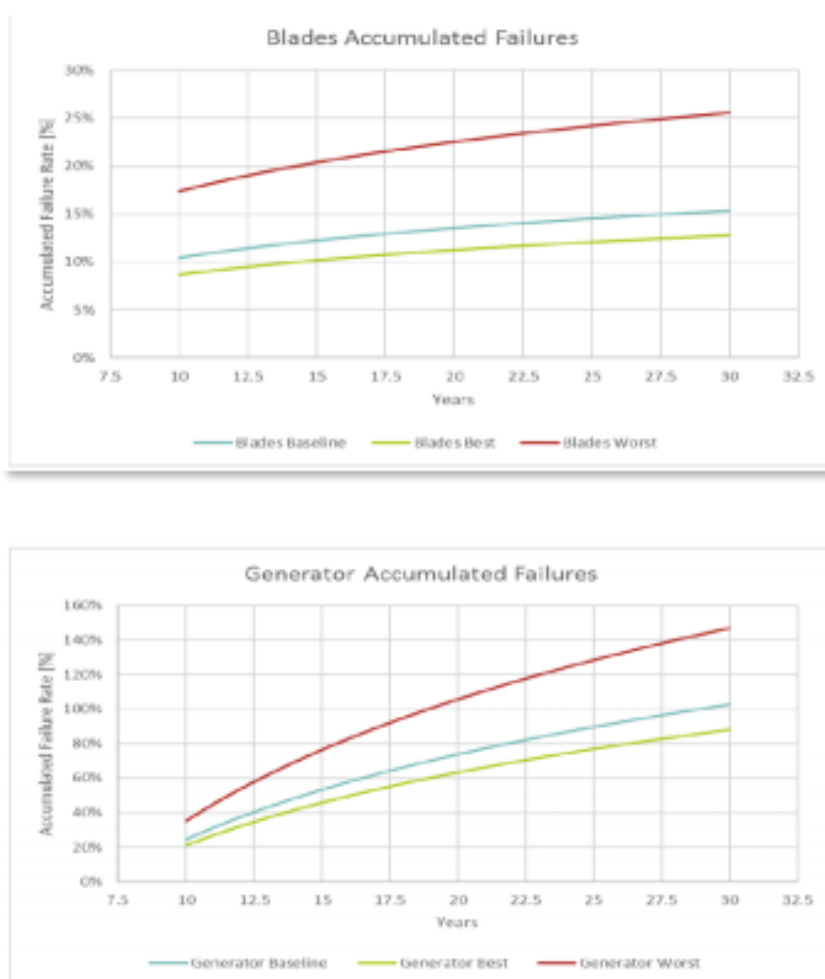


Figura 52 – Estudo de falhas das pás e gerador em um caso simulado
Fonte: Lopez S, 2019

6.3.2 Repowering

Outra alternativa para a continua utilização de um aerogerador é o repowering, que consiste na substituição de peças utilizadas no aerogerador por alternativas mais modernas, que aumentam o potencial eólico dele.

A Wind Europe realizou um estudo detalhado sobre esse aumento de potencial nos parques eólicos do continente, com a intenção de mostrar os benefícios e tal técnica, sendo os principais deles o aumento da produtividade eólica, com um custo mais baixo do que a geração de novos parques, e conseqüentemente buscar as metas estabelecidas de descarbonização. Outro ponto interessante é que alguns dos aerogeradores mais antigos não estavam bem integrados as suas redes elétricas nacionais, os projetos atualizados com repotenciação tornam os sistemas mais estáveis e geram menos perdas de energia no processo de transmissão e distribuição (WindEurope, 2017).

Outro ponto interessante em relação aos custos associados ao repowering é que toda a pesquisa de campo e análise de terreno já foi previamente realizada para a instalação dos primeiros aerogeradores, então a análise de dados já existe e o histórico de funcionamento também (Arántegui R et al, 2019). Alguns estudos já realizados sobre essa modernização de aerogeradores mostram que é possível atingir valores superiores a 10% de ganho em fator de capacidade (Arántegui R et al, 2019). A Figura 53 mostra os dados de 2017 de alguns dos principais produtores de energia eólica, a reforçar a ideia de que medidas devem ser tomadas pois um alto número percentual de parques eólicos está chegando próximo do fim da sua vida útil.

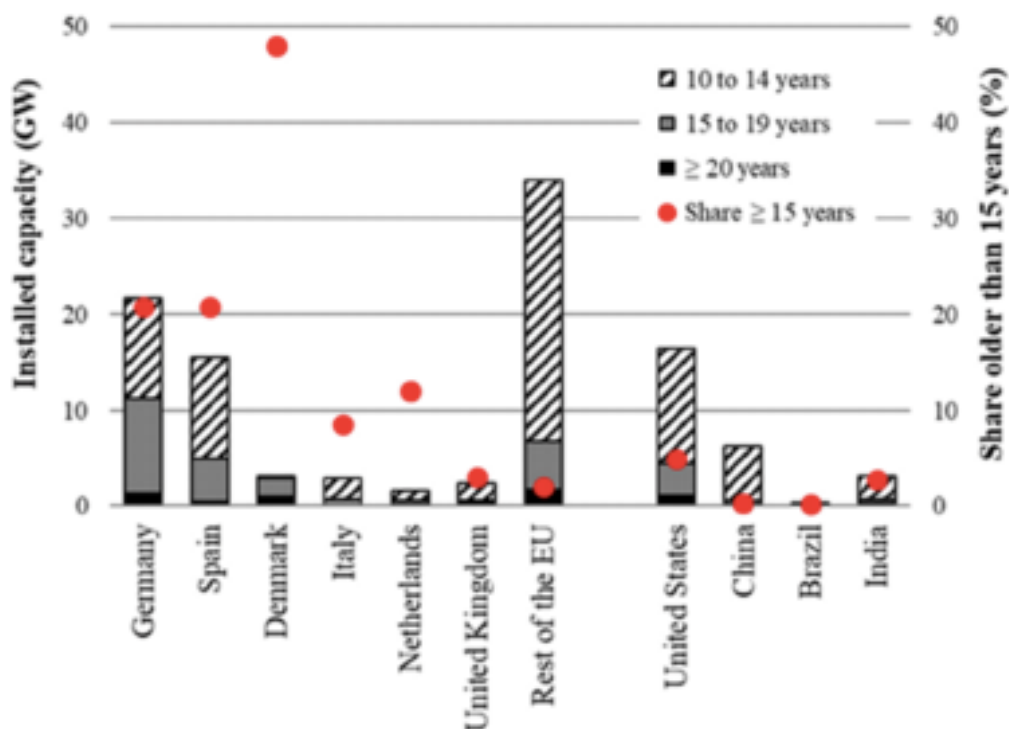


Figura 53 – Idade referente as capacidades eólicas instaladas no mundo
 Fonte: Arántegui R et al, 2019

6.4 Fim de vida dos parques eólicos

Um grande problema referente a energia eólica, que vem se tornando uma realidade nos Estados Unidos, é o destino das peças de um aerogerador eólico, no fim da sua vida útil, em especial as pás. cerca de 85% do material que compõe uma torre eólica são materiais que podem ser mais facilmente reciclados, o maior problema são as pás eólicas, que em sua maioria são produzidas de fibra de vidro, e ainda possuem grande dificuldade para serem reutilizadas. (Union of Concerned Scientists, 2020) Especialistas afirmam que nos Estados Unidos existirão cerca de 720.000 toneladas de material de pás eólicas nos próximos 20 anos, e que as opções atuais de reciclagem ainda permanecem muito caras dado que é uma indústria relativamente nova e por isso o destino de muitas delas acaba sendo o aterro sanitário (NPR, 2019). A Figura 54 relata o atual estado de alguns aterros sanitários nos Estados Unidos.



Figura 54 – Pás eólicas em aterro sanitário

Fonte: Bloomberg Green, 2020

Nos casos de Brasil e Portugal, como grande parte do desenvolvimento dessa tecnologia é ainda recente, o problema ainda não existe, porém algumas alternativas estão em pauta para evitar que isso ocorra futuramente.

Para tentar reverter esse problema algumas empresas estão a se juntar para criar novos mecanismos de reciclagem desse material, como é o caso da Iberdrola. O projeto Life+Brio tem a intenção de investigar o potencial de reciclagem das pás de aerogeradores eólicos, criando assim uma metodologia inovadora e sustentável para sua gestão de reciclagem (Noctula, 2019). Algumas das possíveis soluções envolvem triturar as pás eólicas, e com a fibra de vidro serem novamente aplicadas na construção de novas pás ou como reforço de estruturas de betão no setor da engenharia civil. A Figura 55 mostra o resultado do trabalho da trituração das pás, realizadas por retroescavadeiras. As partes ainda não estão prontas para serem reutilizadas, tendo em vista que precisariam estar em pedaços menores.



Figura 55 – Pás trituradas para reutilização
Fonte: Noctula, 2019

Outra técnica, que está em fase de estudos, na reciclagem de pás eólicas baseia-se na transformação termoquímica do material, que permite que as resinas gerem gases inflamáveis e combustíveis líquidos, obtendo-se assim fibras prontas para serem reutilizadas. A tecnologia chamada R3FIBER é uma iniciativa proposta pela EDP Renováveis em parceria com a Thermal Recycling Composites (TRC) (EDP Renováveis, 2017). Essa tecnologia é bastante interessante pois permite, em alguns casos, a total reutilização do material mesmo que este tenha sido fabricado com fibra de carbono ou de vidro (EDP Renováveis, 2017).

O problema referente ao fim de vida das pás eólicas deve agravar bastante dentro das próximas décadas, tendo em conta a quantidade de aerogeradores que irão chegar ao fim de sua vida útil, então é possível que novos projetos e tecnologias com a intenção de promover uma melhor reciclagem do material apareçam no mercado.

7. Conclusão

O trabalho de pesquisa e análise de informação desenvolvido nesta dissertação permite que se cheguem a algumas conclusões referentes a comparação da situação da energia eólica entre Brasil e Portugal. Apesar de serem países de diferentes dimensões e de possuírem recursos naturais muito distintos, a forma como a energia eólica vem sendo explorada no decorrer dos anos têm suas similaridades.

Primeiramente foi exposto um capítulo introdutório sobre a energia eólica, citando alguns exemplos de aerogeradores, seus componentes e suas funcionalidades, assim como um resumo do atual cenário da energia eólica em âmbito mundial.

Foi ainda exposta a situação da energia eólica nos países Brasil e Portugal, o desenvolvimento dessa tecnologia nos dois países, os incentivos governamentais para que fosse possível a inserção desse recurso no mix energético de cada país, os principais parques e construções mais recentes, bem como projetos futuros e um resumo sobre o funcionamento das redes elétricas nos dois países.

A partir daí foi possível traçar comparações sobre os dois casos para conseguir concluir como foi a abordagem dada a tecnologia por cada país, os desafios futuros que essa tecnologia irá enfrentar e expor conclusões sobre o que pode ser proposto e considerado em projetos futuros.

O crescimento dessa tecnologia no mix energético dos dois países é inegável, em especial nos últimos 10 anos. Com o avanço tecnológico na área e a necessidade por se encontrar novas formas de se obter energia elétrica, em especial a partir de fontes renováveis, fez com que os dois países buscassem mecanismos para incentivar as empresas locais e internacionais a investirem nesse ramo dentro de seus territórios.

Também é possível perceber que, por se tratar de um país desenvolvido e por ser membro da União Europeia, Portugal viu-se na necessidade de buscar essa alternativa, de forma mais intensiva, alguns anos antes do Brasil, como resposta aos compromissos políticos assumidos no âmbito da Convenção-Quadro para as Alterações Climáticas, do Protocolo de Quioto e mais recentemente no Acordo de Paris. A estratégia portuguesa, aliada à estratégia da União Europeia, foi um dos motivos para que o país tenha atingido seu pico de crescimento anteriormente, e também iniciado a busca por novas tecnologias, eólica offshore por exemplo, antes do Brasil. Ao analisar os dados de potência instalada em Portugal, bem como os índices de comparação em relação a extensão territorial e tamanho da população, é possível afirmar que Portugal fez um excelente trabalho na integração dessa fonte de energia no seu mix energético, com valores muito superiores as médias brasileira e mundial. A média de potência instalada por habitante chega a ser quase sete vezes maior que as médias brasileira e global, ao passo que a média de potência instalada por extensão territorial é 15 vezes superior a média mundial.

Foi possível concluir também que a política energética portuguesa permite que os consumidores incentivem o crescimento da tecnologia, ao buscarem empresas distribuidoras de energia que fornecem energia 100% limpa e renovável, como é o caso da Iberdrola e Gold Energy, ao contrário do Brasil que ainda mantém um mercado elétrico menos flexibilizado.

Em relação ao potencial eólico dos dois países é possível traçar um futuro promissor, seja pela necessidade, seja pela tendência de crescimento, mesmo que de forma menos acelerada, é real. Com o avanço tecnológico no setor e a redução de custos referentes a essa tecnologia, muitos países estão investindo cada vez mais no setor. A tecnologia offshore é uma tendência mundial e dado o seu potencial Portugal já começou a investir nessa vertente da energia eólica. No caso específico do Brasil, por ainda possuir um grande potencial onshore, aliado ao seu alto fator de conversão de energia, que faz com que a eficiência da energia gerada seja bem superior a média mundial, é possível que muitos novos projetos, em especial nas Regiões Sul e Nordeste ainda sejam desenvolvidos nos próximos anos. E posteriormente, também decorrente do seu elevado potencial, devem surgir vários projetos de eólicas offshore no Brasil.

As áreas isoladas do Brasil, bem como as ilhas portuguesas poderiam investir mais em sistemas híbridos de geração de eletricidade. A dificuldade em relação a obtenção de energia e ligação a principal rede elétrica dos seus respectivos países faz com que a busca por alternativas endógenas seja uma realidade para redução de gases de efeito de estufa.

Para Portugal, devido à proximidade da Espanha, país da empresa que desenvolve os aerogeradores que atuam por ressonância aeroelástica (Vortex) a tentativa em investir nessa vertente pode se provar interessante. Ainda mais pelo fato de Portugal não possuir grande extensão territorial e pelo fato dessa tecnologia demandar um espaço físico bem menor, dado que seu potencial de instalação onshore está começando a saturar.

Porém, nem todas as notícias referentes a evolução da energia eólica são positivas. O crescimento que o setor teve nos últimos anos impulsionou um grande problema relacionado ao fim de vida útil dos materiais e peças, que se torna cada vez mais preocupante. Medidas relacionadas com a reciclagem do material ou reutilização precisam ser incentivadas em um curto prazo antes que milhares de toneladas de material sejam despejadas em aterros sanitários.

Para além disso, para um bom desenvolvimento dessa tecnologia é crucial que haja investimento em tecnologias para o armazenamento de energia, visto que essa tecnologia é intermitente e imprevisível e que a sua geração de energia não pode ser facilmente controlado, em oposição aos combustíveis fósseis por exemplo. Algumas alternativas como o hidrogénio verde e o armazenamento de energia potencial já estão sendo utilizados e conforme tais tecnologias se tornem mais viáveis economicamente, a tendência é que o crescimento da exploração dos recursos eólicos continue.

Espero que com essa dissertação seja possível entender um pouco do histórico dessa tecnologia nos dois países e contribuir para traçar os planos futuros para o crescimento dela, de forma sustentável e de economia circular, para que a indústria cresça ainda mais tanto no Brasil quanto em Portugal.

Referências

ABEEOLICA - Associação Brasileira de Energia Eólica – Portal da ABEEOLICA. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/> Acessado em: 27 de março de 2020.

ABEEOLICA - Boletim Anual de Geração Eólica 2019. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/dados-abeeolica/>. Acessado em: 20 de setembro de 2020.

ABEEOLICA - Dia mundial do Vento: Brasil completa 16GW de capacidade instalada de energia eólica. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/noticias/dia-mundial-do-vento-brasil-completa-16-gw-de-capacidade-instalada-de-energia-eolica/>. Acessado em 21 de setembro de 2020.

AÇORIANO ORIENTAL – Ilha Graciosa abastecida com energia 100% renovável. Disponível em: <https://www.acorianooriental.pt/noticia/ilha-graciosa-ja-e-abastecida-varios-dias-com-energia-100-renovavel-307559>. Acessado em 10 de agosto de 2020.

AGILITY EFFECT – Como a bateria acompanha o crescimento das energias renováveis. Disponível em: <https://www.theagilityeffect.com/br/article/como-a-bateria-acompanha-o-crescimento-das-energias-renovaveis/> Acessado em 18 de novembro de 2020.

AGORARN – Rio Grande do Norte é o maior produtor de energia eólica do Brasil. Disponível em: <https://agorarn.com.br/economia/rio-grande-do-norte-e-o-maior-produtor-de-energia-eolica-do-brasil/> Acessado em: 19 de outubro de 2020.

AMARANTE, A.; BROWER M.; ZACK J. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 2001.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil) - Sistemas Isolados. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fbusca%3Fp_auth%3DwfjL43yl%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_state_rcv%3D1&_101_assetEntryId=15056375&_101_type=content&_101_groupId=656835&_101_urlTitle=sistema-isolado&inheritRedirect=true Acessado em: 29 de outubro de 2020.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil) – Atlas da energia elétrica do Brasil, terceira edição, 2010.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil) - PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/proinfa> Acessado em: 26 de outubro de 2020.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil) - Fiscalização do serviço público de energia elétrica. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/fiscalizacao-do-setor-eletrico> Acessado em: 28 de outubro de 2020.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil) - Regulação dos Serviços de Distribuição. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/regulacao-da-distribuicao/-/asset_publisher/nHNpDfkNeRpN/content/regulacao-dos-servicos-de-distribuicao/656827?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fregulacao-da-distribuicao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_nHNpDfkNeRpN%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_count%3D4 Acessado em: 28 de outubro de 2020.

APREN - Balanço da produção de eletricidade de Portugal Continental. Disponível em: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis>. Acessado em: 15 de novembro de 2019.

ARÁNTGUI, R.; UIHLEIN, A.; YUSTA, J. Technology effects in repowering wind turbines. *Wind Energy*, Volume 23, 2019.

ATLAS EÓLICO SOLAR DO CEARÁ, 2019.

BARBOSA, T. Túnel de vento para ensaios de componentes. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2008.

BETTER WORLD SOLUTIONS – SolarWind Bridges. Disponível em: <https://www.betterworldsolutions.eu/solarwind-bridge/> Acessado em 30 de outubro de 2020.

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE – London Summit 2017. Disponível em: <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/09/BNEF-Summit-London-2017-Michael-Liebreich-State-of-the-Industry.pdf>. Acessado em: 22 de março de 2020.

BLOOMBERG GREEN – Wind turbine blades can't be recycled, so they're piling up in landfills. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/features/2020-02-05/wind-turbine-blades-can-t-be-recycled-so-they-re-piling-up-in-landfills> Acessado em 15 de dezembro de 2020.

BLUHM, B. Otimização de Atividades Críticas de Parques Eólicos: Redução de custos através de modelagem de logística, cronograma, manutenção, pavimentação e concretagem. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará, 2017.

BORGES, M. Comercialização de Energia Eólica no Mercado Diário e de Reservas: Estratégias de licitação e Penalizações. Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Universidade Nova de Lisboa, 2016.

BRACIER - Eólicas saem em busca de fornecedores nacionais. Disponível em: <http://www.bracier.org.br/noticias/brasil/4796-eolicas-saem-em-busca-de-fornecedores-nacionais.html> Acessado em 24 de outubro de 2020.

BURTON, T.; SHARPE, D.; JENKINS, N.; BOSSANYI, E. Wind Energy Handbook, John Wiley & Sons LTDA, primeira edição, 2001.

BYACORES – Mapa dos Açores. Disponível em: <https://byacores.com/mapa-dos-acoeres/>. Acessado em: 26 de agosto de 2020.

CANAL JORNAL DA BIOENERGIA – Avanço da energia eólica na matriz energética brasileira. Disponível em: <https://www.canalbioenergia.com.br>. Acessado em: 02 de abril de 2020.

CANAL ENERGIA – Fonte Eólica deverá ter 24,2GW de capacidade até 2024. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53137528/fonte-eolica-devera-ter-242-gw-de-capacidade-ate-2024>. Acessado em: 20 de setembro de 2020.

CANAL JORNAL DA BIOENERGIA – Parque Ventos do Araripe III entra em operação. Disponível em: <https://www.canalbioenergia.com.br/parque-ventos-do-araripe-iii-entra-em-operacao/> Acessado em: 17 de outubro de 2020.

CANAL JORNAL DA BIOENERGIA – Análise da vida útil permite aumentar tempo de operação de turbinas eólicas. Disponível em: <https://www.canalbioenergia.com.br/analise-de-vida-util-permite-aumentar-tempo-de-operacao-de-turbinas-eolicas/> Acesado em 5 de novembro de 2020.

CARNEIRO, J. Apontamentos de apoio a Unidade Curricular de Energia Eólica do Departamento de física. Universidade do Minho, 2013.

CASADINHO, C. Base de Dados do Potencial Eólico em Portugal Continental. Dissertação de Mestrado em Energia e Bioenergia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2014.

CBIE. Centro Brasileiro de Infraestrutura – O que são hidroelétricas reversíveis? Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/o-que-sao-hidroeletricas-reversiveis/> Acessado em: 17 de novembro de 2020.

CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - Comercialização. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/comercializacao?_afLoop=753365169379747&_adf.ctrl-state=137yci15y1_1#!%40%40%3F_afLoop%3D753365169379747%26_adf.ctrl-state%3D137yci15y1_5 Acessado em 28 de outubro de 2020.

CDM – What is the CDM – Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/about/index.html> Acessado em: 15 de dezembro de 2020.

CENÁRIOS EÓLICA - Legislação e Tributos no Setor Eólico. Disponível em: <https://cenarioseolica.editorabrasilenergia.com.br/2018/12/04/legislacao-e-tributos-no-setor-eolico/> Acessado em: 23 de outubro de 2020.

CICLO VIVO – Seis parques eólicos entram em operação na Bahia. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/6-parques-eolicos-operacao-bahia/> Acessado em: 24 de setembro de 2020.

CICLO VIVO – Paraíba vai ganhar mais 12 parques eólicos. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/paraiba-ganhar-12-parques-eolicos/> Acessado em: 15 de outubro de 2020.

CICLO VIVO – Potencial eólico do Brasil é maior do que se imaginava. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/desenvolvimento/potencial-eolico-do-brasil-e-maior-do-que-se-imaginava/> Acessado em 2 de novembro de 2020.

CLICK PETRÓLEO E GÁS - Projeto de construção de parque de energia eólica offshore no Rio Grande do Norte mais próximo de ser concretizado. Disponível em: <https://clickpetroleoegas.com.br/projeto-de-construcao-de-parque-de-energia-eolica-offshore-no-rio-grande-do-norte-mais-proximo-de-ser-concretizado/> Acessado em: 20 de outubro de 2020.

CLICK PETRÓLEO E GÁS - Desenvolvimento de projetos de energia eólica offshore no Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e Ceará podem ser implantados em breve pelo grupo privado Neoenergia (Iberdrola). Disponível em: <https://clickpetroleoegas.com.br/desenvolvimento-de-projetos-de-energia-eolica-offshore-no-rio-grande-do-sul-rio-de-janeiro-e-ceara-podem-ser-implantados-em-breve-pelo-grupo-privado-neoenergia-iberdrola/> Acessado em: 23 de outubro de 2020.

CTCN – Buildin-Integrated Wind Turbines. Disponível em: <https://www.ctcn.org/technologies/building-integrated-wind-turbines> Acessado em: 23 de novembro de 2020.

CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA – Acordo de Paris sobre as alterações climáticas. Disponível em: <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/paris-agreement/> Acessado em: 12 de agosto de 2020.

COMISSÃO DA UNIÃO EUROPEIA – Ação Climática. Disponível em: <https://poseur.portugal2020.pt/media/38217/a%C3%A7%C3%A3o-clim%C3%A1tica.pdf> Acessado em: 12 de agosto de 2020.

COSTA, A. Energias renováveis em Portugal. Apresentado na V Conferência Anual da RELOP - Associação de energias renováveis de Portugal (APREN), 2012.
CUBI ENERGIA – Sistema Elétrico Brasileiro. Disponível em: <https://www.cubienergia.com/sistema-eletrico-brasileiro/> Acessado em: 27 de outubro de 2020.

CUBI ENERGIA – Setor elétrico brasileiro e seus três grandes grupos. Disponível em: <https://www.cubienergia.com/conheca-um-pouco-dos-3-grupos-do-setor-eletrico-no-brasil/> Acessado em 28 de outubro de 2020.

DIÁRIO DE NOTÍCIAS – Elétrica Açoriana vai instalar parque voltaico na ilha do Corvo. Disponível em: <https://www.dn.pt/lusa/eletrica-acoriana-vai-instalar-parque-fotovoltaico-na-ilha-do-corvo-8906454.html> Acessado em: 27 de agosto de 2020.

DIÁRIO DE NOTÍCIAS – Recuperações em curso após finalização do transporte de eólicas para o Paul da Serra. Disponível em: <https://www.dnoticias.pt/2020/6/19/46982-recuperacoes-em-curso-apos-finalizacao-do-transporte-de-eolicas-para-o-paul-da-serra> Acessado em: 1 de setembro de 2020.

DIÁRIO DO NORDESTE – Projetos de energia eólica offshore podem injetar R\$ 37,6 Bilhões no Ceará. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/projetos-de-energia-eolica-offshore-podem-injetar-r-37-6-bi-no-ce-1.2208106> Acessado em: 21 de outubro de 2020.

DIÁRIO LEIRIA – Governo aprovou parque eólico de 24 milhões na Serra d’Aire. Disponível em: <http://www.diarioleiria.pt/noticia/27131>. Acessado em 26 de junho de 2020.

DÖRENKÄMPER, M.; OLSEN, B.; WITHA, B.; HAHMANN, A.; DAVIS, N.; BARCONS, J.; EZBER, Y.; BUSTAMANTE, E.; ROUCO, J.; NAVARRO, J.; MARUGÁN, M.; SILE, T.; TREI, W.; ZAGAR, M.; BADGER, J.; GOTTSCHALL, J.; RODRIGO, J.; MANN, J. The Making of the New European Wind Atlas Part 2: Production and Evaluation. Geoscientific Model Development.

EDA ELETRICIDADE DOS AÇORES – Projeto Gracólica na Ilha Branca. Acessado em 10 de agosto 2020 .

EDA ELETRICIDADE DOS AÇORES – Caracterização das Redes de Transporte e Distribuição da Energia Elétrica em 2019 (CARE), março 2020.

EDA ELETRICIDADE DOS AÇORES – Ampliação do Parque Eólico Serra do Cume. Disponível em: <https://www.eda.pt/Mediateca/Anuncios/Paginas/Anuncio-Detalhe.aspx?item=165&lista=Notas%20de%20Imprensa> Acessado em 27 de agosto de 2020.

EDP. Energias de Portugal – Mercado Livre e Mercado Regulado. Disponível em: <https://portugal.edp.com/pt-pt/mercado-livre-e-mercado-regulado> Acessado em: 19 de agosto de 2020.

EDP. Energias de Portugal – WindFloat Atlantic begins the installation of the first floating wind farm. Disponível em: <https://www.edpr.com/en/news/>. Acessado em: 09 de abril de 2020.

EDP. Energias de Portugal – The last platform of the world’s first semi-submersible floating wind farm sets sail. Disponível em: <https://www.edpr.com/en/news/2020/05/28/last-platform-worlds-first-semi-submersible-floating-wind-farm-sets-sail>. Acessado em: 25 de julho de 2020.

EDP. Energias de Portugal – Projeto Eólico no Rio Grande do Norte apoiado pelo BNDES fornecerá energia a 800 mil residências. Disponível em: <https://www.edpr.com/pt-pt/noticias/2020/01/30/projeto-eolico-no-rio-grande-do-norte-apoiado-pelo-bndes-fornecera-energia-800> Acessado em: 20 de outubro de 2020.

EDP RENOVÁVEIS – EDPR vai reciclar pás das turbinas eólicas. Disponível em: <https://www.edpr.com/pt-pt/noticias/2017/08/31/edpr-vai-reciclar-pas-das-turbinas-eolicas> Acessado em: 06 de novembro de 2020.

EEM. Energia Elétrica da Madeira – Parques Eólicos. Disponível em: <https://www.eem.pt/pt/conteudo/sistema-eletrico/producao/parques-eolicos/> Acessado em: 1 de setembro de 2020.

ELECTRICAL4U – What is wind turbine. Horizontal Axis and Vertical Axis Wind Turbine. Disponível em: <https://www.electrical4u.com/wind-turbine-introduction/> Acessado em: 15 de agosto de 2020.

ELETROBRAS – Proinfa - Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Proinfa.aspx> Acessado em 26 de outubro de 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Roadmap Eólica Offshore Brasil – Perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima, primeira edição, 2020.

ENERGIAS ENDÓGENAS DE PORTUGAL – Parques eólicos em Portugal, 2018.

ENGENHARIAE – Boas notícias! Eólica e solar batem um novo recorde em 2020 com o declínio do carvão. Disponível em: <https://engenhariae.com.br/editorial/energia-verde/boas-noticias-eolica-e-solar-batem-um-novo-recorde-em-2020-com-o-declinio-do-carvao>. Acessado em 18 de agosto de 2020.

EPBR - Ceará ganha mais um projeto eólico offshore. Disponível em: <https://epbr.com.br/ceara-ganha-mais-um-projeto-para-eolica-offshore/> Acessado em 21 de outubro de 2020.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética - Sistemas Isolados. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/sistemas-isolados> Acessado em 28 de outubro de 2020.

EPE – Energisa Rondônia. Avaliação dos Benefícios Econômicos da Antecipação da Interligação de Sistemas Isolados em Rondônia. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/NT-EPE-DEE-012-2020_Antecipa%C3%A7%C3%A3o%20interliga%C3%A7%C3%A3o%20Rond%C3%B4nia.pdf Acessado em 30 de outubro de 2020.

EPOWERBAY – Fabricantes de Aerogeradores: Os maiores em operação no Brasil. Disponível em: <https://www.epowerbay.com/single-post/fabricantes-de-aerogeradores-os-maiores-em-operacao-no-brasil> Acessado em: 23 de outubro de 2020.

EXPRESSO PT – EDP Renováveis pede 60 milhões ao BEI para dois novos parques eólicos em Portugal. Disponível em: <https://expresso.pt/economia/2020-06-17-EDP-Renovaveis-pede-60-milhoes-ao-BEI-para-dois-novos-parques-eolicos-em-Portugal>. Acessado em: 02 de agosto de 2020.

E-CYCLE – Um dos maiores complexos eólicos da América Latina é inaugurado na divisa entre Piauí e Pernambuco. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/35-atitude/5705-um-dos-maiores-complexos-eolicos-da-america-latina-e-inaugurado-na-fronteira-entre-piaui-e-pernambuco.html> acessado em 18 de outubro de 2020.

E-CYCLE – Pontes com turbinas de geração eólica e painéis solares podem transformar viadutos em geradores de energia. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/5-eco-design/4764-pontes-com-turbinas-de-geracao-eolica-e-paineis-solares-podem-transformar-viadutos-em-geradores-de-energia-sustentavel-estradas-rodovia-fotovoltaica-painel-solar-energia-eolica-turbinas-pontes-celulas-solares-veiculos-sistema.html> Acessado em: 30 de outubro de 2020.

FAGAN, E.; LA TORRE, O.; LEEN, S.; GOGGINS, J. Validation of the multi-objective structural optimisation of a composite wind turbine blade. *Composite Structures*, Vol. 204, pp 567-577, 2018.

EXPRESSO ECONOMIA – EDP Renováveis pede 60 milhões ao BEI para dois novos parques eólicos em Portugal. Disponível em: <https://expresso.pt/economia>. Acessado em: 26 de junho de 2020.

FEIO, I. O mercado livre de eletricidade e a estrutura tarifária em Portugal – Uma análise Pré e pós MIBEL. Dissertação de Mestrado em Economia de Empresa e da Concorrência, Instituto Universitário de Lisboa, 2014.

FERREIRA, J. O impacto da produção eólica no preço de mercado. Dissertação de Mestrado em Economia da Empres e da Concorrência, Instituto Universitário de Lisboa, 2016.

FERREIRA, P.; Vieira, F. Análise da viabilidade de um parque eólico na costa

portuguesa. CGIT– Universidade do Minho – Publicações em actas de encontros científicos, 2009.

FUNCHAL NOTÍCIAS – Novos investimentos: Parques Eólicos “dois em um” em Paul da Serra. Disponível em: <https://funchalnoticias.net/2019/03/30/novos-investimentos-parques-eolicos-dois-em-um-no-paul-da-serra/> Acessado em: 1 de setembro de 2020.

G1 BAHIA – Mais seis parques eólicos entram em operação na Bahia; Estado lidera em produção de energias renováveis. Disponível em: <https://g1.globo.com/ba/bahia/noticia/2020/07/21/mais-seis-parques-eolicos-entram-em-operacao-na-bahia-estado-lidera-em-producao-de-energias-renovaveis.ghtml> Acessado em: 23 de setembro de 2020.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC) – Global Wind Report, 2019.

HABASH, R.; GROUZA, V.; YANG, Y.; BLOUIN, C.; GUILLEMETTE, P. Performance of a contra rotating small wind energy converter. International Workshop on Electronic Design, Test and Application, Vol. 6, pp 17-19, 2011.

GONÇALVES L. A Energia Eólica: Presente e Futuro – Cicilo de mesas redondas “A APREN e as Universidades”. Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2018.

GOVERNO BRASILEIRO - Câmara de Gestão da crise de Energia Elétrica. Resolução numero 24. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/resolu%C3%A7%C3%A3o/RES24-01.htm Acessado em: 23 de outubro de 2020.

GOVERNO BRASILEIRO - Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei número 10.438. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm Acessado em: 26 de outubro de 2020.

GZH ECONOMIA – Energia eólica: Obras trazem alívio, mas RS tem desafio de estimular indústria no setor. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/noticia/2020/09/energia-eolica-obras-trazem-alivio-mas-rs-tem-desafio-de-estimular-industria-no-setor-ckf8w5rjh007t014ks09svljp.html> Acessado em: 23 de outubro de 2020.

IBERDROLA - O que é a energia eólica offshore. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/meio-ambiente/>. Acessado em: 10 de abril de 2020.

IBERDROLA - Paraíba reafirma nosso compromisso com a energia eólica onshore na América Latina. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/linhas-negocio/projetos-emblematicos/complexo-eolico-terrestre-paraiba> Acessado em: 15 de outubro de 2020.

INEGI – Fim da vida útil dos equipamentos é grande desafio do setor eólico.

Disponível em: <http://www.inegi.pt/pt/noticias/fim-da-vida-util-dos-equipamentos-e-grande-desafio-do-setor-eolico/> Acessado em 4 de novembro de 2020.

INSTITUTO ELECTROTÉCNICO PORTUGUÊS - O futuro da Energia Eólica em Portugal. Disponível em: <https://www.iep.pt>. Acessado em: 17 de fevereiro de 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Key world energy statistics, 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). World Energy Outlook, 2018.

INVESTRS – Energia Eólica. Disponível em: <https://investrs.com.br/energia-eolica> Acessado em 23 de outubro de 2020.

JOHARI, M.; JALIL, M.; SHARIFF, M. Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT). International Journal of Engineering & Technology, Vol. 7, pp 74-80, 2018.

JORNAL DA USP. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – Com turbinas eólicas offshore, Brasil pode se tornar ativo na corrida pela energia limpa. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra>. Acessado em: 08 de abril de 2020.

JORNAL DE LEIRIA – Ventos produzem 28% da energia consumida no distrito de Leiria. Disponível em: <https://www.apren.pt/contents/files/jol11180404-mesclado.pdf> Acessado em: 05 de julho de 2020.

JORNAL DO COMÉRCIO - Avançam projetos de geração eólica no RS. Disponível em: https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/economia/2020/04/733348-avancam-projetos-de-geracao-eolica-no-rs.html Acessado em: 23 de outubro de 2020.

JOVEM PAN – BNDES aprova financiamento de R\$ 208 milhões para parque eólico no Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://jovempan.com.br/noticias/economia/bndes-aprova-financiamento-208-milhoes-parque-eolico-rio-grande-do-norte.html> Acessado em: 19 de outubro de 2020.

KOLLROSS A. Máquina de fumaça de baixo custo para túnel de vento didático. Dissertação de Bacharelado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

LIMA, L.; Guimarães Jr, S.; de Paula, A. Potência Extraída de Turbinas Eólicas Baseada na Comparação de Diferentes Tipos de Velocidades dos Ventos. Artigo Publicado na IX Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

LOPEZ, S. Life Extension and Optimization of Wind Farm. Disponível em: https://aqper.com/images/AQPER/Colloque2019/SantiagoLopez_Colloque2019.pdf

f Acessado em: 5 de novembro de 2020.

MADEIRA ISLANDS ESSENTIAL – As ilhas da Madeira. Disponível em: <http://essencial-madeira.com/index.php/guia-da-madeira/370-os-melhores-lugares-na-madeira-sugeridos-pelos-guias>. Acessado em: 1 de setembro de 2020.

MIBEL – Mercado Ibérico de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.mibel.com/> Acessado em: 18 de agosto de 2020.

MIGUEL F. Aplicação da Teoria de Portifólio de Markowitz para a Geração de Energia Elétrica Proveniente de Empreendimento Eólicos no Brasil. Dissertação de Doutorado em Ciências, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – Uso de fontes renováveis no Brasil é três vezes maior que o mundial. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/07/uso-de-fontes-renovaveis-no-brasil-e-tres-vezes-maior-que-o-mundial>. Acessado em: 22 de setembro de 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – Protocolo de Quioto. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html> Acessado em: 12 de agosto de 2020.

MOORE – Incentivos fiscais na produção de energias renováveis. Disponível em: <https://www.moorebrasil.com.br/blog/incentivos-fiscais-na-producao-de-energias-renovaveis/> Acessado em: 23 de outubro de 2020.

MORIARTY M. Feasibility of small-scale urban wind energy generation. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, University of Pittsburgh 2010.

NAÇÕES UNIDAS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/> Acessado em 20 de dezembro de 2020.

NEWMAN B. Actuator-disc theory for vertical-axis wind turbines. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Vol. 15, pp 347-355, 1983.

NOCTULA – O que fazer aos aerogeradores quando a sua vida termina? Disponível em: <https://noctula.pt/reciclagem-pas-aerogeradores/> Acessado em 07 de novembro de 2020.

NOTA POSITIVA – Energia Eólica. Disponível em: <https://notapositiva.com/energia-eolica/> Acessado em: 14 de abril de 2020.

NOTÍCIAS DE COIMBRA – Governo autoriza Parque Eólico de Penacova . Disponível em: <https://www.noticiasdecoimbra.pt>. Acessado em 01 de março de 2020.

OMEGA ENGINEERING – Pitot Tubes. Disponível em: <https://www.omega.com>. Acessado em: 05 de março de 2020.

OMIP – Operador do Mercado Ibérico de Energia (Pólo Português) – MIBEL. Disponível em: <https://www.omip.pt/pt/sobre-nos-omip> Acessado em: 18 de agosto de 2020.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico - O Ssistema Interligado Nacional. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin> Acessado em: 27 de outubro de 2020.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico - Sistemas Isolados. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/sistemas-isolados> Acessado em: 27 de outubro de 2020.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico - Mapa dinâmico do SIN. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas> Acessado em 28 de outubro de 2020.

PARLAMENTO EUROPEU – Redução das emissões de carbono: Metas e iniciativas da União Europeia. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu>. Acessado em 26 de junho de 2020.

PARQUE EÓLICOA DE MARVILA II – SÃO MAMEDE – Parecer da comissão de avaliação. Disponível em: http://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA2806/parecerca_28062015917122626.pdf Acessado em: 06 de julho de 2020.

PENACOVA ACTUAL – Ministro do Ambiente inaugura Parque Eólico de Penacova. Disponível em: <https://www.penacovaactual.pt>. Acessado em 14 de março de 2020.

PIRES, J.; OLIVEIRA, B. Modelagem e simulação virtual de pá para aerogerador de pequeno porte. Design & Tecnologia. Vol. 2, pp 69-76, 2010.

PORTAL DE ENERGIA – Como armazenar energia solar e eólica usando apenas água. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/armazenar-energia-solar-eolica-agua-14501/> Acessado em: 16 de novembro de 2020.

PORTAL DA ENERGIA DOS AÇORES – Fontes de energia renováveis e endógenas nos Açores. Disponível em: <https://portaldaenergia.azores.gov.pt/portal/POL%C3%8DTICA-ENERG%C3%89TICA/Renov%C3%A1veis?portalid=0>. Acessado em: 26 de agosto de 2020.

PORTUGAL GLOBAL – EDP Renováveis pede 60 milhões ao BEI para dois novos parques eólicos em Portugal. Disponível em: <http://www.portugalglobal.pt/PT/PortugalNews/Paginas/NewDetail.aspx?newId=%>

7B85736A44-D2CB-4A03-AB26-653E1951EF97%7D. Acessado em: 03 de agosto de 2020.

PORTUGAL ENERGIA – Agentes do setor elétrico. Disponível em: <https://www.portugalenergia.pt/agentes/>. Acessado em 20 de agosto de 2020.

POWER TECHNOLOGY – WindFloat Atlantic Project. Disponível em: <https://www.power-technology.com/projects/windfloat-atlantic-project/> Acessado em: 22 de julho de 2020.

PROJECT MANAGER – How to perform a swot analysis. Disponível online em: <https://www.projectmanager.com/training/how-to-perform-a-swot-analysis>. Acessado em: 06 de maio de 2020.

REA APAMBIENTE - Energia e clima. Disponível online em: <https://www.rea.apambiente.pt> Acessado em 12 de dezembro de 2019.

REIA, C. Sistema elétrico da ilha do Corvo: estudo de um sistema baseado em renováveis com armazenamento. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, Universidade de Lisboa, 2018.

REVE – Wind power expected to reach 24 GW in 2024 in Brazil. Disponível em: <https://www.evwind.es/2020/08/01/wind-power-expected-to-reach-24-gw-in-2024-in-brazil/76192>. Acessado em 21 de setembro de 2020.

RTP – Parque Eólico da Serra do Cume, na Terceira, arranca esta semana. Disponível em: https://www.rtp.pt/acores/sociedade/parque-eolico-da-serra-do-cume-na-terceira-arranca-esta-semana_2750 Acessado em 27 de agosto de 2020.

RTP MADEIRA – Madeira com 50% de energia produzida a partir de fontes renováveis em 2020. Disponível em: https://www.rtp.pt/madeira/sociedade/madeira-com-50-de-energia-produzida-a-partir-de-fontes-renovaveis-em-2020-_8443 Acessado em: 1 de setembro de 2020.

SAAD, M. ASMUIN, N. Comparison of Horizontal axis wind turbine and vertical axis wind tubrine. IOSR Journal of Engineering, Vol. 2, pp 27-30, 2014.

SAMAGAIO A. Apontamentos de apoio a matéria Conversão de Energias Renováveis – Universidade de Aveiro, 2019.

SIARAM - Parque eólico na Serra do Cume na Ilha Terceira. Disponível em: <http://siaram.azores.gov.pt/energia/energia-eolica/galeria/1.html> Acessado em 27 de agosto de 2020.

SIEMENS GAMESA – Siemens Games acquires Ria Blades plants and completes Senvion assets acquisition. Disponível em: <https://www.siemensgamesa.com/en-int/newsroom/2020/04/200430-siemens-gamesa-ria-blades> Acessado em 22 de julho de 2020.

SOMA ENERGIA – Setor elétrico brasileiro e sua liberalização. Disponível em: <http://blog.somaenergia.com.br/setor-eletrico-brasileiro-liberalizacao/> Acessado em 28 de outubro de 2020.

SORTE S – Apontamentos de apoio a matéria Gestão e Qualidade do Ar – Universidade de Aveiro, 2019.

STUDENT ENERGY - Renewable energy and wind power. Disponível online em: <https://www.studentenergy.org> Acessado em: 23 de novembro de 2019.

SUPORTE GEOGRÁFICO – Brasil Regiões. Disponível em: https://suportegeografico77.blogspot.com/2016/09/brasil-regioes_13.html Acessado em 15 de novembro de 2020.

THE BALANCE SMALL BUSINESS – What is a Joint Venture? Disponível em: <https://www.thebalancesmb.com/what-is-a-joint-venture-and-how-does-it-work-397540> Acessado em: 20 de outubro de 2020.

TERRA NOVA - Ria Blades instala maior turbina eólica do país para autoconsumo. Disponível em: <https://www.terranova.pt/noticia/economia/riablades-instala-maior-turbina-eolica-do-pais-para-autoconsumo>. Acessado em: 25 de julho de 2020.

TECMUNDO – Para que servem os túneis de vento. Disponível em: <https://m.tecmundo.com.br/simuladores>. Acessado em 17 de fevereiro de 2020.

TOLMASQUIM, M. Integração das fontes renováveis intermitentes na América Latina: Brasil, Chile e Uruguai. Caracas, CAF, 2017.

TOJA, F.; COLMENAR-SANTOS, A.; CASTRO-GIL, M. Urban wind energy exploitation systems: Behaviour under multidirectional flow conditions – Opportunities and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 24, pp 364-378, 2013.

TPF – Parque Eólico do Paul da Serra. Disponível em: <https://www.tpf.pt/pt/parque-eolico-de-paul-da-serra-c-2021-5-217--6-104.html> Acessado em: 1 de setembro de 2020.

UOL – Nordeste recebe investimento de R\$ 2 bilhões para energia eólica. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/canal/economia/pernambuco/noticia/2020/03/04/nordeste-recebe-investimento-de-r-2-bilhoes-para-energia-eolica-401314.html> Acessado em: 17 de outubro de 2020.

UOL – O pioneirismo das eólicas em Pernambuco. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/canal/economia/pernambuco/noticia/2019/06/30/o-pioneirismo-das-eolicas-em-pernambuco-382000.php> Acessado em: 16 de outubro de 2020.

U.S DEPARTMENT OF ENERGY – ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY(EERE). History of U.S. Wind Energy. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/wind/> Acessado em: 23 de janeiro de 2020.

U.S DEPARTMENT OF ENERGY - ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY(EERE). How does a wind turbine work? Disponível em: <https://www.energy.gov/maps/how-does-wind-turbine-work> Acessado em 14 de abril de 2020.

U.S DEPARTMENT OF ENERGY – ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY (EERE). Hybrid wind and solar electric systems. Disponível em: <https://www.energy.gov/energysaver/buying-and-making-electricity/hybrid-wind-and-solar-electric-systems> Acessado em: 12 de maio de 2019.

U.S ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). Wind explained: History of wind power. Disponível em: <https://www.eia.gov/>. Acessado em: 15 de fevereiro de 2020.

UNION OF CONCERNED SCIENTISTS – Wind turbine blades don't have to end up in landfills. Disponível em: <https://blog.ucsusa.org/james-gignac/wind-turbine-blades-recycling> Acessado em: 15 de dezembro de 2020.

WAHAB, A.; ABAS, M.; ISMAIL, M. The influence of roughness and obstacle on wind power map. International Nuclear Information System, Vol. 38, 2006.

WEATHER SPARK – Condições meteorológicas médias de Penacova. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com>. Acessado em: 21 de março de 2020.

WIND ENERGY IN EUROPE: SCENARIOS FOR 2030, 2017.

WINSLOW, A. Urban Wind Generation: Comparing Horizontal and Vertical axis wind turbines. Dissertação de Mestrado em Política e Ciência Ambiental, Clark University in Worcester, Massachusetts, 2017.

WIND ENERGY INTERNATIONAL – Global Wind Installations. Disponível em: <https://library.wwindea.org/global-statistics/> Acessado em: 13 de novembro de 2020.

WIND EUROPE – Repowering and Lifetime Extension: making the most of Europe's wind resources. Disponível em: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/policy/position-papers/WindEurope-Repowering-and-Lifetime-Extension.pdf> Acessado em 6 de novembro de 2020.

ZHAO, X.; PING, Z.; XIAO, L.; SHEN, G. The aerodynamic design and wind tunnel test of contra-rotating wind turbines. Renewable energy, Vol. 146, pp 1-8, 2020.