

CRIAÇÃO DE EMPREGOS NO SETOR EÓLICO BRASILEIRO

Estimativas em curto, médio e longo prazo

Março 2023

Revisão da edição original
de outubro/2020



PUBLICADO POR:

Profissionais do Futuro

Sistemas de Energia do Futuro

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Ministério da Educação (MEC)

Ministro » Camilo Santana

Secretário de Educação Profissional e Tecnológica » Getúlio Marques

Ministério de Minas e Energia (MME)

Ministro » Alexandre Silveira

Secretaria de Planejamento e Transição Energética » Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Diretor Nacional » Michael Rosenauer

Diretor de Energias Renováveis e Eficiência Energética » Johannes Kissel

Diretora do Projeto Profissionais do Futuro » Julia Giebeler Santos

Diretor do Projeto Sistemas de Energia do Futuro » Daniel Almarza

Coordenação e revisão técnica da publicação » Caroline Luciane Broering Dutra (GIZ)
e Roberta Hessmann Knopki (GIZ)

Revisão Textual » Andrea Mesquita (GIZ) e Lucas Tolentino (GIZ)

Diagramação » Raphael de Medeiros (Trato Design)

Autores

Bruno César Pino de Oliveira Araújo » Cognito Consultoria

Cayan Atreio Portela Barcena Saavedra » Cognito Consultoria

Jorge Luís Ferreira Boeira » Cognito Consultoria

Março 2023 | Revisão da edição original de outubro/2020

Apresentação

A difusão de iniciativas que incentivem a energia renovável e a eficiência energética ao redor do planeta pode gerar 30 milhões de empregos até 2030, e mais de 40 milhões até 2050 (IRENA, 2020a). Há estimativas de que o setor de renováveis tenha empregado cerca de 11 milhões de pessoas em 2018 em todo o mundo, dentre as quais 1,16 milhão somente no setor eólico (IRENA, 2019).

A capacidade instalada de energia eólica no mundo atingiu 650,4 GW em 2019, ano em que foram adicionados mais 60,4 GW provenientes dessa mesma fonte.

O crescimento do setor pode pressionar o mercado de trabalho a oferecer profissionais com níveis de competência, especialização e experiência requeridos pela indústria eólica. Por esse motivo, é preciso planejar a oferta de mão de obra qualificada de acordo com o ritmo de acréscimo de energia em regiões ou países específicos.

O Brasil, por exemplo, representa um dos mais bem-sucedidos casos de inserção da fonte eólica no mundo, muito em função da dotação natural de ventos. E, desde 2009, a matriz eólica passou de opção subsidiada para a fonte de geração de energia elétrica mais competitiva do país.

Além disso, adquiriu uma importância crescente também na geração de empre-

gos qualificados em atividades industriais, como fabricação de aerogeradores e serviços altamente especializados, e nas áreas de desenvolvimento e de instalação de projetos eólicos.

Compreender melhor o potencial de geração de postos de trabalho associados a essa fonte de energia é crucial tanto para o planejamento do investimento privado no setor, como para a elaboração de políticas públicas.

Por isso, este relatório apresenta um estudo inédito, realizado com o objetivo de qualificar e estimar a demanda futura por mão de obra especializada. A partir da inserção de determinada potência nominal de aerogeradores nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul, projetou-se a geração de empregos no setor eólico para os anos de 2030, 2034 e 2038.

Foram considerados empregos diretos todos aqueles utilizados ao longo das etapas de fabricação de aerogeradores, transporte e logística, desenvolvimento, construção, instalação e comissionamento, operação e manutenção de parques eólicos.

Os empregos indiretos, por sua vez, relacionam-se à necessidade de matérias-primas (aço, cobre, materiais elétricos, eletrônicos e outros) e de serviços locais (alimentação, alojamento, transporte etc.).

No esforço de estimar o volume e o potencial de criação de empregos, este estudo faz a revisão da literatura técnica e acadêmica, uma pesquisa estruturada online e entrevistas com representantes do setor eólico.

As bases de dados das empresas da cadeia produtiva foram cruzadas com informações coletadas junto à Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) – uma das principais fontes de informação sobre o mercado de trabalho formal brasileiro.

Dessa etapa, resultou um mapeamento das características gerais da mão de obra, como perfil remuneratório, ocupacional, formação educacional, distribuição regional, por gênero e por faixa etária.

Até 2038, mais de 1 milhão de empregos serão criados na cadeia de valor eólica – 75% deles diretos. O desafio de treinar toda essa mão de obra esbarra na crescente sofisticação do setor, por meio do uso intenso de tecnologias típicas da indústria 4.0, como computação em nuvem, *Big Data Analytics*, gêmeos digitais, realidade mista (virtual/aumentada) etc. Uma melhor capacitação dos/as profissionais do setor demanda a formação de alianças entre a indústria eólica e instituições de treinamento técnico, além de mais investimentos em centros de formação especializados nos níveis nacional e regional.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE QUADROS	11
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE ABREVIACÕES	15
RESUMO EXECUTIVO	16
1. INTRODUÇÃO	31
2. PROPOSTA METODOLÓGICA	33
3. DESENVOLVIMENTO DO SETOR EÓLICO NO MUNDO	38
3.1. ASPECTOS HISTÓRICOS	39
3.2. ASPECTOS TECNOLÓGICOS	42
3.2.1. O vento	42
3.2.2. O aerogerador	46
3.2.3. O parque eólico <i>onshore</i>	49
3.2.4. O ambiente <i>offshore</i>	51
3.3. ASPECTOS ECONÔMICOS	55
3.3.1. Capacidade instalada, produção e principais empresas	55
3.3.2. Competitividade natural e políticas públicas	58
3.3.3. Estruturas de custo e investimento	60
3.3.4. Inovação e competitividade	61
3.3.5. Racional da competitividade do setor eólico	64
3.4. ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	66
3.4.1. Emprego e perfil profissional	66
3.4.2. Perfis profissionais da cadeia de valor da energia eólica	69
3.4.3. Cadeia de valor da energia eólica	72
4. DESENVOLVIMENTO DO SETOR EÓLICO NO BRASIL	94
4.1. HISTÓRICO E EVOLUÇÃO	94
4.2. PERSPECTIVAS E AGENDA DO FUTURO	101
4.2.1. Novo padrão tecnológico no Brasil	101
4.2.2. Nova política de conteúdo local	102
4.2.3. Futuro do setor eólico no Brasil	106

4.3. CAPACIDADES INSTITUCIONAIS EM ENSINO E FORMAÇÃO PROFISSIONAL NO BRASIL	110
5. PERSPECTIVAS DE GERAÇÃO DE EMPREGOS NO SETOR EÓLICO NO BRASIL	120
5.1. ROTEIRO PARA A ESTIMATIVA DOS EMPREGOS DIRETOS E INDIRETOS	120
5.2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA MÃO DE OBRA DO SETOR EÓLICO NO BRASIL	122
5.3. ESTIMATIVA DOS EMPREGOS INDIRETOS	127
5.4. ESTIMATIVA DOS EMPREGOS DIRETOS	133
5.4.1. Desenvolvimento de projetos de parques eólicos	133
5.4.2. Fabricação de aerogeradores	136
5.4.3. Logística e transporte de aerogeradores	140
5.4.4. Construção e instalação de parques eólicos	141
5.4.5. O&M - operação e manutenção de parques eólicos	145
5.4.6. Quadro-síntese dos índices de empregos-ano/MW da cadeia de valor eólica no Brasil	147
5.5. CENÁRIOS DE CRESCIMENTO DOS EMPREGOS EM CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZO	148
5.5.1. Premissas	148
5.5.2. Cenário de referência de crescimento da fonte e dos empregos	149
5.5.3. Variações nos empregos frente a mudanças no padrão tecnológico	153
5.5.4. Variações nos empregos frente a mudanças nos índices de nacionalização	155

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES:	158
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	162
8. ANEXOS	172
8.1. ÁREAS DE COMPETÊNCIAS NA INDÚSTRIA EÓLICA	172
8.2. OCUPAÇÕES NO SETOR EÓLICO E GRAU DE QUALIFICAÇÃO	173
8.3. NÍVEIS DE COMPETÊNCIA E OCUPAÇÕES TÍPICAS NO SETOR EÓLICO – EXEMPLOS DO RH DA VESTAS	174
8.4. RACIONAL DA SURVEY E DA ESTIMATIVA DE EMPREGOS	175
8.5. PERFIL DAS EMPRESAS E ACHADOS DA PESQUISA	176
8.5.1. Desenvolvimento de projetos eólicos	176
8.5.2. Fabricação	179
8.5.3. Construção e instalação	180
8.5.4. O&M – Operação e Manutenção	182
8.6. GRÁFICO DOS MULTIPLICADORES DE EMPREGOS DIRETOS E INDIRETOS POR MILHÃO DE R\$ DE VENDAS, MATRIZ INSUMO-PRODUTO 2015	
8.7. QUADRO DOS MULTIPLICADORES DE EMPREGOS DIRETOS, INDIRETOS E TOTAIS POR MILHÃO DE R\$ DE VENDAS, MATRIZ INSUMO-PRODUTO 2015	187
8.8. EMPREGOS DIRETOS E INDIRETOS DO CENÁRIO DE REFERÊNCIA PROPOSTO - GIZ	188
8.9. FATOR 6,03% - IMPACTO TECNOLÓGICO NA GERAÇÃO DE EMPREGOS NO SETOR EÓLICO	188
8.10. FATOR 10% - IMPACTO TECNOLÓGICO NA GERAÇÃO DE EMPREGOS NO SETOR EÓLICO	189
8.11. FATOR 15% - IMPACTO TECNOLÓGICO NA GERAÇÃO DE EMPREGOS NO SETOR EÓLICO	189
8.12. CASO 1-PESSIMISTA: REDUÇÃO EM 50% NO ÍNDICE DE NACIONALIZAÇÃO E IMPACTO NOS EMPREGOS DO SETOR EÓLICO	190
8.13. CASO 2-POSSÍVEL: REDUÇÃO EM 12,5% NO ÍNDICE DE NACIONALIZAÇÃO E IMPACTO NOS EMPREGOS DO SETOR EÓLICO	190
8.14. CASO 3-OTIMISTA: AMPLIAÇÃO EM 6,25% NO ÍNDICE DE NACIONALIZAÇÃO E IMPACTO NOS EMPREGOS DO SETOR EÓLICO	191
8.15. TIPOS DE INFORMAÇÃO SOBRE CARREIRAS NO SETOR EÓLICO E FONTES DA PESQUISA	192

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Inserção anual (MW) e acumulada (GW) de energia eólica de 2009 – 20201	20
Figura 2 – Perfil dos parques eólicos brasileiros ¹ em termos de potência nominal média ² e quantidade acumulada de aerogeradores, 1999-2024, em MW.	21
Figura 3 – Evolução do emprego para o período 2020 a 2038 por elo da cadeia de valor eólica.	29
Figura 4 – Componentes e arranjos básicos de um aerogerador de eixo horizontal.	40
Figura 5 – Crescimento acumulado de energia eólica no mundo (GW).	41
Figura 6 – Rosa dos ventos: distribuição de frequência, de velocidade e de energia em diferentes direções.	43
Figura 7 – Mapa do potencial eólico nacional anual, períodos trimestrais ..	45
Figura 8 – Componentes principais de um aerogerador de eixo horizontal moderno.	47
Figura 9 – Principais configuração dos aerogeradores (com/sem caixa de engrenagem).	48
Figura 10 – Configuração de aerogeradores sugerida pelo IRENA Project Navigator	50
Figura 11 – Representação de leiaute integrado de um parque eólico típico	51
Figura 12 – Padrão de difusão e de desenvolvimento da energia eólica offshore	52
Figura 13 – Jack-up para instalação eólica offshore para até 2.500 ton. de capacidade	53
Figura 14 – Embarcação especializada offshore para lançamento de cabos elétricos	53
Figura 15 – Visão geral das operações e ativos utilizados para manutenção em um típico parque eólico offshore	54
Figura 16 – Etapas do ciclo de vida de um projeto de energia eólica offshore.	54
Figura 17 – Custo de capital de parque eólico onshore típico	61

Figura 18 – Evolução média ponderada do diâmetro do rotor e da capacidade nominal dos aerogeradores, 2010-2018	62
Figura 19 – Índices de preços de aerogeradores e tendências de preços, 1997-2019	63
Figura 20 - Custos totais médios totais ponderados globais, fatores de capacidade e LCOE para energia eólica onshore, 2010-2019.	64
Figura 21 - Cadeia de valor simplificada da energia eólica	75
Figura 22 – Alocação de ocupações para atividades de desenvolvimento de parque eólico típico com potência nominal total de 50 MW.	78
Figura 23 – Alocação de ocupações para atividades de fabricação de 25 aerogeradores de parque eólico típico com potência nominal total de 50 MW.	80
Figura 24 - Alocação de ocupações para atividades de transporte de componentes de 25 aerogeradores de parque eólico típico com potência nominal total de 50 MW.	82
Figura 25 - Alocação de ocupações para atividades de construção e instalação de 25 aerogeradores de parque eólico típico com potência nominal total de 50 MW.	84
Figura 26 – Cronograma típico de parque eólico de 60 MW com 30 aerogeradores – IRENA Project Navigator	85
Figura 27 - Alocação de ocupações para atividades de O&M de parque eólico típico com potência nominal total de 50 MW.	87
Figura 28 – Inserção anual (MW) e acumulada (GW) de energia eólica de 2009 – 20201.	95
Figura 29 - Potência nominal instalada ¹ em 2010 (928 MW).	96
Figura 30 - Potência nominal instalada/a instalar ¹ em 2020 (17.353 MW). ...	97
Figura 31 - Potência nominal instalada/a instalar em 2024 (25.190 MW). ...	98
Figura 32 – Distribuição da indústria e dos parques eólicos no país.	100
Figura 33 - Perfil dos parques eólicos brasileiros em termos de potência nominal média e quantidade acumulada de aerogeradores, 1999-2024, em MW.	101
Figura 34 - Em quanto tempo o país deverá ter os seus primeiros parques eólicos offshore?	109
Figura 35 – Perfis genéricos dominantes para carreiras no setor eólico ...	115

Figura 36 – Cálculo de empregos utilizando-se de índices de empregos-ano/MW.	121
Figura 37 - Evolução do pessoal ocupado total e dos engenheiros nas empresas do segmento eólico: 2009-2018	125
Figura 38 – Evolução da massa salarial média das empresas do segmento eólico: 2009-2018, em R\$ de 2018	125
Figura 39 - Empregos diretos-ano/MW total e por engenheiros nas empresas do setor eólico: 2009-2018	126
Figura 40 - Perfis de gênero e escolaridade nas empresas do segmento eólico: 2018	126
Figura 41 - Forma geral de um Matriz Insumo-Produto típica	128
Figura 42 - Multiplicadores de empregos diretos e indiretos por milhão de R\$ de vendas, matriz insumo-produto 2015	130
Figura 43 – Distribuição de materiais para aerogerador de 4.2 MW / 426 toneladas	130
Figura 44 - Distribuição de materiais em parque eólico de 100 MW, 24 aerogeradores.	131
Figura 45 – Evolução dos empregos no cenário GIZ	152
Figura 46 - Serviços de desenvolvimento para o setor eólico	176
Figura 47 - Principais softwares de projetos de parques eólicos em uso no Brasil.	177
Figura 48 – Gatilhos para a contratação de pessoal na área de desenvolvimento de projetos eólicos	178
Figura 49 - Gatilhos para a contratação de pessoal na área de fabricação (OEM, fornecedores de nacelle e torres)	180
Figura 50 – Histórico e expectativa de participação do setor eólico no faturamento total das empresas de construção de parques eólicos	181
Figura 51 - Gatilhos para a contratação de pessoal na área de construção e instalação e O&M de parques eólicos	182
Figura 52 – Atividades de O&M mais frequentes na rotina de um parque eólico	183
Figura 53 – Competências mais importantes para as atividades de O&M .	184

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Participação de mercado em MW no Brasil para o fim de 20201	23
Quadro 2 - Cursos técnicos reconhecidos pelo MEC no eixo tecnológico "Controle e Processos Industriais"	24
Quadro 3 - Principais softwares comerciais para projetos de parques eólicos.	44
Quadro 4 - Principais áreas de avanços tecnológicos em curso do setor eólico.	49
Quadro 5 - Frentes de ação e etapas de trabalho de um empreendimento eólico	77
Quadro 6 - Metas de CL BNDES a serem cumpridas até 30/06/2020	103
Quadro 7 - Metas de CL BNDES a serem cumpridas até 01/01/2022	104
Quadro 8 - Datas limites para a nacionalização progressiva de componentes eólicos do novo normativo de credenciamento Finame-BNDES: exemplo de itens do tipo A.	105
Quadro 9 - Natureza e pré-requisitos de acesso aos cursos técnicos no Brasil.	112
Quadro 10 - Cursos técnicos reconhecidos pelo MEC no eixo tecnológico "Controle e Processos Industriais"	113
Quadro 11 - Medidas para melhoria das competências profissionais no setor eólico.	115
Quadro 12 - Taxonomia de aprendizado GWO - verbos e níveis de domínio	118
Quadro 13 - Roteiro para execução da pesquisa sobre o padrão e a dinâmica de criação de empregos no setor eólico no Brasil	121
Quadro 14 - Modelo de referência para preenchimento de dados quantitativos da mão de obra no segmento de construção de parques eólicos	143
Quadro 15 - Distribuição de profissionais por etapa na área de construção e instalação de parques eólicos	145

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potência nominal instalada/a instalar 1 de geração eólica por região, em MW	20
Tabela 2 – O novo padrão tecnológico de aerogeradores em curso no Brasil	22
Tabela 3 – Número de empresas, número de empregados e engenheiros nas empresas do segmento eólico: 2009-2018	24
Tabela 4 – Perfil da mão de obra: principais empresas vs. demais empresas ¹ do setor eólico: 2018	25
Tabela 5 – Características do cenário de referência GIZ [valores em MW] ..	26
Tabela 6 – Índices de referência e Índice final de empregos-ano/MW	27
Tabela 7 – Tabela resumo da projeção dos empregos em 2019, 2030, 2034 e 2038.	27
Tabela 8 – Empregos diretos por região para o cenário de referência proposto - GIZ	28
Tabela 9 – Quadro resumo do impacto tecnológico na geração de empregos	29
Tabela 10 – Quadro resumo dos parâmetros de variações no índice de nacionalização	30
Tabela 11 – Cenário de Referência de inserção de potência (GW) por período e região	31
Tabela 12 – Índices de empregos diretos, indiretos e totais, em empregos-ano/MW	36
Tabela 13 – Fatores de emprego da OCDE para análise global – empregos-ano/MW	55
Tabela 14 – Países líderes em capacidade instalada e acumulada em 2019 (GW)	56
Tabela 15 – Ranking dos 15 principais fabricantes de aerogeradores em 2019 (em MW)	57
Tabela 16 – Perfil dos aerogeradores nos parques eólicos do Brasil, 1999-2024.	62
Tabela 17 – Mapeamento dos grupos da ISCO-08 por níveis de competências	67

Tabela 18 - Mapeamento dos níveis de competências da ISCO-08 vis-à-vis os níveis de educação formal da ISCED97	68
Tabela 19 - Classificação e características gerais dos empregos no setor eólico.	74
Tabela 20 - Índices empregos-ano/MW no desenvolvimento de projetos.	78
Tabela 21 - Distribuição dos materiais necessários para desenvolvimento de um parque eólico de 50 MW e 12 aerogeradores de 4,2 MW (em toneladas)	79
Tabela 22 - Índices empregos-ano/MW na fabricação de aerogeradores.	80
Tabela 23 - Índices empregos-ano/MW na logística e transporte, por ocupação e total	83
Tabela 24 - Coeficientes empregos-ano/MW na construção de instalação de parque eólico de 50 MW com 25 aerogeradores	84
Tabela 25 - Coeficientes empregos-ano/MW na operação e manutenção de parques eólicos.	87
Tabela 26 - Distribuição percentual de ocupações em atividades de O&M e total.	87
Tabela 27 - Quantidade e periodicidade de atividades por componente em um parque eólico	88
Tabela 28 - Potência nominal instalada/a instalar 1 de geração eólica por região, em MW	96
Tabela 29 - Potência nominal instalada/a instalar ¹ por estado, em MW.	96
Tabela 30 - Instrumentos de incentivo para o setor eólico no Brasil	97
Tabela 31 - Os dez (10) maiores investidores em geração eólica no Brasil (MW)	98
Tabela 32 - Participação de mercado em MW no Brasil prevista para o final de 2020.	99
Tabela 33 - O novo padrão tecnológico de aerogeradores em curso no Brasil.	102
Tabela 34 - Recrutamento de funcionários na página da Vestas, posição em 26/08/2020	114
Tabela 35 - Percentual de contratos de serviços de O&M - Top 2 OEM, 2019	114

Tabela 36 – Prioridades na padronização da educação técnica e do treinamento profissional	116
Tabela 37 – Visão do setor sobre as políticas mais importantes na área de educação e treinamento	116
Tabela 38 – Principais competências na contratação de novos funcionários no setor eólico.....	119
Tabela 39 - Número de empresas, número de empregados e engenheiros nas empresas do segmento eólico: 2009-2018	124
Tabela 40 - Perfil da mão de obra: principais empresas vs. demais empresas do setor eólico: 2018	127
Tabela 41 - Cálculo dos empregos indiretos/MW por meio dos multiplicadores da MIP para um parque eólico típico	
Tabela 42 – Perfil genérico das empresas de desenvolvimento de projetos eólicos	135
Tabela 43 – Valor do índice de empregos-ano/MW para o elo de desenvolvimento de projetos de parques eólicos no Brasil	137
Tabela 44 - Valor do índice de empregos-ano/MW para fabricação de nacelle no Brasil	139
Tabela 45 - Valor do índice de empregos-ano/MW para fabricação de pás eólicas	139
Tabela 46 - Valor do índice de empregos-ano/MW para fabricação do cubo no Brasil.....	139
Tabela 47 - Valor do índice de empregos-ano/MW para fabricação de torres de aço e torres de concreto no Brasil	140
Tabela 48 - Valor do índice de empregos-ano/MW para a construção, instalação e comissionamento de parques eólicos no Brasil	144
Tabela 49 - Valor do índice de empregos-ano/MW para manutenção de parques eólicos no Brasil	146
Tabela 50 – Características do cenário de referência GIZ [valores em MW].	150
Tabela 51 – Inserção anual de potência nominal em MW do cenário de referência GIZ	151
Tabela 52 - Empregos diretos e indiretos do cenário de referência GIZ ...	152

Tabela 53 – Empregos diretos por região para o cenário de referência proposto - GIZ	153
Tabela 54 – Quadro resumo do impacto tecnológico na geração de empregos	154
Tabela 55 – Quadro resumo dos parâmetros de variações no índice de nacionalização	156
Tabela 56 – Quadro resumo do impacto de variações no índice de nacionalização na geração de empregos	157
Tabela 57 – Principais ocupações na área de desenvolvimento de projetos eólicos	178

LISTA DE ABREVIACÕES

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica
ABIMAQ – Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
EPE – Empresa de Planejamento Energético
GIZ – <i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH</i>
GW – Gigawatt
GWO – <i>Global Wind Organization</i>
IRENA – <i>International Renewable Energy Agency</i>
MME – Ministério de Minas e Energia
MW – Megawatt
O&M – Operação e manutenção

Resumo Executivo

Este estudo foi realizado com o objetivo de caracterizar, qualificar e estimar a demanda futura por mão de obra especializada, de modo a atender a expectativa do aumento substancial por serviços associados à geração de energia por meio da fonte eólica, a partir de uma determinada inserção de potência nominal nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul para os anos de 2030, 2034 e 2038, cujos patamares atingiriam cerca de 47, 61 e 70 GW.

Considerou-se como empregos diretos todos aqueles utilizados ao longo das etapas de desenvolvimento de parques eólicos, fabricação dos aerogeradores, transporte e logística, construção, instalação e comissionamento, operação e manutenção dos parques eólicos. Os empregos indiretos, por sua vez, são aqueles decorrentes da demanda derivada do investimento do setor, tais como as necessidades de matéria-prima (aço, cobre, materiais elétricos, eletrônicos e outros) e demais serviços locais (alimentação, alojamento, transporte etc.).

No esforço de estimar o volume e o potencial de criação de empregos no horizonte em questão, utilizou-se da combinação de métodos de avaliação do padrão e da dinâmica de criação de empregos no setor eólico no Brasil e no mundo. Para tanto, foi realizada revisão da literatura técnica e acadêmica, pesquisa estruturada *online* e entrevistas com representantes do setor produtivo.

Em termos quantitativos, ainda foi realizado mapeamento inédito das características gerais da mão de obra, como perfil remuneratório, ocupacional, formação educacional, distribuição regional, gênero e faixa etária. Esse trabalho envolveu o tratamento e o cruzamento entre as bases de dados de empresas da cadeia produtiva com a da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), entre os anos de 2009 e 2018.

Na definição dos empregos indiretos no setor, utilizou-se a matriz insumo-produto atualizada e, para os empregos diretos, foram calculados e atualizados os índices empregos-ano/MW, de forma agregada para o setor e para cada um dos elos da cadeia de valor. A referência básica utilizada para o Brasil foi o estudo pioneiro realizado em 2012 (SIMAS, 2012), além da contribuição de Rutovitz, et al. (2015) e IRENA (2017).

Sabe-se que o desenvolvimento do setor de energias renováveis desperta crescente interesse em todo o mundo e espera-se que a difusão de iniciativas que incentivem a energia renovável e a eficiência energética venham gerar mais de 30 milhões de empregos até 2030, e mais de 40 milhões até 2050 (IRENA, 2020a). Há estimativas de que o setor de renováveis tenha empregado cerca de 11 milhões de pessoas em 2018 em todo o mundo, dentre as quais 1,16 milhões somente no setor eólico (IRENA, 2019).

Os projetos de geração elétrica por meio de fontes renováveis criam empregos em diversas fases/etapas da cadeia de valor eólica. E compreender o potencial de geração de empregos diretos, da sua quantidade, localização, natureza temporal e nível de especialização é crucial para o planejamento do investimento privado e para a elaboração de políticas públicas.

Isso passa pela compreensão das características intrínsecas ao setor, em especial no que se refere aos aspectos históricos, técnicos e econômicos. Envolve também o entendimento da cadeia de valor e dos agentes econômicos que atuam nas distintas etapas de um empreendimento eólico, com especial ênfase ao papel exercido pelas empresas âncoras do setor, os fabricantes de aerogeradores eólicos ou aerogeradores (tipo OEM).

Sabe-se que o uso do vento pela humanidade não é novo e remonta a quase 3 mil anos, mas o aproveitamento econômico e competitivo desse "combustível" gratuito para a geração de energia elétrica foi objeto de recente desenvolvimento tecnológico, se comparado com as tradicionais formas de geração de energia por meio de fontes de origem fóssil e não-renovável. Apenas 40 anos separam a instalação dos primeiros parques eólicos com aerogeradores horizontais de até 30kW, produzidos por fabricantes pioneiros da Dinamarca e Alemanha, dos atuais aerogeradores *offshore* de até 12 MW.

Os principais "ingredientes" da moderna tecnologia eólica envolvem a dotação

natural ou o vento; os aerogeradores e os parques eólicos – primeiro em terra (*onshore*) e, mais recentemente, no mar (*offshore*). Foi a combinação desses elementos que tornou a fonte eólica uma das opções mais competitivas para a geração de energia elétrica.

Todos os avanços competitivos passam pela consideração desses elementos da tecnologia quando se pensa o setor eólico em termos econômicos e financeiros. A tecnologia está madura, e a capacidade instalada no mundo atingiu 650,4 GW em 2019, ano em que foram instaladas mais 60,4 GW de capacidade eólica no mundo.

Pode-se ver a indústria eólica a partir da seguinte perspectiva: por um lado, o mercado chinês e, por outro, o resto do mundo. A China e suas empresas detêm cerca de metade do mercado global. Já as empresas europeias pioneiras instalam fábricas, movimentam uma extensa cadeia de fornecedores e criam empregos e renda em diversas regiões do mundo.

Tanto na China como nos demais países, o sucesso do setor eólico não depende somente da sua dotação natural, mas também do contexto de uma dada estrutura de políticas públicas de incentivo e de regulação (IRENA-GWEC, 2012).

Do ponto de vista microeconômico, a maior parte do CapEx de um projeto eólico está associado aos aerogeradores, cujo percentual fica de 64% a 84% no *onshore* e de 30% a 50% para *offshore*. Os custos da construção civil do parque e

das fundações das torres variam entre 8% e 17%; dos serviços e equipamentos de conexão à rede elétrica, entre 8% e 11%. Há ainda o desenvolvimento do projeto, cujo montante varia entre 9% e 11% e, por último, uma pequena parcela referente ao uso da terra (IRENA, 2020).

Todo o processo de inovação tecnológica para melhoria da competitividade da fonte eólica passou pela redução dos custos e pela melhoria do desempenho dos aerogeradores, expresso por aumento de tamanho e potência nominal. Esses avanços impactaram também o crescimento dos fatores de capacidade, cujo aumento significa mais aproveitamento da potência nominal de um aerogerador para um determinado local.

A competitividade do setor eólico pode ser expressa por meio de alguns índices-síntese, que refletem como a combinação de avanços tecnológicos permitiu reduções expressivas nos custos totais de instalação (produto e processos construtivos), aumento de eficiência técnica (fator de capacidade), reduções nos custos de operação e manutenção (O&M), e uma redução contínua nos custos nivelados (LCOE), se comparados a outras fontes de origem renovável e a fontes não renováveis de origem fóssil, como o carvão.

Espera-se que, entre 2018 e 2030, o custo da energia eólica *onshore* tenha uma redução de até 25% em função dessa tendência histórica, com destaque para inovações em O&M, que incluem monitoramento de dados em tempo real, possibilidade de si-

nergias na gestão de grandes portfólios de aerogeradores e implantação de técnicas de manutenção preditiva, habilitadas pela combinação de tecnologias de Internet das Coisas (IoT), *Big Data Analytics* e computação em nuvem (IRENA, 2020a).

Operar essa tecnologia e essa nova indústria de energia requer uma mão de obra preparada e competente. Competência é um conceito que diz respeito à habilidade ou à capacidade para executar as atividades de um determinado emprego. De forma geral, o exercício de determinada ocupação ou profissão requer adequados níveis de competência e de especialização, compatíveis com a complexidade, abrangência e responsabilidade das atividades desenvolvidas. Requer ainda o domínio da área de conhecimento, da atividade econômica, dos recursos, processos produtivos e tipos de bens e serviços produzidos.

A visão da cadeia de valor é didática para a compreensão da dinâmica de criação dos empregos e das competências necessárias em cada etapa do processo. Por exemplo, o padrão de criação de emprego na fabricação e distribuição de produtos é similar ao de outros setores de bens de capital e, neste sentido, a dinâmica de criação/manutenção de empregos no segmento depende das condições mais gerais de economia, das condições do mercado de energia e da capacidade competitiva de cada empresa em particular.

No caso das etapas de desenvolvimento, construção e instalação de projetos, o padrão é diferente: a dinâmica de criação/

manutenção do emprego depende da existência de um fluxo contínuo ou previsível de novos projetos ou, em outros termos, da inserção contínua de energia renovável nova na matriz elétrica. A construção de parques tem um padrão próximo ao do próprio setor de construção de obras civis e elétricas.

Para ambas as etapas, ciclos de alta e baixa atividade não são desejáveis para as empresas, pois isso implica tanto custos adicionais em gestão de atividades de contratação e treinamento, quanto perda de quadros qualificados entre esses diferentes ciclos para outros setores econômicos com empregos mais estáveis, por exemplo.

O padrão mais estável de emprego local está na etapa de operação e manutenção (O&M), considerando que um parque eólico pode ter uma vida útil de 25 anos ou mais, caso ocorra uma renovação ou repotenciação dos equipamentos. Diferentemente das demais etapas, o emprego nessa etapa é cumulativo, pois a partir da instalação e comissionamento, é necessário empregar novas pessoas para operar e manter esses ativos.

As elevadas inserções de energia eólica em determinadas regiões podem pressionar o mercado de trabalho a oferecer profissionais com os níveis de competência, especialização e experiência requeridos para desempenhar as atividades do setor. Assim, é preciso avaliar, planejar a oferta de mão de obra qualificada em quantidade compatível com o ritmo de inserção de energia nova em regiões ou países específicos.

Fica claro que há uma dinâmica típica para cada elo da cadeia de valor de um projeto eólico, e que os perfis profissionais envolvidos no ciclo de vida desse projeto são diferenciados em função das atividades características em cada segmento/fase.

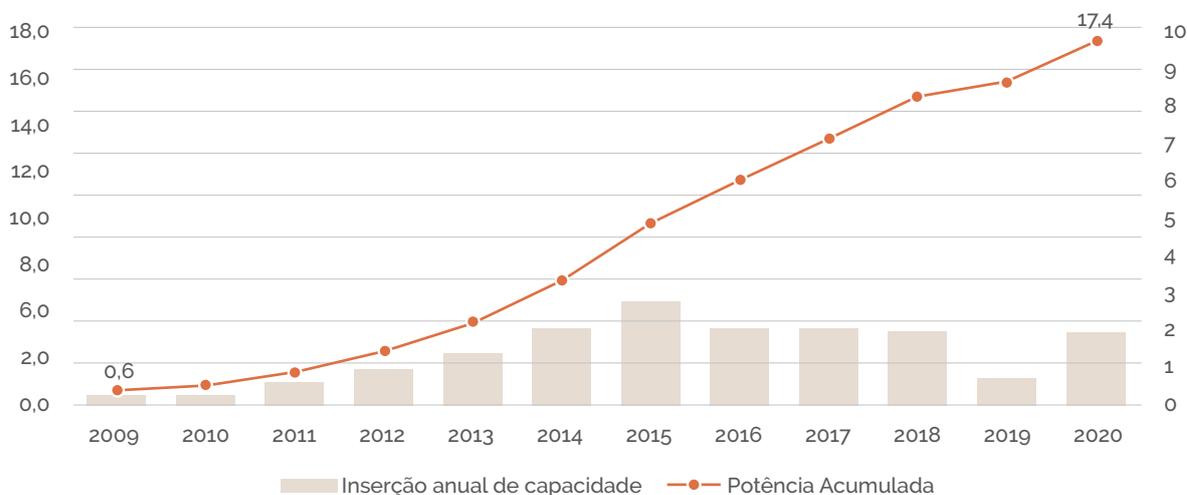
A execução do conjunto de atividades em cada etapa requer diferentes perfis técnicos em termos de educação formal, treinamento, especialização, experiência, e de materiais, ferramentas e equipamentos utilizados no processo de criação de valor que caracteriza cada tipo de ocupação ou profissão.

O Brasil é um dos mais bem-sucedidos casos de inserção da fonte eólica no mundo. E tal sucesso resultou da combinação do aproveitamento de uma dotação natural de recursos eólicos no mundo (expresso por um fator de capacidade ímpar) e da coordenação de políticas públicas de atração de investimentos pioneiros e de consolidação da cadeia produtiva no país.

Apesar de operar desde a década de 1990, foi somente a partir de 2009 que o setor experimentou uma mudança de patamar, quando a introdução de leilões específicos para energia eólica contribuiu para um crescimento aproximadamente três vezes maior em relação a uma situação hipotética de não ocorrência deles (CIVITARESE, 2019).

Em 2011, por exemplo, pela primeira vez em um (1) ano no país, foram instalados mais de 500 MW, conforme os dados de adição de potência eólica no Brasil.

Figura 1 - Inserção anual (MW) e acumulada (GW) de energia eólica de 2009 – 2020¹



Fonte: adaptado pela Cognito a partir da base de dados da ABEEólica - 17/06/2020

A trajetória de sucesso do Brasil no setor eólico – que posicionou e tende a manter o país dentre os líderes mundiais – promoveu um efeito econômico e social importante, que pode ser medido pelos números do setor. Interessa observar que os ventos sopram em favor do setor em médio e longo prazo, conforme as expectativas de investidores e agentes do mercado de energia no país.

A **Tabela 1** a seguir apresenta a distribuição de potência instalada por regiões em 2010 e as estimativas para 2020 e 2024, com grande destaque para os estados do Nordeste, em especial o Rio Grande do Norte e a Bahia, os quais se revezam pontualmente no ranking dos maiores produtores de energia da fonte eólica no país.

Tabela 1 - Potência nominal instalada/a instalar² de geração eólica por região, em MW

Região	2010	2020	2024	Participação, em 2024
NE	724	15.302	23.139	91,9%
S	176	2.023	2.023	8,0%
SE	28	28	28	0,1%
Total	928	17.353	25.190	100,0%

Fonte: adaptado pela Cognito a partir da base de dados da ABEEólica - 17/06/2020

O arranjo de políticas públicas que contribuíram para o sucesso do setor eólico no Brasil foi além dos leilões específicos. Entendido como um mecanismo de indução à demanda, envolveu também a combinação de medidas de política energética e industrial, tais como financiamento público

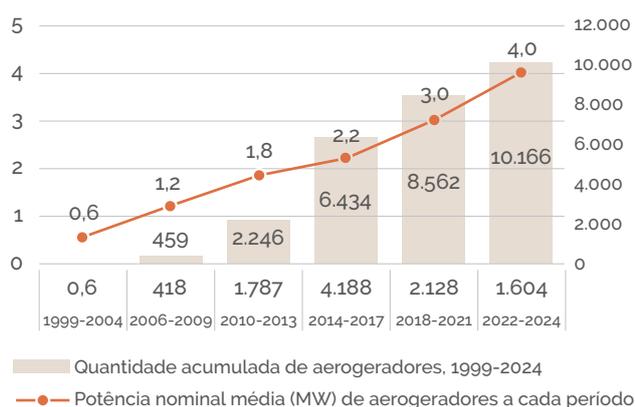
1. Estimativa para o final do ano de 2020w.

2. Situação dos parques: "operação", "construção", "contratado" e "teste".

ao investimento em parques eólicos e regras de localização de produção. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) é responsável por mais de 90% do investimento histórico no setor.

Com aproximadamente 80% de nacionalização na fabricação de aerogeradores, a indústria será novamente desafiada a partir do início do processo de credenciamento pelas empresas âncoras da cadeia da nova geração de aerogeradores de grande porte junto ao Finame-BNDES.

Figura 2 - Perfil dos parques eólicos brasileiros³ em termos de potência nominal média² e quantidade acumulada de aerogeradores, 1999-2024, em MW.



Fonte: adaptado pela Cognitio a partir da base de dados da ABEEólica - 17/06/2020

O novo normativo mantém o papel do BNDES no fomento ao desenvolvimento

da cadeia produtiva ao longo do tempo, buscando internalizar produtos de maior complexidade, incorporar gradativamente componentes importados e permitir a adaptação aos processos produtivos. O espírito desse instrumento, discutido com representantes do setor privado, leva em conta as barreiras técnicas e econômicas para o investimento e/ou criação de novas linhas de negócios destinadas à produção de componentes do setor eólico para empresas já existentes no país.

É consenso, contudo, que esse mecanismo de financiamento, associado com a nacionalização de equipamentos, deverá continuar desempenhando um papel relevante em médio e longo prazo, mesmo no momento de transição para novos modelos de aerogeradores dos fabricantes.

Esses modelos vão alterar a paisagem dos novos parques eólicos do Brasil. O retrato já visível de um futuro próximo leva em consideração o padrão dos aerogeradores, em termos de potência nominal média (MW), entre 1999 e 2024. Máquinas com quase 6 MW já estão em credenciamento, e pás acima de 70 metros serão comuns nos próximos projetos, conforme se observa na **Tabela 2**.

3. Situação dos parques: "operação", "construção", "contratado" e "teste"; (2) potência nominal mínima e máxima observada no conjunto de aerogeradores instalados no país: 0,5 e 4,3. Nota: em 2005, não houve instalação de parques eólicos no país.

Tabela 2 - O novo padrão tecnológico de aerogeradores em curso no Brasil

Fabricante	Modelo – Potência (MW) ⁴	Pás eólicas (m)	Altura Rotor (m)	Capacidade produtiva ⁵	
				MW	Unidades
Nordex-Acciona	- AW3465-132 - (3,47) - Delta 4000 N163/5X - (5,0)	72,4	164	600	120
GE	- GE 2,7-116 - (2,7) - GE 5,5-158 (5,5)	77	101-161	1.000	300
SGRE	- SG 132 - (3,75) - SG 155 - (5,8)	77,5	90-165	1.000	300
Vestas	- V150 - (4,2)	73,7	125	840	200
WEG	- AGW110 (2,2) - AGW147 (4,0)	73,5	125	500	120
Wobben ⁶	- E-92 (2,35)	46	78-138	575	250
				4.515	1.290

Fonte: elaborado pela Cognito, a partir de (ABDI, 2018) e prospectos dos equipamentos das empresas

Em termos de desafios para o futuro do setor no Brasil, estão a logística, a modernização, o ambiente de investimento, a perspectiva da produção *offshore*, o crescimento da inserção da fonte e a capacidade do sistema de formação e treinamento para atender à crescente necessidade de mão de obra qualificada.

Entre os/as 38 respondentes de questão específica no questionário *online*, 74% consideram que teremos nossos primeiros parques eólicos *offshore* em até 9 anos. Outros 26% acham que o prazo será maior, acima de 9 anos, sem especificar o tempo.

Sabe-se que os problemas parcialmente superados na logística já mudaram o patamar de desafios, a partir da necessidade de transporte de aerogeradores cada vez maiores, mantendo os executivos de

logística dos fabricantes muito ocupados durante o dia, e ainda mais preocupados durante a noite.

A modernização do setor passa pela abertura de capital de um dos principais fabricantes de pás eólicas (Aeris), pelo processo de venda de ativos e de reestruturação de um dos mais tradicionais fabricantes de aerogeradores do país (Enercon-Wobben) e, ainda, pela consolidação de um grupo de cinco concorrentes no mercado de grandes aerogeradores. Assim, Vestas, SGRE, GE, Nordex-Acciona e WEG manifestam-se com otimismo frente ao futuro do setor no Brasil.

Em termos de investimento, é consenso entre diversos executivos de desenvolvimento de projetos, de geradores e gestores de fundos de investimentos que o

4. Geração atual e nova geração, sempre o de maior capacidade.

5. Dados de modelos, características e capacidade produtiva em unidades e potência estimados com base em dados públicos e relatos pessoais.

6. Empresa ainda não deu início ao registro de novo modelo de equipamento no cadastro do Finame-BNDES.

mercado livre é importante para o futuro do setor. Grande parte do investimento anual previsto até 2030 – da ordem de R\$ 7 bilhões anuais, num total de quase R\$ 270 bilhões – serão viabilizados caso as projeções iniciais de crescimento se concretizem (GOITIA, 2020).

Quadro 1 - Participação de mercado em MW no Brasil para o fim de 2020⁷

Empresas	Potência Instalada (MW)	Número de Aero-geradores	Participação
GE Renewable Energy	5.890	2.902	34%
SGRE	3.722	1.731	21%
Vestas	2.091	866	12%
Nordex-Acciona	1.982	665	11%
Wobben	1.716	943	10%
Suzlon ⁸	732	357	4%
WEG	647	305	4%
Impsa ⁹	439	292	3%
Sinovel ⁹	35	23	0%
Outra	100	28	1%
Total	17.354	8.112	100%

Fonte: adaptado pela Cognitio a partir da base de dados da ABEEólica - 17/06/2020

Nos últimos anos, em média, mais de 60% dos projetos desenvolvidos foram contratados em ambiente regulado. Esse dado deriva das respostas de doze executivos/as que se identificaram como desenvolvedores/as de projetos eólicos ao questionário *online*. Eles/elas também afirmaram que 80% dos projetos futuros serão direcionados para contratação no mercado livre.

Sobre eventos/condições de mercado que geram a necessidade de contratação de novos colaboradores/as, em determinado grupo de respondentes, mais de 40% afirmaram que as possibilidades de expansão do mercado livre eram importantes ou extremamente importantes para essa tomada de decisão. Se incluídos aqueles que responderam que é moderadamente importante, o percentual sobe para 80%.

A contratação de mão de obra qualificada requer um sistema educacional e de capacitação técnica alinhado com as tendências do mercado de trabalho do setor eólico. Do ponto de vista institucional, o sistema de formação e qualificação de mão de obra técnica ainda requer aperfeiçoamentos, apesar de ter havido melhoria na qualificação para a área, decorrente do avanço no conhecimento das necessidades de capacitação.

Cabe destacar o trabalho pioneiro de elaboração de currículos formativos na área eólica pelo Departamento Nacional do SENAI em parceria com o setor privado, cuja última atualização ocorreu em 2018, e que é revisto a cada 5 anos. Outro trabalho relevante é feito pela Setec-MEC em relação ao programa EnergIF. Apesar da percepção das instituições de ensino de que o intercâmbio de conhecimento e de práticas com a indústria pode melhorar, sabe-se que o SENAI tem sido exitoso no desenvolvimento de diversos cursos em parceria com a indústria em todo o país.

7. Situação dos parques: "construção", "contratado", "operação" e "teste".

8. Base de dados não identifica a empresa fabricante com 100 MW e 28 aerogeradores.

9. Essas empresas não fabricam mais no país.

A elaboração desses itinerários formativos para diferentes áreas de energias renováveis e eficiência energética, por exemplo, foi um importante insumo, tanto para a criação de cursos nas escolas técnicas federais e no SENAI, quanto para a recente atualização do Catálogo Nacional de Cursos Técnicos (CNTC), cujos treinamentos de nível médio habilitam seus alunos para o exercício profissional.

Quadro 2 - Cursos técnicos reconhecidos pelo MEC no eixo tecnológico "Controle e Processos Industriais"

Segmento da cadeia de valor eólica	Nome dos cursos técnicos ¹⁰
Desenvolvimento de projetos	Sistemas de Energia Renovável
Fabricação	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação Mecânica • Ferramentaria • Fundição • Instrumentação Industrial • Mecânica de Precisão • Metrologia
Fabricação / O&M	<ul style="list-style-type: none"> • Automação Industrial • Eletroeletrônica • Eletrônica • Eletrotécnica • Mecânica • Mecatrônica

Fonte: adaptado pela Cognito, a partir de MEC/ Setec (2020)

O CNTC descreve mais de 200 cursos técnicos, organizados em 13 eixos tecnológicos. Considerando as especificidades das atividades do setor eólico e a importância do pacote de conversão eletromecânica – que envolve conhecimento intensivo em tecnologias elétrica e eletrônica, de controle e automação, de novos materiais e da engenharia mecânica – o eixo tecnológico "Controle e Processos Industriais" é o que contém maior quantidade de opções associadas ao setor.

No processo de identificação das condicionantes da geração de empregos no setor eólico no Brasil, o exercício realizado de forma inédita com a RAIS nos permitiu fazer um retrato bastante aproximado da realidade.

Estudos apontam que o número de engenheiros/as por empresa é uma proxy importante para as capacidades de inovação das empresas. Indicam também que a correlação do pessoal ocupado em atividades técnico-científicas (em sua imensa maioria engenheiros/as) com o investimento em pesquisa e desenvolvimento é de 91% (ARAÚJO, CAVALCANTE e ALVES, 2009).

Tabela 3 - Número de empresas, número de empregados/as e engenheiros/as nas empresas do segmento eólico: 2009-2018

Ano	Número de empresas	Número médio de empregados/as	Engenheiros/as por empresa	% de engenheiros/as do total de empregados/as
2009	171	65,8	6,1	9,2%
2010	179	65,1	5,9	9,1%
2011	190	67,5	6,3	9,3%
2012	205	71,1	6,2	8,7%
2013	213	74,3	6,5	8,8%
2014	226	74,0	6,8	9,2%
2015	233	79,7	7,2	9,0%
2016	237	70,8	6,6	9,3%
2017	241	74,7	6,4	8,6%
2018	237	72,4	6,2	8,6%

Fonte: elaborado pela Cognito, a partir de análise própria da RAIS de empresas do setor

10. Para o eixo "controle e processos industriais".

Considerando o tamanho médio das empresas de 71,5 empregados/as durante o período, a percentagem média de praticamente 9% de engenheiros/as no setor eólico é considerada alta para os padrões brasileiros, considerando que o número equivalente para a indústria como um todo, em 2018, foi de 1,26%.

Quanto ao perfil educacional, além de um alto percentual de engenheiros/as, os/as funcionários/as possuem principalmente ensino médio (56%), devido à importância do ensino técnico profissionalizante na força de trabalho. O salário médio passou de R\$ 7.049,00, em 2009, para R\$ 6.630,00, em 2018, com uma média de R\$ 6.816,00. Além disso, as empresas do setor empregam funcionários majoritariamente do gênero masculino (83% deles).

Dentre o conjunto de empresas que atua total ou parcialmente no setor, destaca-se grupo de 14 empresas dedicadas exclusivamente à fabricação de pás, torres e nacelles ou serviços extremamente especializados, que mostram que essas empresas são ligeiramente menores e pagam melhores salários. O menor tempo de firma se explica porque há empresas multinacionais recém-chegadas ao Brasil que são bastante relevantes nesse grupo.

A menor percentagem de empregados/as com 3º grau completo e em ocupações

técnico-científicas – entre elas, os/as engenheiros/as – se explica por um provável perfil de operação no Brasil baseado em mão de obra técnico-operacional, mais voltado à exigência do ensino profissionalizante, e que conta com tecnologia importada e de padrão internacional.

Tabela 4 - Perfil da mão de obra: principais empresas¹¹ vs. demais empresas do setor eólico 2018

Item/Empresas	14 principais	Demais empresas
Número médio de empregados	468,8	476,6
Tempo de emprego (meses)	34,2	61,6
Número de empregados/as com 3º grau	148,1	196,4
% dos empregados/as	32,6%	41,2%
Remuneração média	R\$ 8.470,06	R\$ 6.599,67
Empregados/as em ocupações técnico-científicas ¹²	28,0	49,6
% dos empregados/as	6,0%	10,4%

Fonte: elaborado pela Cognito, a partir de análise própria da RAIS de empresas do setor

A parte final do trabalho buscou estimar o número de empregos por meio dos índices de empregos-ano/MW, a partir das projeções de capacidade da fonte, para os anos 2030, 2034 e 2038, período considerado cenário de referência para este estudo, conforme a **Tabela 5**.

Outros dois cenários serão desenvolvidos a partir de análises de sensibilidade associadas

11. Nessa comparação, foram recuperados os pesos originais para essas empresas; 2 - ocupações técnico científicas englobam engenheiros/as, cientistas e pesquisadores/as, mas são, na prática, majoritariamente engenheiros/as.

12. Dois efeitos podem explicar essa redução: entrada de novas firmas (dado que as empresas pioneiras tendem a ser maiores e mais inovativas), além da própria crise no Brasil e no setor entre 2015 e 2018.

com variações na (i) produtividade (tecnologia); e, (ii) conteúdo local. O primeiro, para avaliar os efeitos e o impacto das mudanças tecnológicas (tamanho crescente dos equipa-

mentos) e, o segundo, para eventuais alterações no índice de nacionalização da cadeia produtiva eólica sobre o quantitativo da mão de obra ao longo do cenário proposto.

Tabela 5 - Características do cenário de referência (valores em MW)

Item	Valor de Referência	Potência adicional	Cenário Base GIZ	Crescimento Anual Médio	Taxa anual de crescimento
Matriz 1 [2030] PDE 2026	28.470	18.200	46.670	4.550	13,15%
Matriz 2 [2034] Matriz 1	46.670	14.300	60.970	3.575	6,91%
Matriz 3 [2038] Matriz 2	60.970	9.200	70.170	2.300	3,58%
Média 2016-2038					9,25%

Fonte: elaborado pela Cognitio, análise própria do cenário proposto e do PDE 2026 (BRASIL, 2017)

Em relação a alguns eventos ao longo desse período, as estimativas levam em consideração que:

- apesar da avaliação inicial, a pandemia não afetou seriamente os investimentos no setor eólico ou o consumo de energia no país. Assim, entende-se que, nos médio e longo prazos, os efeitos da pandemia de Covid-19 serão minimizados, considerando as análises recentes em EPE (2020) e PNE 2050;
- a projeção não levará em conta a eventual inserção de potência nominal por meio de parques eólicos *offshore* no período indicado;
- as ocorrências de eventos de descomissionamento, seja por meio de desativação ou repotenciação de aerogeradores, não serão consideradas no período em análise.

O cenário de referência vai incluir o emprego direto criado em todas as etapas, de acordo com o padrão e a dinâmica própria de cada uma: desenvolvimento, fabricação, transporte, construção e instalação, operação e manutenção, bem como dos empregos indiretos, da seguinte forma:

- serão aplicados os índices de empregos gerados por ano por unidade em MW típicos de forma desagregada (por elo ou etapa) para o cálculo dos empregos diretos;
- será aplicado do índice de criação de empregos indiretos, o qual, somado aos empregos diretos, vai compor o número total de empregos gerados no período.

Os resultados do cálculo dos empregos diretos e indiretos do cenário de referência indicam que serão gerados 10,08 empregos-ano/MW de forma direta e 4,91 empregos-ano/MW de forma indireta ou induzida, conforme **Tabela 6**.

Tabela 6 - Índices de referência e índice final de empregos-ano/MW MW

Etapa/ Referência	Simas (2012)	Rutovitz (2015)	Irena (2017)	Cognitio	Índice Final Empregos-ano/MW
Desenvolvimento	-	-	0,25	0,17	0,19
Fabricação	3,46	4,70	1,81	3,87	3,87
Logística e Transporte	0,19	-	0,083	-	0,29
Construção	7,51	3,20	3,31	5,35	5,36
Operação e Manutenção (O&M)	0,57	0,30	0,25	0,27	0,36
Total	11,73	8,20	5,71	9,67	10,08

Fonte: elaborado pela Cognitio

O racional da elaboração pode ser acessado no item 5.5.2, além da tabela com o cenário completo no Anexo 8.8. A **Tabela 7**

apresenta um resumo da projeção para o estudo, seguida pela **Figura 3**, que mostra a projeção dos empregos de 2020 a 2038.

Tabela 7 - Tabela resumo da projeção dos empregos em 2019, 2030, 2034 e 2038

Itens/Ano	2019	2030	2034	2038	Acumulado
Capacidade instalada total (MW)	17.646	46.670	60.970	70.170	
Capacidade instalada anual (MW)	2.048	2.818	3.575	2.300	
Empregos Diretos	26.202	44.047	56.508	47.402	840.758
Desenvolvimento do projeto eólico	389	535	679	437	10.369
Fabricação do aerogerador	7.935	10.918	13.851	8.911	211.436
Logística e transporte	594	817	1.037	667	15.826
Construção e Instalação	10.984	15.114	19.175	12.336	292.694
Operação e manutenção (O&M)	6.300	16.661	21.766	25.051	310.433
Empregos Indiretos e induzidos	10.056	13.836	17.553	11.293	267.946
Total de empregos	36.258	57.883	74.061	58.695	1.108.704
Empregos Acumulados	36.258	590.262	878.850	1.108.704	

Fonte: elaborado pela Cognitio

Em termos regionais, o padrão de localização dos empregos depende do elo da cadeia de valor onde eles são criados. Em função dessas diferenças na dinâmica de criação de empregos ao longo da cadeia de valor do setor eólico, a mudança mais significativa que deverá ocorrer em médio e longo prazo, em termos regionais, será

uma concentração cada maior dos empregos nas atividades de O&M.

Nesse sentido, o crescimento contínuo de técnicos para a área de O&M deverá requerer um maior esforço de formação, capacitação e treinamento técnico, se comparada com as demais áreas. Esses

números são fundamentais para o planejamento das organizações envolvidas com formação profissional de nível superior e técnica.

Tabela 8 - Empregos diretos por região para o cenário de referência proposto

Elo da Cadeia / Ano	2030	2034	2038
Desenvolvimento	214	272	175
Fabricação	6.600	8.449	5.436
Construção e Instalação	12.374	12.336	12.336
Operação e Manutenção (O&M)	14.607	17.824	21.108
Sub-Total Nordeste	33.866	38.881	39.054
Desenvolvimento	214	272	175
Fabricação	3.712	4.709	3.030
Construção e Instalação	0	536	0
Operação e Manutenção (O&M)	11	162	162
Sub-Total Sudeste	3.937	5.679	3.367
Desenvolvimento	107	136	87
Fabricação	546	693	446
Construção e Instalação	2.741	6.302	0
Operação e Manutenção (O&M)	2.043	3.781	3.781
Sub-Total Sul	5.437	10.911	4.314
Logística e Transporte	817	1.037	667
Total Geral Empregos Diretos	44.047	56.508	47.402

Fonte: elaborado pela Cognitio

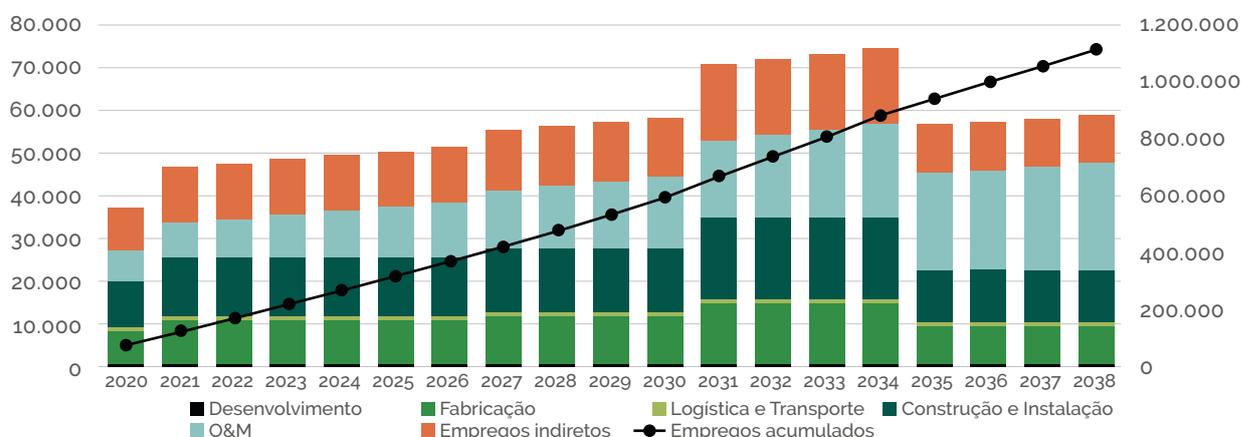
Dado o padrão salarial observado e o nível de qualificação requerido, o setor eólico deverá representar uma opção de trabalho importante, em especial para o Nordeste, região onde será criado o maior volume em termos absolutos de empregos estáveis e temporários, como é o caso daqueles da O&M e da construção de parques eólicos.

As empresas localizadas no Nordeste do país – fabricantes de pás eólicas e de torres (aço ou concreto), além de quatro (4) dos principais fabricantes OEM – empregam uma quantidade significativa de mão de obra também na fabricação, área com a menor concentração de empresas.

É possível que muitos empreendimentos fabris no futuro venham a ser localizados no Nordeste em função da proximidade com a localização dos novos parques eólicos e as crescentes dificuldades logísticas decorrentes dos novos aerogeradores.

O setor poderá ganhar relevância como um dos principais empregadores industriais do Nordeste, mesmo em cenários que considerem ganhos de produtividade decorrentes de novas tecnologias ou de eventuais variações nos índices de nacionalização.

Figura 3 - Evolução do emprego para o período 2020 a 2038 por elo da cadeia de valor eólica



Fonte: elaborado pela Cognito

O cenário de ganho de produtividade decorrente de fator tecnológico utilizou-se de redução percentual de índice de emprego em base anual, com projeções de 6,0%, 10% e 15%. Os exercícios realizados com os cenários completos podem ser vistos nos Anexos 8.g; 8.10 e 8.11.

Em termos absolutos, no período de 2030-2038, a depender do fator de tecnologia utilizado, a redução por ano dos empregos na área de O&M poderá variar de 1.000 até quase 4.000 empregos e, no acumulado, de mais de 8.000 até quase 50.000 empregos.

Importante ressaltar que, de acordo com a pesquisa realizada, a maioria dos/as respondentes não concorda que as mudanças tecnológicas associadas ao tamanho dos aerogeradores devem afetar negativamente a dinâmica de criação de empregos.

Em grande parte, isso faz sentido de forma exemplar para o caso do transporte, da fabricação e, possivelmente, da construção e instalação. Entretanto, muitos especialistas entendem que a área de O&M será impactada fortemente pelas mudanças, que resultarão em menor quantidade de aerogeradores por área nos parques eólicos.

Tabela 9 - Quadro-resumo do impacto tecnológico na geração de empregos

Ano	Fator de Tecnologia	Total de Empregos	O&M	Perda de Emprego
2030	6%	582.076	-1.005	-8.186
	10%	576.687	-1.666	-13.575
	15%	569.900	-2.499	-20.362
2034	6%	865.876	-1.313	-12.974
	10%	857.334	-2.177	-21.516
	15%	846.576	-3.265	-32.273
2038	6%	1.089.985	-1.511	-18.719
	10%	1.077.661	-2.505	-31.043
	15%	1.062.139	-3.758	-46.565

Fonte: elaborado pela Cognito

Também foi realizado um exercício com variações nos índices de nacionalização para identificar os eventuais impactos nos empregos no acumulado e para os anos 2030, 2034 e 2038. Assim, foram elaborados três cenários, ou casos associados com a capacidade produtiva nacional de fabricação de aerogeradores, e eventual impacto nos empregos:

- **Caso 1** – cenário excessivamente pessimista, com perda estimada de 50%;
- **Caso 2** – cenário pessimista, com perda estimada de 12,5%;
- **Caso 3** – cenário otimista, com ampliação de 6,25%.

Tabela 10 - Quadro-resumo dos parâmetros de variações no índice de nacionalização

Período	Caso 1	Caso 2	Caso 3
2030	- 5.459	- 1.365	682
2034	- 6.926	- 1.731	866
2038	- 4.456	-1.114	557
Total Acumulado 2019-2038	- 105.718	- 26.430	13.215

Fonte: elaborado pela Cognito

De qualquer modo, os cenários apresentados apontam que, em termos acumulados, no período de 2019-2038, no caso mais pessimista, podem ser perdidos mais de 100 mil empregos; no caso intermediário, cerca de 25.000 empregos; e, no otimista, pode haver o ganho de quase 15.000 empregos. Em termos de perdas anuais, para os anos do cenário, elas variam entre 1.000 e 7.000 empregos perdidos na área de fabricação.

Com aproximadamente 80% de nacionalização, não há indícios em curto prazo de que esse índice seja reduzido abruptamente, tendo em vista que o novo regulamento de credenciamento do Finame-BNDES com regras de nacionalização negociadas com a indústria tem prazo de adequação dos fabricantes até o início de 2022.

Mas, em médio e longo prazo, eventuais ajustes poderão ampliar ou reduzir os empregos nos segmentos de produtos tradeables do setor, como a fabricação de equipamentos.

13. Os exercícios realizados com os cenários completos podem ser vistos nos Anexos 8.12; 8.13; e 8.14.

1. Introdução

Considerando a esperada inserção em larga escala das fontes de energias renováveis na matriz elétrica nacional, este estudo caracteriza, qualifica e estima a demanda futura por mão de obra especializada para atender a expectativa de aumento substancial por serviços associados à geração de energia pela fonte eólica.

Nele, são consideradas estimativas para três matrizes de geração de energia:

- **Matriz 1** – ano 2030: Eólica:
PDE 2026 + 18,2 GW;=-
- **Matriz 2** – ano 2034: Eólica:
Matriz 1 + 14,3 GW;
- **Matriz 3** – ano 2038: Eólica:
Matriz 2 + 9,2 GW.

As referências para cada uma das matrizes no tempo estão associadas com estimativas de crescimento da economia e o consequente aumento da demanda por energia elétrica.

Espera-se que a inserção da fonte eólica centralizada no Brasil obedeça a seguinte distribuição regional:

Tabela 11 - Cenário de Referência de inserção de potência (GW) por período e região

Região	2030	2034	2028
SE	-	0,4	-
NE	14,9	9,2	9,2
S	3,3	4,7	-
Total	18,2	14,3	9,2

Esse estudo está organizado em oito (8) seções, incluindo resumo executivo, introdução e outras seis (6) partes. A próxima seção é dedicada à proposta metodológica e à maneira como os resultados serão obtidos.

A **Seção 3** traça um panorama amplo do setor eólico, tratando de igual modo aspectos do desenvolvimento histórico, tecnológico, econômico e socioeconômico, com especial ênfase à questão do emprego. A seção apresenta o conceito de emprego e perfil profissional, a partir da abordagem de competências proposta pela Organização Internacional do Trabalho (OIT). Nessa parte, também é delineada a importância do setor para a geração de empregos e outros impactos socioeconômicos, com grande destaque para o padrão e a dinâmica da criação de empregos em cada elo da cadeia de valor de geração eólica.

A **Seção 4** traz uma análise do setor no Brasil. Além contextualizar brevemente o processo de evolução nos últimos 20 anos, apresenta as perspectivas e a agenda futura do setor, em especial no tocante a assuntos que podem, em maior ou menor grau, afetar a dinâmica de criação de empregos no período de análise. A avaliação engloba também o novo padrão tecnológico e as eventuais variações no índice de nacionalização da cadeia produtiva. Por fim, essa seção propõe um exercício de reflexão sobre as capacidades institucionais do país para atender às

demandas futuras de formação, qualificação e treinamento da mão de obra que será necessária para atender o mercado em médio e longo prazo.

A **Seção 5** apresenta o resultado do esforço realizado por meio de pesquisa bibliográfica, pesquisa estruturada, entrevistas, tratamento de bases de dados e o processo necessário para estimar os índices de empregos-ano/MW para o país, a partir da inserção de carga estimada para as matrizes dos anos de 2030, 2034 e 2038. Foram considerados também

cenários que mostram as variações nos empregos a partir de ganhos tecnológicos e de eventuais variações nos índices de nacionalização.

Importa ressaltar que uma eventual retração econômica, decorrente do impacto da Covid-19, poderá comprometer as estimativas iniciais e deslocá-las no tempo.

A **Seção 6** apresenta as conclusões e principais recomendações, e é seguida pelas referências bibliográficas (**Seção 7**), e por um conjunto de anexos (**Seção 8**).

2. Proposta Metodológica

A estimativa do volume e do potencial de criação de empregos no horizonte de curto, médio e longo prazo (de 2019 a 2038) – tanto em âmbito regional quanto ao longo da cadeia de valor de geração de energia eólica – foi realizada por meio da combinação de métodos de avaliação do padrão e da dinâmica de criação de empregos no setor eólico no Brasil e no mundo. O mesmo procedimento foi utilizado para fazer a descrição geral das qualificações necessárias e eventuais lacunas de capacitação

Primeiramente, realizou-se revisão bibliográfica da literatura técnica e acadêmica sobre o tema. Tal esforço foi importante para a comparação dos resultados obtidos e a definição de índices de empregos e, ainda, para avaliar efeitos e impactos de diferentes aspectos tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais no Brasil na construção dos cenários de geração de empregos no setor eólico.

Dentre os aspectos tecnológicos, os principais elementos dizem respeito à crescente inserção da geração eólica *offshore*, ao aumento contínuo do tamanho dos equipa-

mentos, à difusão de tecnologias digitais¹⁴ para monitoramento remoto de aerogeradores e parques eólicos (EPE, 2018) e (WISER e BOLINGER, 2018); (IEA, 2019); (BRASIL, 2020).

Também foi realizada pesquisa estruturada com representantes do setor produtivo dos diferentes segmentos de negócios da cadeia de valor de geração eólica. A partir do apoio institucional das principais associações do setor eólico no Brasil, buscou-se obter dados primários relativos à criação de empregos em projetos eólicos realizados no país que, complementados com informações disponíveis em bases públicas, permitem uma boa delimitação dos limites e do potencial de criação de empregos no setor.

O racional do questionário *online* criado para a pesquisa envolveu questões gerais¹⁵ para todas as empresas respondentes e outras específicas para atender padrão e dinâmicas de criação de empregos características de cada segmento de empreendimentos eólicos.

Em particular, foi aplicado questionário customizado para os fabricantes de aéro-

14. A "energia eólica 4.0".

15. Tais como: (i) características gerais da empresa; (ii) pessoas e organização; (iii) estratégias de negócios; e, (iv) mudanças tecnológicas.

geradores¹⁶ (OEM), dado seu papel de empresas-âncoras do setor e sua interveniência ao longo de todo o ciclo de vida de um projeto eólico, passando pela interlocução técnica e comercial com os desenvolvedores, aquisições (internas e importações), fabricação, transporte e logística, instalação, comissionamento e O&M.

Também foram realizadas entrevistas¹⁷ com executivos e representantes de empresas de todos os segmentos, de modo a obter informações qualitativas da cadeia de valor eólica e dos empregos no setor, associados com projetos típicos. Estas entrevistas foram importantes em função do conhecimento desses especialistas sobre o mercado, estrutura e qualificação técnica do setor e, ainda, para balizamento das premissas técnicas associadas com a projeção futura da mão de obra especializada.

O presente estudo também se utilizou de abordagem censitária tentativa¹⁸, por meio da unificação de cadastros de empresas do setor de diferentes fontes, e, a partir disso, localizou informações em bases de dados oficiais para o cálculo dos empregos diretos. As bases utilizadas foram o mapeamento da cadeia produtiva – realizado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) em 2014 –, sua atualização em 2018 e uma lista de empresas fornecida pela ABEEólica. A essa lista, foram acrescentados os registros no Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ), com

a Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), entre os anos de 2009 e 2018.

De acordo com nosso conhecimento, essa abordagem é inédita no mundo. O cruzamento com a RAIS não apenas permite calcular uma referência inicial para o número de empregos diretos, mas possibilita mapear as características gerais da mão de obra, tais como perfil remuneratório e ocupacional, formação educacional, distribuição regional, gênero e faixa etária.

O conceito de empresa utilizado é o de CNPJ a 8 dígitos, ou seja, engloba todas as filiais da empresa; e o conceito de empregado é o empregado-ano. Um emprego-ano é uma medida equivalente a um posto de trabalho em um ano civil cheio. Essa medida é conveniente porque há muitos empregos temporários no segmento. Por exemplo, uma atividade que gera um emprego durante 3 meses, gera 0,25 emprego-ano. É preciso ressaltar que as empresas participantes da cadeia do setor eólico fornecem partes e componentes para outros segmentos industriais.

Desse modo, para as empresas tipicamente dedicadas ao setor eólico, 100% dos empregados foram alocados na contagem (por meio de um índice 1) – como é o caso dos fabricantes de aerogeradores, de torres e pás eólicas. Para o fabricante nacional WEG, em função da sua natureza multissetorial, utilizou-se o percentual de ajuste específico

16. Da seguinte forma: (i) estratégia e vendas; (ii) pessoas e organização; (iii) aquisições e desenvolvimento de fornecedores; (iv) transporte e logística; e, (v) serviços de O&M.

17. Em geral, realizadas de forma remota em função do contexto da pandemia da Covid-19.

18. A expressão "tentativa" se aplica, pois houve muita dificuldade em obter retorno significativo das empresas, provavelmente em função do período da pesquisa que aconteceu durante a pandemia do Covid-19, um momento atípico em termos de funcionamento da economia.

informado pela própria empresa. Para as demais empresas fornecedoras da cadeia, também foram considerados os percentuais informados na pesquisa *online* e, quando não disponíveis, o percentual utilizado foi aquele associado com a participação aproximada da fonte eólica no setor elétrico, ou seja, o percentual de 10%, ou índice de ajuste igual a 0,1. Avaliou-se que o índice se mostrou adequado.

O estudo também se utilizou de uma matriz insumo-produto na definição dos empregos indiretos no setor. Uma das primeiras aplicações dessa técnica, por exemplo, foi a identificação de impactos sobre a produção e o emprego nos diferentes setores da economia, em função de processos de mudança estrutural (GUILHOTO, 2011). Vários são os exercícios e tutoriais existentes para orientar o correto uso da técnica (GRIJÓ e BÊRNI, 2006) e (BATISTA, 2020).

A elaboração da matriz insumo-produto tem sido uma técnica bastante utilizada para a estimativa de empregos indiretos na cadeia de valor eólica, considerando índices técnicos de fabricação (BLANCO, GARRAD, et al., 2009); (RUTOVITZ e ATHERTON, 2009); (EPRI, 2013); (RUTOVITZ, 2015) (CAMERON e ZWAAN, 2015); (JENNICHES, 2018). Para o setor eólico brasileiro, cabe ressaltar o trabalho pioneiro de Simas (2012), que tomou como referência a matriz insumo-produto 2005 para o cálculo dos empregos indiretos. Neste estudo, utiliza-se a matriz atualizada de 2015, que conta com mais setores (67), além de, naturalmente, conter coeficientes e preços mais atuais.

Naquele trabalho, a autora mapeou barreiras ao crescimento da energia eólica no Brasil, identificadas pelas empresas, bem como gargalos de mão de obra e qualificação. Do ponto de vista quantitativo, a autora combinou uma metodologia de análise de ciclo de vida de um parque eólico com uma análise do tipo insumo-produto, a fim de calcular um índice de empregos-ano/MW. Esse método é utilizado como referência para a América Latina por Rutovitz et al. (2015).

O trabalho de Simas (2012), tomado como referência básica, considera como empregos diretos na geração eólica as etapas de fabricação dos aerogeradores, transporte e logística, construção, instalação e comissionamento, operação e manutenção dos parques eólicos. Esse recorte foi feito a partir de uma extensa revisão de literatura (SIMAS, 2012). O volume total de empregos foi levantado a partir de entrevistas diretas junto aos fabricantes de nacelles, pás e torres, empresas de construção e de transporte.

Assim, por exemplo, se essas empresas, em conjunto, geraram 10.000 empregos-ano em suas atividades, e foram instalados 500 MW de energia eólica no país, o índice será de 20 empregos-ano/MW.

1. Já os empregos indiretos, no estudo de Simas, foram aqueles induzidos ao longo da cadeia de suprimento, a partir dos multiplicadores de emprego da matriz insumo-produto ampliada de 2005. A expansão dos 500 MW do exemplo acima demandou uma determinada quan-

tidade de aerogeradores (compostos por conjuntos de naceles, pás e torres) que, por sua vez, demandaram uma certa quantidade de aço, cobre, materiais elétricos, eletrônicos e outros. De posse dos preços dos principais insumos, é possível calcular a indução da demanda e, a partir dos multiplicadores de em-

prego, calcular os empregos indiretos e induzidos por essa demanda.

Desse modo, os empregos diretos, indiretos e totais por MW de referência estão na **Tabela 12**, discriminados por torres do aerogerador de aço ou concreto, conforme proposto pela autora.

Tabela 12 - Índices de empregos diretos, indiretos e totais, em empregos-ano/MW

	Torre de aço			Torre de concreto		
	Direto	Indireto	Total	Direto	Indireto	Total
Fabricação – Nacele	0,91	0,39	1,30	0,91	0,39	1,30
Fabricação – Pás	1,75	1,12	2,87	1,75	1,12	2,87
Fabricação – Torre	0,81	0,97	1,79	0,79	0,98	1,77
Construção	7,70	0,54	8,24	7,70	0,99	8,69
O&M	0,57	0,00	0,57	0,57	0,00	0,57
Total	11,74	3,01	14,75	11,72	3,48	15,20

Fonte: (SIMAS, 2012)

Além disso, em continuidade aos esforços de melhor compreensão do setor, sobretudo sob o ponto de vista qualitativo, em 2018, a ABDI, em parceria com a FGV Projetos, publicou estudo sobre o mapa de carreiras para o setor eólico¹⁹. O estudo detalhou os perfis profissionais, salários e oportunidades de crescimento ao longo da cadeia de valor de energia eólica. Foram mapeadas cinquenta e duas (52) profissões/ocupações, distribuídas em cinco grupos de atividades que compõem a cadeia eólica (ROTTA, 2018b).

zar a matriz de insumo-produto para cálculo dos empregos indiretos, e elaborar cenário de referência da criação de empregos ao longo da cadeia de valor e por regiões.

Também serão apresentados outros cenários que permitam simular os efeitos e impactos decorrentes da combinação das tendências identificadas na revisão bibliográfica e da análise dos resultados da pesquisa, a saber: tecnológicas e econômicas. As bases de dados utilizadas no projeto foram as seguintes:

O presente estudo, além de revisar os coeficientes de empregos-ano por MW para o cálculo dos empregos diretos, deve atuali-

- Bases de dados oficiais do Brasil, tais como RAIS, Código Brasileiro de Ocupações (CBO), EPE, ANEEL;

¹⁹. Cujo resultado pode ser visto em <http://sitesinteligencia.abdi.com.br/sites/carreiras-eolica/>.

- Bases de dados secundárias, com dados e informações pertinentes, tais como Ipea, Fipe, ABDI;
- Bases de dados internacionais sobre empregos no setor de energias renováveis e eólica, tais como as bases de dados mantidas pela IRENA/REN21;
- Bases de dados nacionais sobre empresas do setor eólico, mantidas por associações setoriais, tais como ABEEólica e Abimaq.

3. Desenvolvimento do setor eólico no mundo

O desenvolvimento do setor de energias renováveis desperta crescente interesse em todo o mundo, a partir das oportunidades para impulsionar o crescimento econômico, ampliar o acesso à energia elétrica, criar empregos, gerar renda, minimizar os efeitos da mudança climática e promover a melhoria da saúde e do bem-estar na sociedade. Esses ganhos são considerados pelos diversos países quando estabelecem políticas públicas de desenvolvimento das fontes de energias renováveis, como é o caso da fonte eólica.

A Agência Internacional de Energia Renovável²⁰ tem se destacado, por meio de trabalho sistemático, por mostrar a importância da difusão de iniciativas que incentivam a energia renovável e a eficiência energética, em linha com as metas do Acordo de Paris, com o crescimento econômico e a geração global de cerca de 26 milhões de empregos no setor de energias renováveis até 2050 (IRENA, 2017).

Além de envolver questões associadas com mudança climática, a criação de empregos no setor também é um *trade-off*

econômico significativo do crescimento da energia renovável na matriz energética mundial. Estima-se que o setor de energias renováveis tenha empregado cerca de 11 milhões de pessoas em 2018, dentre os quais 1,16 milhão somente no setor eólico (IRENA, 2019).

Os projetos de geração de energias renováveis criam empregos em diversas fases/etapas da cadeia de valor eólica e, nesse sentido, conhecer os perfis e as competências profissionais necessárias para produzir, instalar e descomissionar empreendimentos de energia eólica é fundamental para permitir a identificação das áreas com maior potencial para criação de valor e de empregos locais, especialmente para os formuladores de políticas públicas (IRENA, 2017).

Tal compreensão é extremamente importante para o entendimento do potencial de geração de emprego direto no setor eólico, e empregos indiretos na cadeia de fornecedores de materiais, equipamentos e serviços. A estimativa da quantidade, da localização, da natureza temporal e do nível de especializa-

20. International Renewable Energy Agency - <https://www.irena.org/>.

ção dos empregos ao longo da cadeia de valor da geração de energia eólica, em geral, é obtida pela combinação de diferentes abordagens, conforme observado nos diversos esforços realizados ao longo das duas últimas décadas.

Este trabalho apresenta as principais referências e práticas utilizadas para a estimativas de geração de empregos no setor eólico. Contudo, entende-se oportuno ter a compreensão das características intrínsecas ao setor, em especial no que se refere aos aspectos históricos, técnicos e econômicos; da cadeia de valor e dos agentes econômicos que atuam nas distintas etapas de um empreendimento eólico, com especial ênfase ao papel exercido pelas empresas âncoras do setor, os fabricantes de turbinas eólicas ou aerogeradores (tipo OEM²¹).

3.1. Aspectos históricos

Todas as formas de geração de eletricidade envolvem fontes, combustíveis e tecnologias específicas. A combinação desses elementos por meio de diversos arranjos de equipamentos e instalações resulta em usinas ou plantas de geração de energia.

No caso da energia eólica, temos uma fonte do tipo renovável, cujo combustível é o vento, o qual tem a vantagem de ser limpo e gratuito. É o vento que é utilizado para movimentar as pás eólicas e, por meio de

tecnologias específicas, transformar energia cinética em energia mecânica e, esta, em energia elétrica.

O aproveitamento dos ventos pela humanidade é antigo e, além do uso para a navegação interior e marítima, há indícios de que eles vêm sendo utilizados de outras maneiras por mais de três mil anos. Conforme Gasch e Twele, 2012 apud (KISHORE, MARIN e PRIYA, 2014), registros históricos apontam que, em 1.700 AC, já eram usadas conchas eólicas para irrigar as planícies do antigo reino da Mesopotâmia.

Já no final do século XIX, os moinhos de vento – utilizados para a moagem de grãos, bombeamento e elevação de água – atingiram a marca de aproximadamente 100 mil máquinas no seu auge. Mas, diferentemente do passado antigo e mais recente, o atual aproveitamento do vento tem como princípios centrais a eficiência e a economicidade da tecnologia (BLANCO, GARRAD, *et al.*, 2009).

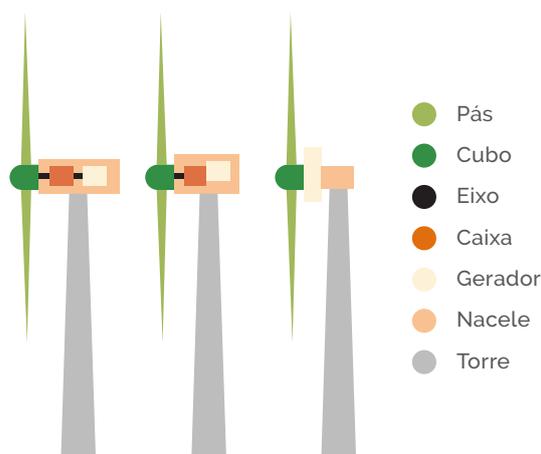
A atual tecnologia destinada ao aproveitamento econômico dos ventos para a geração de energia faz com que cada aerogerador atue como uma minicentral elétrica independente, sendo controlado automaticamente, por longos períodos, por microprocessadores que, por vezes, podem trabalhar continuamente, sem supervisão, e com baixo grau de manutenção, por mais de 20 anos (BLANCO, GARRAD, *et al.*, 2009).

21. *Original Equipment Manufacturing* ou fabricante original de equipamento, no sentido de designar fabricantes que montam, desenvolvem e vendem produtos com seu nome para outras empresas e que, em geral, movimentam a sua própria cadeia de fornecedores de matéria prima, bens intermediários e serviços.

Houve um longo período de acúmulo para o desenvolvimento do setor²², mas os avanços tecnológicos mais importantes aconteceram entre os anos 70 e 90, principalmente a partir de esforços pioneiros na Dinamarca, Alemanha e Espanha que, justificadamente, sediaram e/ou são a sede das principais empresas fabricantes de aerogeradores do mundo ocidental: Vestas, Siemens-Gamesa Renewable Energy (SGRE), Enercon e Nordex-Acciona.

O ano de 1979 marcou o início da era moderna da energia eólica, com a produção em massa de aerogeradores de eixo horizontal – com potência entre 10 e 30kW – pelos seguintes fabricantes dinamarqueses e alemães: Vestas, Nordtank, Kuriant e Bonus (IRENA, 2018). A **Figura 4** indica o padrão vigente dos aerogeradores que evoluíram a partir da década de 1980.

Figura 4 - Componentes e arranjos básicos de um aerogerador de eixo horizontal



Fonte: adaptado a partir de (ABDI, 2014) apud (CRE-SESB, 2008)

De acordo com Ackerman (2005), a tendência na redução do custo da eletricidade gerada pela energia eólica é decorrente de avanços capitaneados por aquelas empresas/países, o que permitiu dobrar a capacidade eólica mundial a cada três anos na primeira década do século XXI. Assim, foi a combinação de avanços tecnológicos e econômicos que posicionou a geração eólica no atual patamar de competitividade.

Desde o início da década de 1980, sabe-se que o volume de eletricidade que pode ser gerado por um determinado aerogerador é determinado pela sua potência nominal (MW), qualidade do recurso eólico, altura da torre, diâmetro do rotor e qualidade da estratégia de O&M. Foi entre 2008 e 2017 que ocorreu uma verdadeira revolução no setor, por meio de melhorias na tecnologia que permitiram o aumento dos aerogeradores, expressas em termos de altura do cubo e do diâmetro do rotor (IRENA, 2018).

Todas essas mudanças resultaram em fatores de capacidade cada vez maiores para um determinado recurso eólico, ou seja, mais produção de energia por unidade de tempo. Assim, contribuíram tanto para uma expressiva redução dos custos quanto para acelerar o ritmo de instalação de parques eólicos em todo o mundo.

O ritmo de inserção de energia elétrica a partir da fonte eólica no mundo atingiu 651 GW no final de 2019, e representou quase quatro (4) vezes a capacidade total brasi-

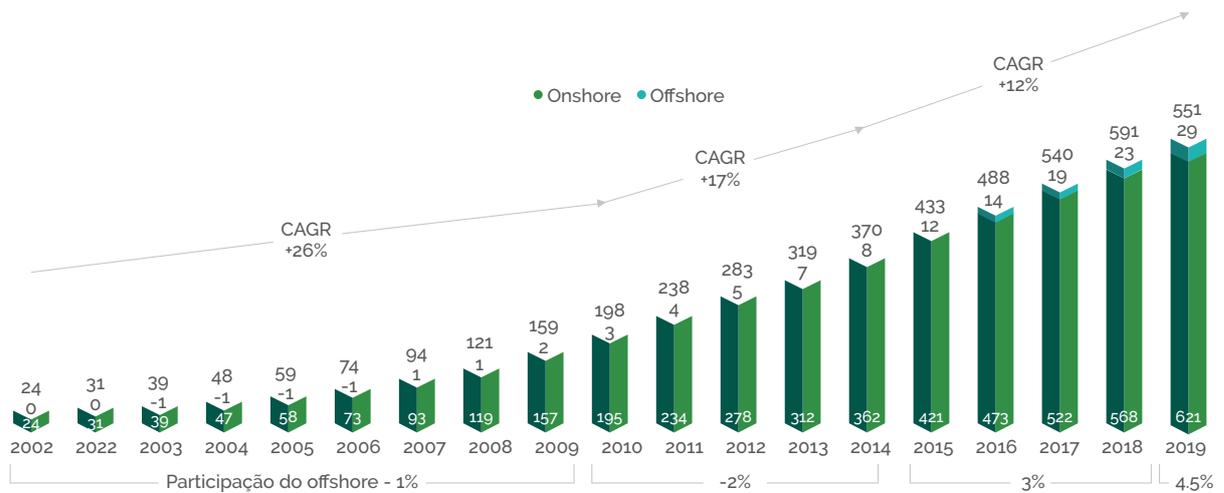
²² *Original Equipment Manufacturing* ou fabricante original de equipamento, no sentido de designar fabricantes que montam, desenvolvem e vendem produtos com seu nome para outras empresas e que, em geral, movimentam a sua própria cadeia de fornecedores de matéria prima, bens intermediários e serviços.

leira, em torno de 170 GW, em janeiro de 2020 ou, ainda, a instalação anual de três usinas hidrelétricas do tamanho de Itaipu!

Na **Figura 5**, são apresentadas as taxas anuais de crescimento acumulado da geração

eólica no mundo, nos anos iniciais do século XXI, quando cresceu 26% a.a. entre 2001-2009; 17% a.a. entre 2010-2014; e 12% a.a. entre 2015-2019. No gráfico a seguir, é possível observar que a maior contribuição na geração se deve à energia eólica *onshore*.

Figura 5 - Componentes e arranjos básicos de um aerogerador de eixo horizontal



Fonte: GWEC Market Intelligence, March 2020 in (GWEC, 2020a)

É possível, contudo, notar a trajetória ascendente no volume da energia eólica *onshore*. Depois de crescer 3% em média no período de 4 anos (2015-2018), o ambiente *onshore* cresceu 4,5% no ano de 2019. Nesse ritmo de crescimento, o valor em MW do *onshore* poderá dobrar até o ano de 2035.

De acordo com avaliação de Feng Zhao, diretor de estratégia da GWEC, fatores como (i) inovações tecnológicas, (ii) economias de escala que reduziram em 30% os custos de energia eólica *onshore* no Reino Unido e (iii) o fim de todos os subsídios

para projetos eólicos *onshore* em curso na China, juntos, apontam para uma consolidação na competitividade e a posição de liderança do setor eólico na transição energética em curso (GWEC, 2020a).

Os ventos que impulsionaram as velas dos navios no ciclo das grandes navegações vão movimentar cada vez mais pás eólicas no mar que, no futuro, deverão movimentar navios movidos à eletricidade²³. Mas como são gerados os ventos que causam furacões, que movimentaram moinhos de vento e que agora geram eletricidade na terra e no mar?

²³ Vide o plano de ação do governo norueguês para navios elétricos - <https://www.regjeringen.no/contentassets/2cccd2f4e14d44bc88c93ac4effe78b2f/the-governments-action-plan-for-green-shipping.pdf>.

3.2. Aspectos tecnológicos

Os ventos são gerados a partir do aquecimento desigual da superfície terrestre pelo sol. Estima-se que apenas 2% da energia solar absorvida pela Terra seja convertida na energia cinética, que se manifesta por meio dos ventos. Trata-se de um dos recursos mais abundantes de energia renovável no mundo e, apesar de soprares em todo o planeta, os ventos, em áreas específicas, são influenciados por diversos fatores localizados, como a cobertura vegetal do terreno, obstáculos naturais ou construídos, e a própria topografia, que cria condições microclimáticas únicas (CRESESB, 2008).

No desenvolvimento histórico do setor, é importante destacar o papel central da engenharia no projeto dos modernos aerogeradores. Dessa forma, pode-se entender como a fonte passou, nos últimos 30 anos, de uma opção tecnológica a mais, a uma das mais competitivas fontes de geração de energia elétrica no mundo, ao lado das fontes hídrica e térmica.

De acordo com Blanco, Garrad et al. (2009), os principais aspectos da tecnologia que viabilizaram o setor, e que ainda são chaves para o desenvolvimento futuro, são os seguintes:

- **vento:** compreensão da sua natureza e de suas características locais, como pode ser adequadamente medido, quantificado e aproveitado; validar sua

confiabilidade quanto a sua distribuição anual e ao longo do ciclo de vida do parque eólico;

- **turbinas eólicas ou aerogeradores:** a trajetória tecnológica e de inovações para o futuro é expressa em aumento das capacidades nominais; os fabricantes que instalaram mais de 60% dos aerogeradores no mundo em 2019 instalaram, preferencialmente, aerogeradores com potência nominal entre 3 - 3,99 MW²⁴;
- **parques eólicos:** tecnologias e gestão na montagem, instalação dos aerogeradores, sua otimização e desenvolvimento nos parques eólicos; e,
- **ambiente offshore:** a nova fronteira, uma dotação natural expressiva, mas com desafios técnicos distintos do *onshore*; os aerogeradores instalados nesse ambiente em 2019 tinham, em média, a potência nominal de 5,65 MW e, pela primeira vez, foi instalado na Europa um aerogerador com capacidade acima de 7 MW²⁵.

3.2.1. O vento

O conhecimento preciso das características do vento nos locais em potencial é muito importante do ponto de vista tecnológico e econômico, pois quaisquer erros de estimativa sobre a qualidade do vento – cujos atributos-chave são velocidade e

24. (GWEC, 2020).

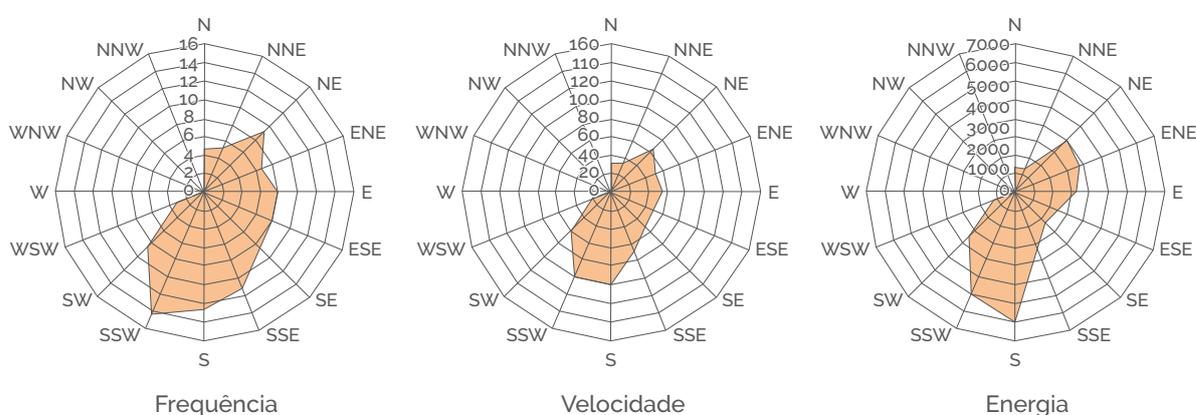
25. (GWEC, 2020).

direção predominante em diferentes escalas de tempo – podem ser fatais para a economicidade de um projeto.

Tecnicamente, a combinação dos dados de velocidade e direção do vento podem ser expressas em rosas de vento, que permi-

tem mostrar a distribuição do vento em diferentes direções e identificar: (i) a direção com mais quantidade de vento; (ii) a força média dos espectros de vento; e (iii) a energia disponível nas diferentes direções (MATHEW, 2006). A **Figura 6** apresenta rosas de vento típicas para um determinado local.

Figura 6 - Rosa dos ventos: distribuição de frequência, de velocidade e de energia em diferentes direções



Fonte: (MATHEW, 2006)

Sabe-se que há um valor de corte, por exemplo, na velocidade e na densidade de energia do vento. A partir de uma velocidade de vento de 3 a 5 m/s, os modernos aerogeradores começam a gerar eletricidade, atingindo sua potência máxima entre 11 e 12 m/s, justificando-se, assim, a instalação de um parque eólico. Para velocidade de vento acima de 25 m/s, são acionados mecanismos para interromper a geração de energia, por meio do travamento do equipamento, a fim de evitar acidentes (IRENA, 2017).

Os métodos estatísticos para análise de energia eólica são bastante utilizados por especialistas para estimar o potencial de energia eólica em determinado local. Assim, os modelos estatísticos de distribuição

de Weibull, e o seu modelo simplificado, a distribuição de Rayleigh, são amplamente difundidos no setor para avaliações mais precisas sobre a qualidade do "combustível" (MATHEW, 2006).

Dada a importância da correta medição do vento, os projetos de parques eólicos no nível local (micro sitting) podem ter o seu desenvolvimento suportado por softwares comerciais que – por meio da combinação diversa de dados em níveis macro e local do recurso eólico, e demais condições de contorno – podem ser utilizados para definir a localização ideal dos aerogeradores, otimização, identificação de restrições e demais limitações para a geração de energia.

O **Quadro 3** apresenta os principais softwares comerciais em uso na atualidade, considerando as coordenadas do aeroge-

rador ou sua localização como o principal parâmetro do projeto.

Quadro 3 - Principais *softwares* comerciais para projetos de parques eólicos

Software	Meta de otimização	Restrições do projeto	Considerações de projeto
OpenWind	Custo de energia	Restrições do local para colocação de aerogeradores, níveis de ruído	Perdas de esteira e turbulência, tremulação das sombras, impacto visual, análise de incertezas
WAsP	NA	NA	Perdas de esteira, diferentes modelos de aerogeradores podem ser usados simultaneamente, estimativa de cargas em terrenos complexos
WindFarmer	Produção de energia	Restrições ambientais, limites de parques eólicos, zonas de exclusão e distâncias de recuo dos limites, topografia do solo	Intensidade de turbulência, impactos ambientais e visuais, níveis de ruído, tremulação das sombras, análise de incerteza, perda de despertar, carregamento do aerogerador, cálculo de perdas elétricas, produção de energia reativa
WindPRO	Produção de energia ou perda mínima de produção	Distâncias mínimas entre aerogeradores, restrições no local para colocação de aerogeradores	Níveis de ruído, impacto visual, efeitos de sombra, perdas de despertar e turbulência, diferentes modelos de aerogeradores podem ser usados simultaneamente, cálculo de perdas elétricas, análise de incerteza
WindSim	Lucros do projeto eólico	Restrições ambientais, limites de parques eólicos, zonas de exclusão para colocação de aerogeradores. Restrições IEC	Número ideal de aerogeradores, o terreno apresenta efeitos sobre as perdas de vento, esteira e turbulência
WindFarm	Produção de energia ou custo de energia	Espaçamento dos aerogeradores, zonas de exclusão para colocação de aerogeradores	Perdas de esteira, impacto visual, tremulação das sombras, níveis de ruído, diferentes modelos de aerogeradores podem ser usados simultaneamente

Fonte: adaptado pelo autor a partir de (RODRIGUES, RESTREPO, et al., 2016)

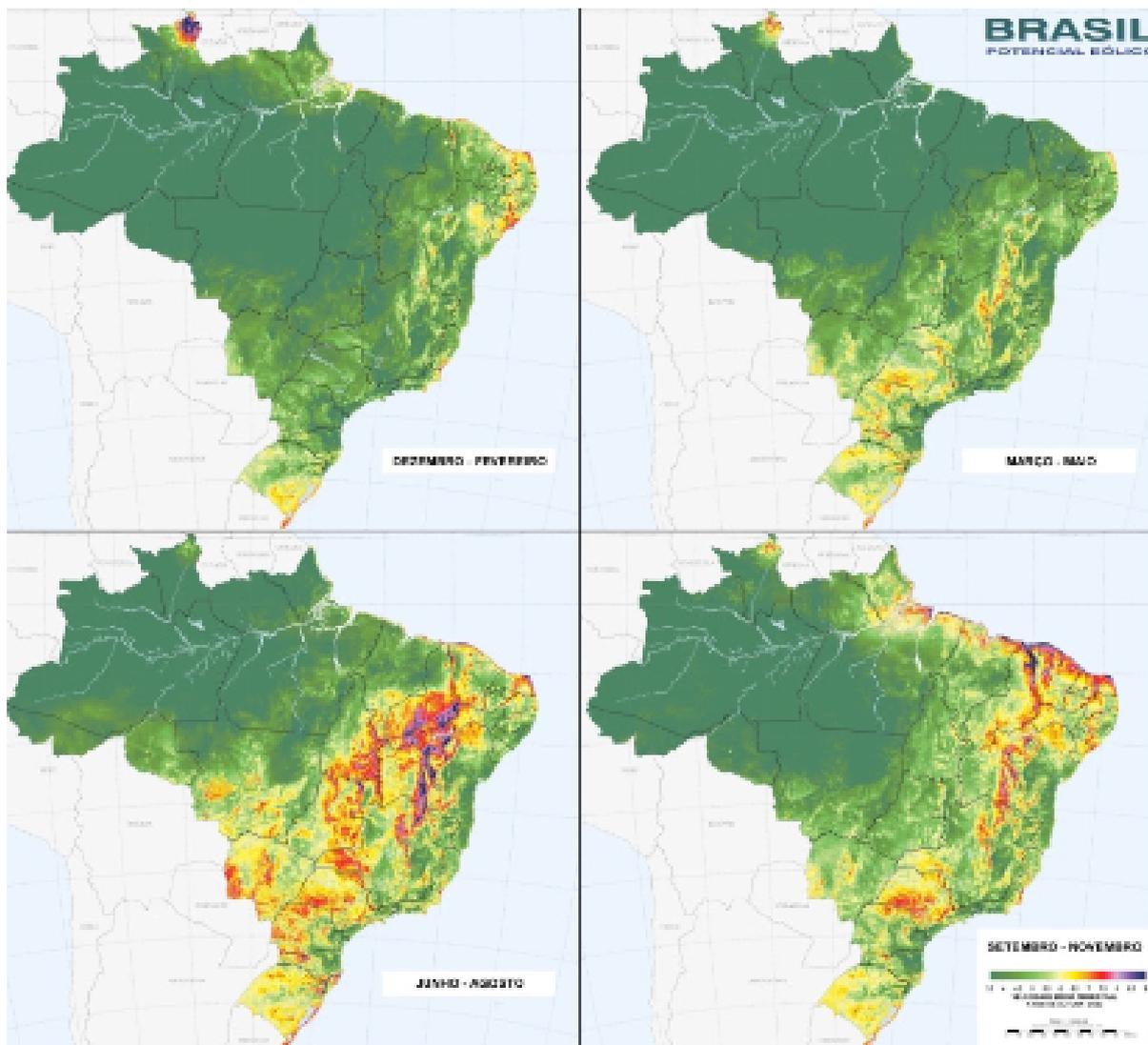
No tocante ao Brasil, cabe destacar o trabalho pioneiro do primeiro atlas eólico de envergadura nacional, produzido em 2001, para o qual foram utilizados dados de vento coletados em 47 estações anemométricas, em todas as regiões do país, entre 1983 e 1999, conforme ilustra a **Figura 7**.

Um sistema de *software* de modelagem numérica (denominado MesoMap) permitiu a elaboração de mapas temáticos, representando regimes de vento e fluxos de potência eólica na altura de 50 metros, na resolução horizontal de 1 km x 1 km, para todo o país, incluindo restrições de topografia,

cobertura vegetal, uso do solo e as interações térmicas entre a superfície terrestre e

a atmosfera, como efeitos de vapor d'água (AMARANTE, BROWER, *et al.*, 2001).

Figura 7 - Mapa do potencial eólico nacional anual, períodos trimestrais



Fonte: Atlas do potencial eólico brasileiro, (AMARANTE, BROWER, *et al.*, 2001)

O conjunto de artefatos e equipamentos tecnológicos utilizados para obter dados e caracterizar o regime de ventos em determinado local pode ser consultado em inúmeras

publicações técnicas. Uma das principais referências no Brasil²⁶ é o "Manual de Avaliação Técnico-Econômica de Empreendimentos Eólico-Elétricos" (LACTEC e SCHUBERT, 2007).

²⁶. Ainda para a análise do recurso eólico vide (MATHEW, 2006).

Além da crescente penetração da energia eólica no mundo, vários outros fatores têm contribuído para minimizar erros de estimativa na adequada medição do recurso eólico, o que tem garantido mais segurança e menor risco técnico ao investimento privado, contribuindo também para mais previsibilidade quanto ao volume de carga a ser administrado pelos operadores dos sistemas elétricos nacionais.

Dentre esses fatores, pode-se citar:

- **(i)** atualização de atlas eólicos para alturas superiores a 100 metros;
- **(ii)** aumento da disponibilidade de torres meteorológicas, anemométricas, sensores de direção²⁷;
- **(iii)** uso de outras tecnologias de medição (LIDAR/SONAR);
- **(iv)** aumento da oferta de dados de vento produzidos pelos próprios parques eólicos e de fornecedores privados de dados; e,
- **(v)** oferta de várias ferramentas comerciais de *softwares* para apoiar o desenvolvimento de projetos eólicos.

Nos primeiros leilões realizados no Brasil, por exemplo, sequer se exigiam medições locais de vento, mas, desde a Portaria MME

nº102/2016, a medição local do recurso eólico é exigida pelo período mínimo de três anos, com aferições contínuas da velocidade e da direção dos ventos.

Além disso, são exigidas medidas em duas alturas distintas, com altura mínima de cinquenta (50) metros. Essa medida de cunho regulatório também contribuiu de forma clara para minimizar erros de estimativa na geração, na redução do risco para o investimento, e trouxe mais previsibilidade para o operador nacional do sistema.

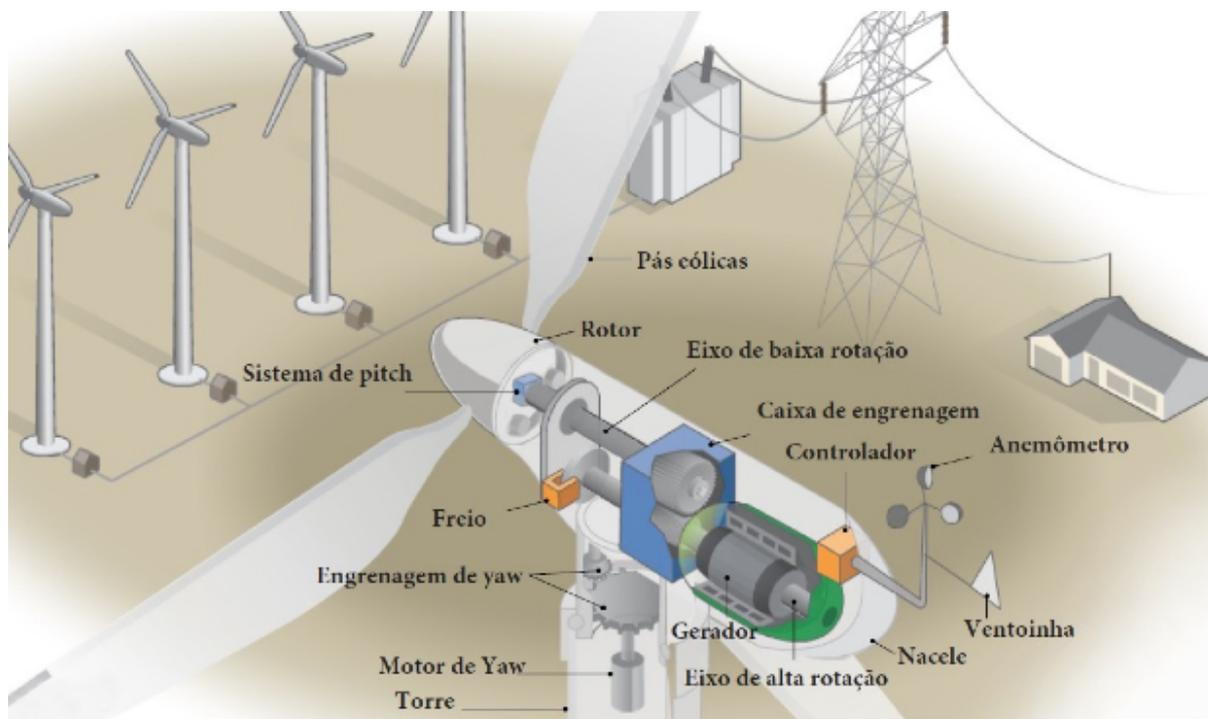
De acordo com a EPE (2018), o efeito desse requisito técnico é visível no crescimento da medição do recurso eólico nos leilões, a partir daquela exigência. Especialmente a partir de 2017, uma grande parcela dos projetos habilitados já apresentava dados de medição acima de prazo mínimo requerido, com parte significativa de medições acima de quatro (4) anos, e com altura acima do mínimo exigido, com medições próximas da altura do cubo dos novos aerogeradores, ou seja, com mais de 100 metros.

3.2.2.0 aerogerador

A principais características de um aerogerador com caixa multiplicadora de eixo horizontal, que é a tecnologia comercial de grande porte dominante no mercado mundial, pode ser vista na **Figura 8**.

²⁷ Utilizados, respectivamente, para a obtenção de dados climáticos, da velocidade e da direção do vento.

Figura 8 - Componentes principais de um aerogerador de eixo horizontal moderno



Fonte: U.S. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, n.d. apud IRENA (2017)

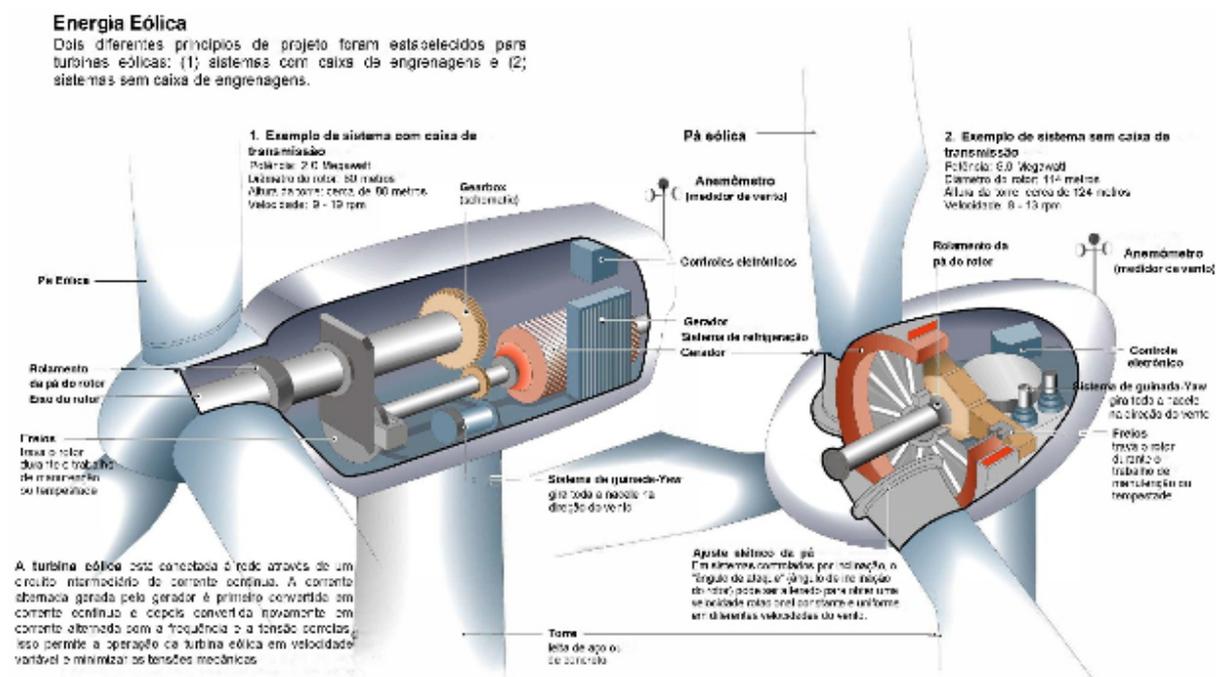
As características de um aerogerador moderno podem ser descritas da seguinte forma:

1. Torres de aço, de concreto ou híbridas;
2. Um sistema de rotor com três pás eólicas e sistema de guinada ativo, para preservar o alinhamento das pás eólicas na direção do vento;
3. A nacelle é a estrutura da parte superior da torre que contém aproximadamente 8.000 subcomponentes e os conecta ao rotor, com tamanho e peso que depende da capacidade (cerca de 75 toneladas para um aerogerador de 2 MW) (ABDI, 2014);
4. Controle de ventos de alta velocidade, por meio da regulação da inclinação (*pitch control*), que é um controle ativo, pelo qual as pás giram ao longo do seu eixo (em sentido horário) para regular a potência extraída e reduzir as cargas;
5. Velocidade variável do rotor, o que permite otimizar a captura de energia em baixas velocidades do vento (operando com o coeficiente de potência máxima), além de reduzir as cargas mecânicas no trem de acionamento;
6. O trem de acionamento converte a energia mecânica capturada pelo rotor em energia elétrica. Os tipos de tecnologia dos aerogeradores podem ser classificados de acordo com arranjo dos componentes do trem de acionamento envolvidos nessa conversão (SERRANO-GONZÁLEZ e LACAL-ARÁNTGUI, 2016).

Para ilustrar um moderno aerogerador com mais detalhes, apresenta-se, na **Figura 9**, um modelo esquemático dos dois prin-

cipais tipos de configuração de trens de acionamento (*drive train*).

Figura 9 - Principais configurações dos aerogeradores (com/sem caixa de engrenagem)



Fonte: U.S. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, n.d. apud IRENA (2017)

Em geral, a maior parte das instalações de aerogeradores é realizada com torres tubulares de aço, fabricadas em seções de 10 a 20 m de comprimento, podendo ser montadas no local em 2 ou 3 dias. A torre tubular, com sua seção transversal circular, pode oferecer ótima resistência à flexão em todas as direções.

O rotor é uma das partes mais importantes de um aerogerador. Composto pelas pás, cubo, eixo, rolamentos e outros itens internos, o rotor recebe a energia cinética da corrente de vento e a transforma em energia mecânica rotacional no eixo.

A caixa multiplicadora é um componente central do trem de acionamento (*drive train*) de um aerogerador, pois permite transformar a velocidade do rotor, da ordem de 30 a 50 rpm, para cerca de 1500 a 1800 rpm, velocidade ideal para a conversão da energia mecânica em energia elétrica pelo gerador.

Durante os períodos de ventos extremamente altos, por segurança, os aerogeradores devem ser completamente parados. Quando o rotor acelera rapidamente, os freios de segurança devem ter uma resposta reativa rápida para evitar a con-

dição de fuga. Também por segurança, dois sistemas de freios são comumente usados em aerogeradores: aerodinâmicos e mecânicos.

O gerador é um dos componentes mais importantes de um sistema de conversão de energia eólica. Esses geradores podem ser de indução (assíncrona) ou síncronos, podendo operar em velocidades fixas ou variáveis. O uso de velocidade variável tem sido uma opção dominante, visto que

permite maximizar a captura de energia, podendo alcançar um acréscimo de 8 a 15% a mais em alguns locais específicos.

Mais detalhes sobre os arranjos e avanços tecnológicos para aerogeradores nas últimas duas décadas podem ser vistos em SERRANO-GONZÁLEZ e LACAL-ARÁNTEGUI (2016), em artigo que desenvolve uma avaliação completa, a partir de um conjunto de dimensões tecnológicas, conforme pode ser visto no **Quadro 4**.

Quadro 4 - Principais áreas de avanços tecnológicos em curso do setor eólico

Dimensão tecnológica	Observações
Potência nominal (MW)	Relacionado ao aumento do tamanho dos aerogeradores
Diâmetro do rotor (m)	Relacionada com a potência nominal por área unitária varrida pelo rotor e associada com as condições locais de recursos eólicos e/ou ao fator de capacidade desejável
Altura do cubo (m)	Relacionado às condições locais de vento
Potência específica (Wm ⁻²)	Relacionado com vários aspectos (por exemplo, requisitos de confiabilidade, padrões da rede elétrica ou tamanho dos aerogeradores)
Classe de vento IEC	Permite controlar a saída de energia para altas velocidades de vento. É selecionado de acordo com os requisitos de potência, complexidade do sistema de controle e requisitos para redução de carga nas pás

Fonte: (SERRANO-GONZÁLEZ e LACAL-ARÁNTEGUI, 2016)

De acordo com GWEC (2020), a combinação dos aerogeradores com caixa de engrenagem de acionamento convencional de alta velocidade, e de velocidade média, representou uma participação de quase 75% nas vendas do mercado global em 2019, um aumento de 1% em relação ao ano anterior. É provável que esse cenário se mantenha nos próximos anos para o mercado ocidental, incluindo o Brasil.

Já no mercado asiático, os aerogeradores de acionamento direto com ímãs permanentes (na faixa de 1 e 2 MW) têm se

tornado populares, em função do regime de ventos de baixa velocidade, da grande disponibilidade de terras raras na China, e pelo fato de os principais fabricantes mundiais de aerogeradores com geradores de ímã permanente serem chineses (Goldwind e XEMC) (SERRANO-GONZÁLEZ e LACAL-ARÁNTEGUI, 2016)

3.2.3. O parque eólico onshore

O esforço tecnológico para o desenvolvimento e a implantação de parques eólicos, por sua vez, requer um esforço de trabalho

que envolve a afluência de distintos conhecimentos: modelagem computacional de velocidade média, direção, regime e sazonalidade do vento em determinado local, escolha do aerogerador mais adequado, de acordo com a classe de vento, estudo de viabilidade técnica, detalhamento de natureza econômica e financeira do projeto antes da decisão da sua construção, operação e manutenção por períodos que variam de 20 a 25 anos.

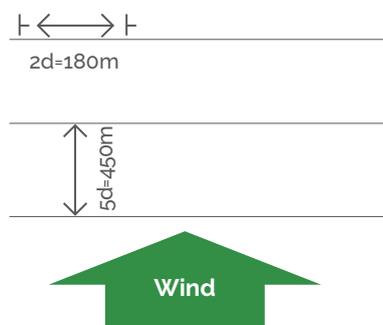
Conforme já visto, a maior parte dos *softwares* de apoio ao projeto de parques eólicos possui, como característica central, uma funcionalidade para facilitar a localização individual de cada aerogerador no leiaute do parque, considerando, ao mesmo tempo, todo o conjunto de restrições e impactos negativos na otimização da capacidade futura de produção de energia ao longo do período da sua vida útil.

Grosso modo, contudo, para minimizar a turbulência devido à rotação das pás de um aerogerador nos demais, são sugeridas regras gerais de espaçamento com base no diâmetro do rotor (DT).

Uma regra geral, sugerida em estudo de caso para o Marrocos no *IRENA Project Navigator*, recomenda que os aerogeradores

devem estar localizados a pelo menos dois diâmetros de rotor um do outro, na direção perpendicular predominante do vento, e a cinco diâmetros do rotor em paralelo à direção predominante do vento (BOHR, [2020?]), de modo a permitir que o fluxo de vento que passa por um aerogerador seja restaurado antes de interagir com o próximo aerogerador e, ainda, para evitar interferências laterais.

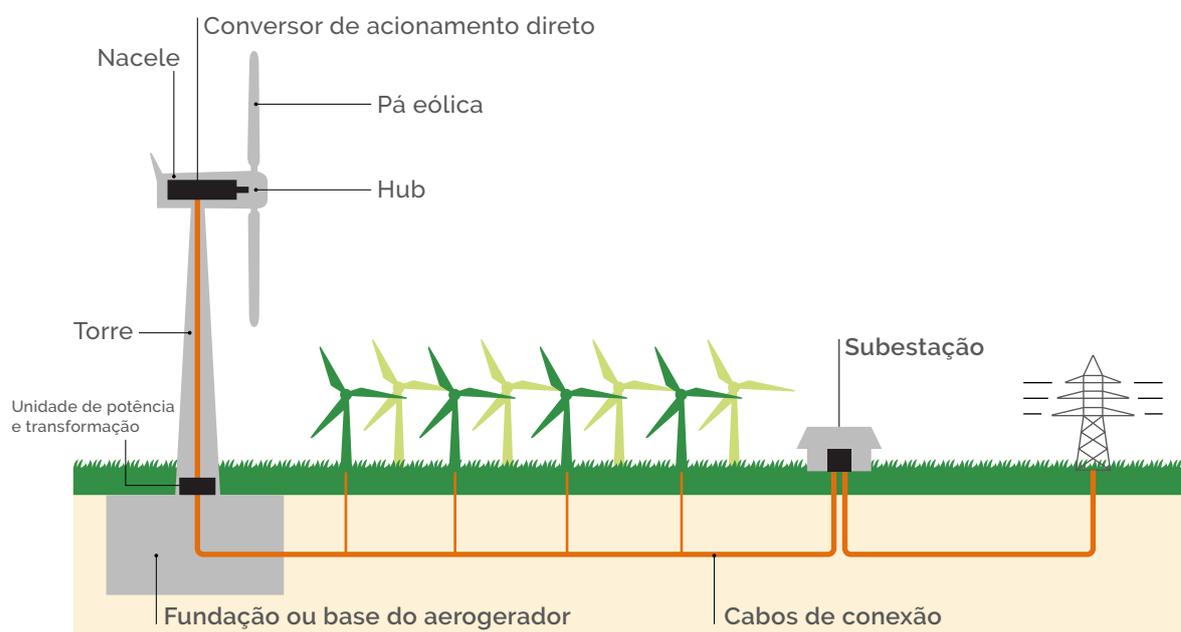
Figura 10 - Configuração de aerogeradores sugerida pelo *IRENA Project Navigator*



Fonte: (BOHR, [2020?])

Um leiaute integrado típico de um parque eólico, por sua vez, está representado na **Figura 8**, a partir de um arranjo com aerogerador do tipo SWT-3-3-113, do fabricante alemão SGRE, no qual é possível identificar a descrição básica dos principais componentes de um aerogerador e os demais ativos/equipamentos necessários para a conexão do parque eólico à rede elétrica.

Figura 11 - Representação de leiaute integrado de um parque eólico típico



Fonte: adaptado pelo autor a partir de (SIEMENS, [2020?])

As migrações da terra para o mar e de projetos experimentais para a consolidação do mercado *offshore* envolveram uma trajetória de desenvolvimento semelhante à de outras tecnologias. A produção *offshore*, no entanto, apresenta características únicas, como o apoio contínuo de políticas públicas, a difusão a partir da região do norte da Europa e um mercado de energia muito bem definido (DEDECCA, HAKVOORT e ORTT, 2016).

3.2.4. O ambiente *offshore*

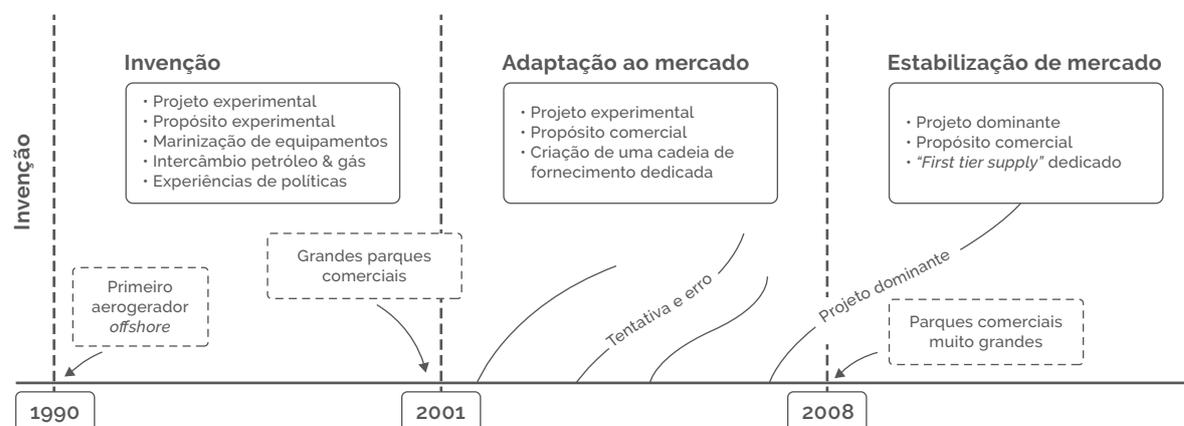
O primeiro aerogerador *offshore*, de 200kW, foi instalado em 1990, em Noger-sund, na Suécia (DEDECCA, HAKVOORT e ORTT, 2016). O primeiro parque eólico *offshore* do mundo, contudo, foi instalado na costa da Dinamarca em 1991. Com onze (11) pequenos aerogeradores de 450 kW e rotor com 35 metros de altura, o proje-

to experimental de Vindeby em nada se compara com a tecnologia dos aerogeradores dos atuais parques eólicos *offshore* (RENEWABLEUK, 2018).

Entre 1990 e 2018, foi observada muita cooperação entre os diferentes agentes econômicos da cadeia de valor, e uma alta concentração nas etapas de desenvolvimento de parques eólicos e de fabricação de aerogeradores, com taxas de concentração de CR2 de 54-64% e de 70-99%.

De acordo com Dedecca et al. (2016), a indústria eólica *offshore* passou por uma fase inicial de inovação que durou cerca de 11 anos, por um processo de adaptação de 8 anos e, atualmente, está num estágio de estabilização do mercado. A **Figura 12** apresenta os principais marcos desse processo desde o início da década de 1990.

Figura 12 - Padrão de difusão e de desenvolvimento da energia eólica *offshore*



Fonte: adaptado pela Cognitio a partir de (DEDECCA, HAKVOORT e ORTT, 2016)

Em 2001, perto de Blyth, no Reino Unido, foi instalado o primeiro grande parque eólico *offshore*, com um aerogerador Vestas, modelo V66-2.0MW, com altura do cubo de 62 metros. Dez anos depois, em 2011, foi instalado aerogerador da Siemens SWT-3.6MW, cuja altura do cubo era de 83 metros, e o diâmetro do rotor era de 120 metros. Em 2016, o aerogerador da MHI Vestas, o V164-9.5MW, era o maior aerogerador já produzido, com altura do cubo de 105 metros e com diâmetro do rotor de 66 metros (RENEWABLEUK, 2018).

Mais recentemente, em 2019, a Siemens Gamesa Renewable Energy (SGRE) lançou o modelo de aerogerador 10-193-10 MW, com rotor de 193 metros de diâmetro que, sob certas condições, pode atingir até 11 MW (SGRE, 2019).

No processo de desenvolvimento e difusão, a energia eólica *offshore* se deparou com (i) alto custo, em comparação com outras tecnologias de geração convencional e eólica *onshore*; (ii) altos investimentos em capital;

(iii) riscos mais elevados que o *onshore*, devidos a diversos fatores; (iv) uma maior complexidade em termos da quantidade e necessidade de integração da cadeia de fornecedores, ciclo de vida e componentes do parque; além da (v) necessidade de mobilizar vários campos de conhecimento ao longo da vida útil de um empreendimento (DEDECCA, HAKVOORT e ORTT, 2016).

Dentre os principais ativos/equipamentos, que podem variar em número e qualidade, em função da distância do parque até a costa, podemos enumerar:

- **Base operacional em terra**, envolvendo as atividades administrativas e o centro de operações do parque ou complexo eólico;
- **Subestação elétrica em terra**, onde ocorre a interface física entre o parque/complexo eólico a rede elétrica nacional;
- **Infraestrutura logística em terra**, representada pela área de armazenamento, de apoio portuário e demais instalações;

- **Ativos e infraestrutura marítima** de apoio à construção e manutenção, representadas por (i) plataformas auto elevatórias (jack-ups, vide **Figura 13**) para instalação de fundações e aerogeradores; (ii) embarcações de apoio para transferência de tripulação, e de partes/peças para manutenção e monitoramento; (iii) embarcações de lançamento de cabos elétricos (vide **Figura 14**); além de (iv) helicópteros para transporte de pessoal;
- **Subestação de eletricidade offshore**, onde ocorre a coleta da eletricidade gerada pelos aerogeradores, que é enviada para a subestação terrestre, por meio de cabos submarinos.

Figura 13 - Jack-up para instalação eólica offshore para até 2.500 ton. de capacidade



Fonte: (SHELTON, 2017)

Do ponto de vista tecnológico, as principais diferenças entre a energia eólica *offshore* e a produção *onshore* estão associadas com um regime mais eficiente de ventos, com aerogeradores ainda maiores, um ambiente de operação mais hostil, e processos de construção, instalação, operação e manutenção mais caros e complexos.

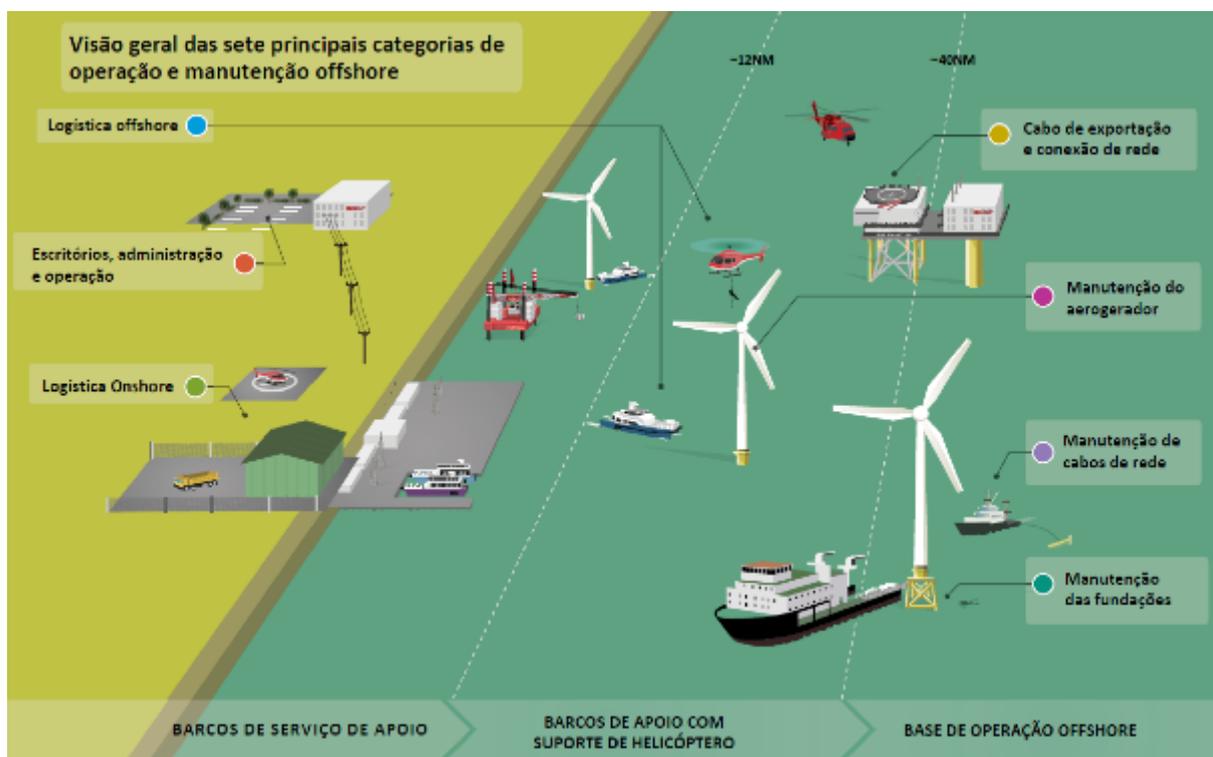
A **Figura 15** ilustra, de forma esquemática, uma visão geral do ambiente das operações de O&M dos equipamentos e ativos no ambiente *offshore*.

Figura 14 - Embarcação especializada offshore para lançamento de cabos elétricos



Fonte: Damen delivers offshore cable layer to van oord in only 15 months, 2015

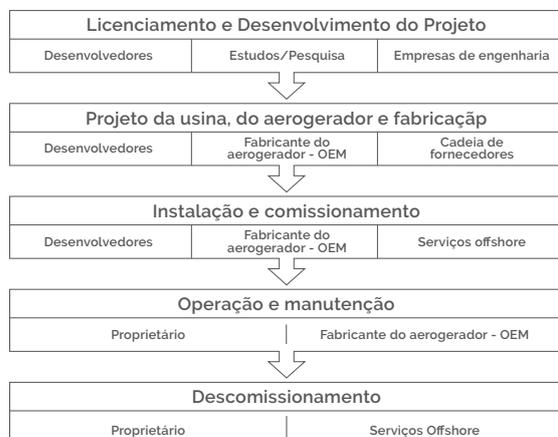
Figura 15 - Visão geral das operações e ativos utilizados para manutenção em um típico parque eólico *offshore*



Fonte: (GL GARRAD HASSAN, 2013)

Do ponto de vista das áreas de conhecimento, elas podem ser entendidas a partir das necessidades de competências em cada uma das etapas de agregação de valor da energia eólica *offshore*, conforme pode ser vista na **Figura 16**.

Figura 16 - Etapas do ciclo de vida de um projeto de energia eólica *offshore*



Fonte: (DEDECCA, HAKVOORT e ORTT, 2016)

As ocupações profissionais da geração eólica *offshore* podem ser categorizadas a partir das diferentes etapas da cadeia de valor, mas também do ponto de vista de competências e domínios de especialização, em termos de disciplinas nas áreas de ciência, engenharia, construção/operação, economia/negócios e relacionamento com grupos de interesse.

De forma geral, a atividade requer uma mão de obra distinta da geração eólica *onshore*, em termos de quantidade e qualificação profissional. Requer uma base multidisciplinar de conhecimento nas áreas de mecânica, elétrica, física, *software*, engenharia civil e de oceanografia, além da necessidade de integrar competências em meteorologia, saúde, meio ambiente e segurança, no contexto do gerenciamento de projetos de alta

complexidade em todas as fases do ciclo de vida do projeto e da cadeia de fornecedores. Segundo a associação americana de energia eólica, os empregos no *offshore* oferecem boa remuneração e requerem mão de obra técnica diversificada e distribuída em mais de 70 diferentes tipos de ocupações (AWEA, 2020).

De acordo com Rutovitz, (2015), para prazo médio de quatro (4) anos e aproximadamente trinta (30) anos de operação, os números totais para a geração de empregos ao longo da cadeia eólica *offshore* estão indicados na **Tabela 13**:

Tabela 13 - Fatores de emprego da OCDE para análise global – empregos-ano/MW

Fabricação	Construção / Instalação	Operação e manutenção	Total
15,6	8,0	0,2	23,8

Fonte: (RUTOVITZ, 2015)

Especificamente para as etapas de construção, comissionamento e manutenção, foi realizado esforço pioneiro recente para estimar as necessidades de treinamento da força de trabalho para seis mercados-alvo: Estados Unidos, China, Taiwan, Japão, Vietnã e Coreia do Sul.

De acordo com GWO-GWEC (2020) serão necessárias aproximadamente 2,5 pessoas por MW por projeto, o que irá gerar cerca de 77 mil empregos nas instalações projetadas até 2024 para aqueles mercados-alvo²⁸. Essa estimativa, se comparada com o estudo de Rutovitz (2015), resulta em coeficientes de emprego distintos.

3.3. Aspectos econômicos

3.3.1. Capacidade instalada, produção e principais empresas

De acordo com o *Global Wind Energy Council* (GWEC, 2020), o setor eólico atingiu 650,4 GW de capacidade instalada no mundo em 2019, ano em que foram instalados mais 60,4 GW de capacidade eólica. Esse volume representou um crescimento de 19% em relação ao ano anterior e representou o segundo melhor ano da história da indústria. Ainda segundo o GWEC, houve outros destaques:

- China e EUA continuam sendo os maiores mercados eólicos *onshore* do mundo, respondendo juntos por mais de 60% de inserção de capacidade;
- A inserção de energia eólica *offshore* atingiu 10% das novas instalações na indústria, estabelecendo um novo recorde de 6,1 GW de capacidade nova (vide **Tabela 3**);
- Regiões como o Sudeste Asiático, a América Latina e a África tendem a desempenhar um importante papel no crescimento da geração eólica em médio prazo;
- Houve a consolidação de mecanismos de mercado, com mais de 40 GW provenientes de leilões, o que representou dois terços da capacidade instalada total;
- Para a indústria, novas oportunidades de crescimento em médio e longo prazo,

²⁸ A estimativa foi realizada a partir de base de dados de treinamento e de instalações típicas de parques eólicos *offshore* na Europa no período 2017-2019, complementada por meio de entrevistas com empresas-membro da GWO e provedores de treinamento.

passam por mudar o foco do custo nivelado da fonte para o (i) desenvolvimento de mercados de energia mais sustentáveis, em termos do valor para o sistema elétrico como um todo; e a (ii) difusão de soluções tecnológicas emergentes, como hibridização e hidrogênio verde.

A **Tabela 14** também mostra que, em 2019, mais de 70% de novas capacidades foram adicionadas na China, Estados Unidos, Alemanha, Índia, Reino Unido e Espanha e, em termos acumulados, esses mesmos mercados representam 75% do total de 650,6 GW de capacidade eólica instalada em todo o mundo.

Tabela 14 - Países líderes em capacidade instalada e acumulada em 2019 (GW)

Rank	País	Inserção offshore	Inserção total	Participação no crescimento	Capacidade instalada total
1	China	2,4	26,2	43%	236,4
2	Estados Unidos	0,0	9,1	15%	105,5
3	Alemanha	1,1	2,2	4%	61,4
4	Índia	0,0	2,4	4%	37,5
5	Reino Unido	1,8	2,4	4%	23,3
6	Espanha*	0,0	2,2	4%	25,6
7	França	0,0	1,3	2%	16,6
8	Brasil	0,0	0,7	1%	15,5
9	Canadá	0,0	0,6	1%	13,4
10	Suécia	0,0	1,6	3%	8,8
...	Demais países	0,8	47,2	...	526,5
...	Total	6,1	60,4	...	650,6

Fonte: GWEC Market Intelligence, March 2020 em (GWEC, 2020a); * (IRENA, 2020c)

A indústria eólica nos últimos anos pode ser vista a partir de duas perspectivas: o mercado chinês e o resto do mundo. Por um lado, a China e suas empresas detêm cerca de metade do mercado global e, por outro, as empresas europeias pioneiras instalaram fábricas, movimentaram uma extensa cadeia de fornecedores, criaram empregos e renda em diversas regiões do mundo. Nesse processo de globalização, excetuando-se o mercado da China, essas empresas representam entre 70% e 80% do mercado global de aerogeradores (LACAL-ARANTEGUI, 2019).

De acordo com análise de Lacal-AranteGUI (2019), o sucesso dos fabricantes europeus, como Vestas, SGRE, Nordex-Acciona e Enercon, por exemplo, pode ser avaliado primeiro pela participação das instalações na Europa, em relação às instalações globais, e pela participação anual dos fabricantes europeus no mercado global no período de 2006 a 2017, quando esses indicadores, em média, ficaram em 50% e 30%, respectivamente. Outros aspectos considerados pelo autor dizem respeito

à saúde financeira daquelas empresas, ao processo de expansão internacional, e às estratégias de entrada em novos mercados, tais como licenciamento, *joint ventures*, atuação como desenvolvedores de projetos²⁹, facilitação no acesso ao crédito e fusões-aquisições.

Em 2015, as empresas ocidentais Vestas, SGRE e GE e as chinesas Goldwind, Envi-

sion e Mingyang detiveram, pela primeira vez, mais de 50% do mercado e, em 2019, já detinham quase 75% das vendas de aerogeradores no mundo. A pujança do mercado eólico asiático também explica por que, dentre as quinze (15) maiores empresas fabricantes do mundo, oito (8) delas são chinesas. A **Tabela 15** apresenta o valor instalado e a fatia de mercado ocupada por empresa em 2019.

Tabela 15 - Ranking dos 15 principais fabricantes de aerogeradores em 2019 (em MW)

Rank	País-sede	Fabricante	MW instalado	Participação de mercado
1	Dinamarca	Vestas	11.380	18%
2	Alemanha-Espanha	SGRE – Siemens-Gamesa	9.908	16%
3	China	Goldwind	8.311	13%
4	Estados Unidos	GE Renewable	7.326	12%
5	China	ENVISION	5.405	9%
6	China	Mingyang	3.611	6%
7	Alemanha-Espanha	Nordex Acciona	3.099	5%
8	Alemanha	Enercon	1.889	3%
9	China	Windey	1.599	3%
10	China	Dongfang	1.328	2%
11	China	Sewind	1.257	2%
12	China	CSIC Haizhuang	1.105	2%
13	Alemanha	Senvion	1.068	2%
14	China	United Power	1.046	2%
15	Dinamarca-Japão	MHI Vestas	1.012	2%
...	...	Outras	3.732	6%
Total Global			63.076	100%

Fonte: GWEC Market Intelligence, May 2020 em (GWEC, 2020)

Em análise da oferta de aerogeradores, a GWEC (2020) demonstra que as seis (6) principais empresas fabricantes de aerogeradores (OEM) continuam a deter fatias crescentes

do mercado. Assim, se em 2013 existiam 63 fabricantes com vendas registradas, desde então, esse número vem diminuindo, com 51 em 2015, e 33 em 2019.

²⁹ No terceiro trimestre de 2019, a Vestas adquiriu 25,1% do capital social da *SoWiTec Group GmbH* (SoWiTec), uma conhecida empresa de desenvolvimento de projetos, para apoiar a estratégia de codesenvolvimento da Vestas e melhoria nas ofertas híbridas. A Vestas detém cláusula de aquisição de até 100% (VESTAS, 2020).

Entre 2001 e 2017, foram finalizadas quarenta e duas (42) transações de fusões-aquisições no setor eólico. As transações que envolveram GE-Alstom, Nordex-Acciona e SGRE merecem destaque, pois tiveram impacto significativo no cenário competitivo do setor de fabricação de aerogeradores, pelos seguintes motivos:

- Apesar de a aquisição da Alstom pela GE não ter aumentado drasticamente sua participação no mercado, ela colocou a GE no segmento eólico *offshore*, com quase 2 GW em águas europeias;
- a aquisição da área de negócios de aerogeradores da Acciona pela Nordex, em 2016, significou, para a Nordex, voltar ao ranking dos dez (10) maiores fabricantes de aerogeradores (OEM) do mundo;
- a fusão entre a *Siemens Wind Power* e a Gamesa resultou em empresa líder global do mercado eólico, responsável por mais de 13% da instalação de aerogeradores no mundo em 2016 e 16,6% em 2017, e em segunda posição no ranking dos fabricantes OEM do mundo (LACAL-ARANTEGUI, 2019).

As principais empresas ocidentais do setor eólico estão instaladas, produzindo e contribuindo para o desenvolvimento do setor no Brasil, como reflexo desse processo de globalização. A atuação dessas empresas no mercado brasileiro tem importantes impactos socioeconômicos, como investimento, recolhimento de impostos e a criação de empregos diretos e indiretos ao longo da cadeia de valor.

Os fabricantes de aerogeradores também são uma importante fonte de informações e de conhecimento relativos à quantidade e à qualidade da mão de obra para o setor, em termos dos perfis ocupacionais e das competências necessárias na indústria, tendo em vista a experiência internacional e interveniência dessas empresas em todas as etapas da cadeia de valor do setor.

Nesse sentido, para os objetivos deste trabalho, pode ser útil entender as estruturas, posicionamento e estratégias utilizadas por essas empresas globais com atuação no Brasil. Em geral, as empresas ocidentais líderes (Vestas, GE e SGRE), bem como a Nordex-Acciona, são companhias abertas, que publicam dados públicos em relatórios anuais de desempenho. Já no caso da Enercon-Wobben e da brasileira WEG, os dados anuais de desempenho são de difícil acesso por se tratarem, respectivamente, de empresa fechada e de um grande conglomerado industrial cujos relatórios anuais não apresentam dados operacionais por áreas de negócios.

3.3.2. Competitividade natural e políticas públicas

Em termos do recurso eólico, é notório que o Brasil possui um dos melhores ventos do mundo, quando se avalia o conjunto de condições climáticas e a velocidade do vento ao longo do ano, o que resulta em um alto fator de capacidade. O fator de capacidade é um dos mais importantes parâmetros para alavancar a lucratividade de um projeto eólico.

Além da dotação natural de um país ou região, o ritmo e o grau de desenvolvimento do setor eólico dependem também do contexto de uma dada estrutura de política pública de incentivo e de regulação. Em 2016 foi realizado trabalho para avaliar o desempenho do esforço dessas políticas de forma detalhada para doze países por meio de sete critérios de análise (IRENA-GWEC, 2012).

No que se refere ao Brasil, a análise realizada reflete um consenso, em maior ou menor grau, entre os vários analistas e especialistas do setor. Como já mencionado, o Programa de Incentivos a Fontes Alternativas de Eletricidade (PROINFA), por um lado, foi fundamental para a criação do setor eólico no Brasil e permitiu um aprendizado muito rápido, quando comparado a outros mercados, como Dinamarca, Alemanha e EUA. Após o PROINFA, a combinação do sistema de leilão com o financiamento do BNDES, dentre outras medidas, foi fundamental para a consolidação do setor no Brasil.

Há consenso sobre o quão importante para a criação da cadeia de fornecedores foi a política de conteúdo local para projetos financiados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), além do uso de um conjunto bem calibrado de instrumentos, como uso de tarifas-prêmio³⁰ (*feed-in tariff*, PROINFA); o

próprio financiamento do BNDES; o acesso prioritário à rede elétrica; as diretrizes de localização do projeto; a concessão sobre direitos de importação e um forte apoio do governo em nível federal e estadual.

No caso do Brasil, um exemplo típico do uso de mecanismos de precificação de longo prazo, utilizado na primeira fase do PROINFA, foi a introdução de cerca de 3,3 MW sob um esquema tarifário do tarifa-prêmio, que garantiu acesso à rede elétrica para toda a eletricidade produzida durante um período de 20 anos. Tal medida resultou num processo importante de aprendizado para o desenvolvimento do setor no Brasil.

Do ponto de vista econômico-financeiro, os projetos de energia eólica são caracterizados por elevado aporte inicial de capital e custos operacionais mais baixos³¹, de forma geral. Por um lado, os desenvolvedores, munidos com os melhores dados, informações e ferramental disponível precisam avaliar a viabilidade financeira de seus projetos durante toda a vida útil do projeto (por exemplo, 25 anos). Por outro, os agentes financeiros ou investidores vão requerer a máxima transparência quanto ao nível e à estabilidade do fluxo de remuneração do investimento. A capacidade de financiamento do projeto é avaliada a partir desses parâmetros. O grau de estabilidade

30. No terceiro trimestre de 2019, a Vestas adquiriu 25,1% do capital social da SoWiTec Group GmbH (SoWiTec), uma conhecida empresa de desenvolvimento de projetos, para apoiar a estratégia de codesenvolvimento da Vestas e melhoria nas ofertas híbridas. A Vestas detém cláusula de aquisição de até 100% (VESTAS, 2020).

31. Embora os custos de O&M representem uma grande parcela dos custos totais ao longo da vida útil de um parque eólico, da ordem de 30% e com grande impacto no chamado LCOE (custo nivelado médio de energia) da fonte (IRENA, 2020).

do mecanismo de precificação da energia no futuro também influencia o custo do capital (IRENA-GWEC, 2012).

A literatura também enfatiza a importância do setor para promover o desenvolvimento industrial local e a competitividade, mas alerta sobre a necessária superação de riscos técnicos e de financiamento (IRENA-GWEC, 2012).

O risco técnico diz respeito a vários aspectos que podem comprometer o desenvolvimento do setor, como o preparo do sistema elétrico para conectar mais pontos na rede de transmissão ou receber mais energia na rede elétrica. É conhecido o caso do Brasil, onde a falta de infraestrutura de linhas de transmissão deixou diversos parques eólicos parados, sem possibilidade de conexão, o que levou o governo a limitar, posteriormente, a construção de novas usinas eólicas em locais que não tivessem esse tipo de infraestrutura pronta.

Os riscos podem ser minimizados por um adequado arranjo entre governo e o sistema de financiamento de longo prazo para disponibilizar um conjunto de instrumentos de apoio ao setor e, deste modo, aumentar a atratividade dos projetos. No caso do Brasil, o BNDES é reconhecido como um dos principais agentes na consolidação do setor, em função da dupla função exercida, tanto de viabilizar o financiamento adequado quanto de incentivar a nacionalização da indústria.

3.3.3. Estruturas de custo e investimento

Em termos das estruturas de custo e investimento no setor eólico, de acordo com relatório da IRENA (2020), a maior parte do custo total instalado de um projeto eólico está relacionada aos aerogeradores e, mesmo considerando a queda nos custos observada nos últimos 10 anos, historicamente, a faixa de participação é de 64% a 84% para *onshore*, e de 30% a 50% para *offshore*.

As cinco principais categorias do custo total de um parque eólico, de acordo com IRENA (2012a, 2020), estão associadas com:

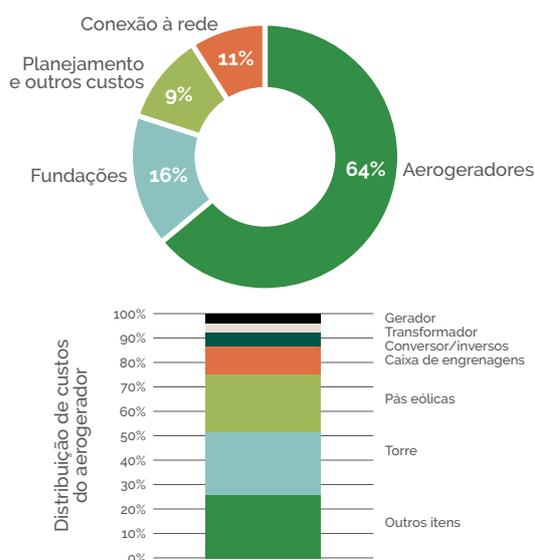
- Aerogerador³², envolvendo rotor (pás eólicas/cubo), caixa multiplicadora, gerador, nacele, conversor/inversor, transformador e torre: o custo pode chegar até 84%, mas, em média, varia entre 64% e 74% dos custos de instalação;
- Serviços de construção civil do parque e das fundações para as torres dos aerogeradores: custos variam entre 8% e 17%;
- Serviços e equipamentos de conexão à rede elétrica, incluindo transformadores, subestações, conexão à rede de distribuição: variação de custos entre 8% e 11%;
- Planejamento e projeto: a depender da complexidade do projeto, podem representar uma parcela significativa dos custos não relacionados ao aerogerador: entre 9% e 11%;

³². De acordo com (IRENA, 2017), a variação dos preços do cobre e do aço impactam diretamente o custo dos aerogeradores e, em 2009, seu preço para projetos acima de 100MW atingiu um pico histórico em torno de US\$ 1.809/kW na Europa e nos Estados Unidos, ou seja, mais que o dobro (139%) do valor de US\$ 755/kW observado em 2002. Em 2014, o valor nos Estados Unidos já tinha caído para US\$ 931/kW e US\$ 676/kW na China, a partir do desenvolvimento de capacidade naquele país.

- O custo da terra representa uma das menores parcelas dos custos totais e, em geral, é expresso por meio de contratos de arrendamento de longo prazo, mas a terra também pode ser adquirida.

Apesar da redução nos custos ao longo do período, tanto para os aerogeradores quanto para os parques eólicos, o preço dos equipamentos sempre se moveu para o limite superior de participação do total dos custos. Uma visão da estrutura de custos de um parque eólico *onshore* típico é apresentada na **Figura 17**.

Figura 17 - Custo de capital de parque eólico *onshore* típico



Fonte: (IRENA, 2012a)

A visão detalhada da distribuição dos custos de um projeto eólico permite enxergar detalhes das oportunidades econômicas ao longo dos distintos elos da cadeia de valor do setor eólico.

3.3.4. Inovação e competitividade

O processo de inovação tecnológica foi uma constante para o aumento da competitividade do mercado de geração de energia renovável. Isso também é uma realidade para o setor eólico, tanto no ambiente *onshore* quanto no *offshore*, com registro de importantes avanços tecnológicos e com relevante impacto econômico.

Assim, a tendência de aumento dos aerogeradores, expressa por altura do cubo e diâmetros cada vez maiores do rotor, tem como resultado o crescimento dos fatores de capacidade, cujo aumento significa mais aproveitamento da potência nominal de um aerogerador para um determinado local.

Associada a esses avanços tecnológicos, está a redução dos custos totais de instalação e de O&M, com impactos na redução do chamado custo nivelado médio da vida útil da eletricidade (LCOE), que é utilizado como base de comparação de competitividade entre diferentes fontes (IRENA, 2018); (LAZARD, 2019); (IRENA, 2020).

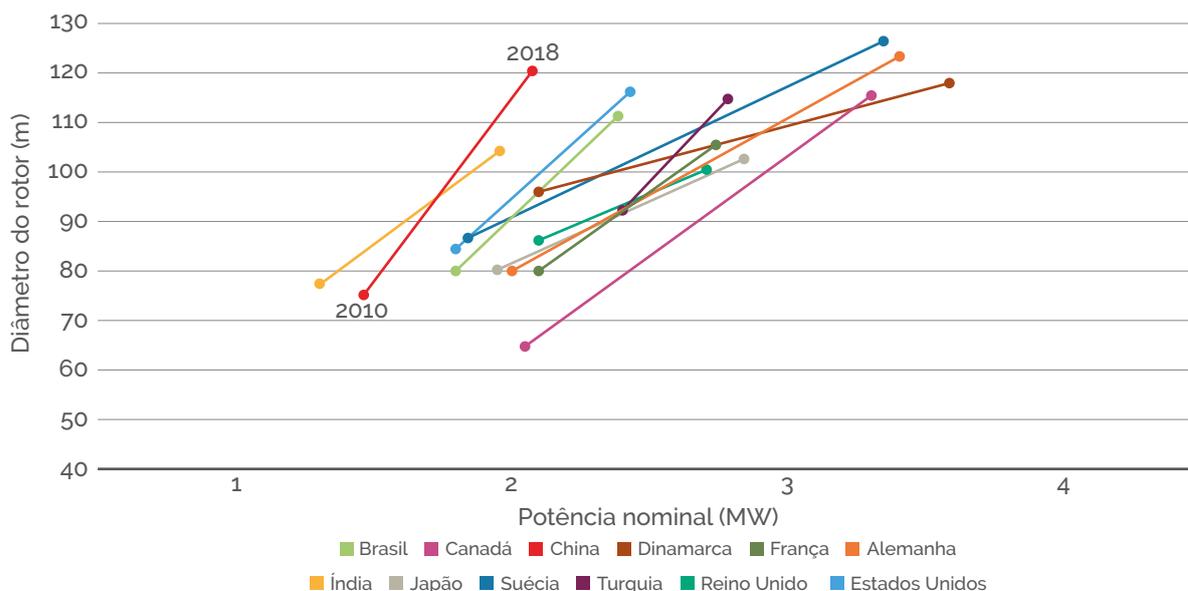
Entre 2010 e 2018 houve um aumento significativo na potência nominal e no diâmetro do rotor, em praticamente todos os mercados eólicos do mundo, incluindo o brasileiro (cujos números detalhados serão apresentados posteriormente).

33. De acordo com nota da (IRENA, 2018), o LCOE das tecnologias de energia renovável varia de acordo com o país e o projeto, custos de capital e operacionais e na eficiência / desempenho da tecnologia. A abordagem é baseada em análise do fluxo de caixa descontado.

De acordo com o estudo da IRENA (2020), destacaram-se nessa trajetória a Suécia, a Alemanha, a China e o Canadá, com aumentos superiores a 40% no diâmetro

médio do rotor e na capacidade do aerogerador de seus projetos instalados entre 2010 e 2018. A **Figura 18** apresenta esses números em nível mundial.

Figura 18 - Evolução média ponderada do diâmetro do rotor e da capacidade nominal dos aerogeradores, 2010-2018



Fonte: adaptado pelo autor com base em (IRENA, 2020).

No caso do Brasil, a evolução no tamanho dos aerogeradores segue a mesma tendência dos mercados globais. Na **Tabela 16**, é possível observar uma mudança

significativa nos aerogeradores instalados e a instalar no país, considerando o período entre 1999 e 2024.

Tabela 16 - Perfil dos aerogeradores nos parques eólicos do Brasil, 1999-2024

Período ³⁴	Potência ³⁵ nominal média (MW)	Aerogeradores instalados (unidades)	Aerogeradores instalados (acumulado)	Percentual de aerogeradores instalados/ a instalar no período
1999-2004	0,6	41	41	0,40%
2006-2009	1,2	418	459	4,11%
2010-2013	1,8	1.787	2.246	17,58%
2014-2017	2,2	4.188	6.434	41,20%
2018-2021	3,0	2.128	8.562	20,93%
2022-2024	4,0	1.604	10.166	15,78%

Fonte: adaptado pelo autor, a partir da base de dados da ABEEólica, atualizado em 17/06/2020

34. Situação dos parques: "operação", "construção", "contratado" e "teste".

35. Potência nominal mínima e máxima do conjunto de aerogeradores no país: 0,5 e 4,3 MW.

CRIAÇÃO DE EMPREGOS NO SETOR EÓLICO BRASILEIRO

Estimativas em curto, médio e longo prazo

A acentuada redução dos custos dos aerogeradores, dada a sua representatividade no custo dos projetos, refletiu de forma direta em outros indicadores importantes para avaliar a competitividade da fonte, comparada às demais fontes energéticas, a saber:

- Custos totais de instalação de parques eólicos;
- Fatores de capacidade
- Custos de operação e manutenção (O&M);
- Custo nivelado médio da vida útil da eletricidade (LCOE).

De acordo com IRENA (2020), o custo total médio ponderado global instalado dos projetos eólicos *onshore* caiu 24% entre 2010 e 2019, de US\$ 1.949/kW para US\$ 1.473/kW. Se comparada ao período entre 1983 e 2019, a queda foi de 72%, de US\$ 5.179 para US\$ 1.473/kW. Grande parte dessa queda ocorreu como resultado da

redução do preço dos aerogeradores e da construção dos parques eólicos.

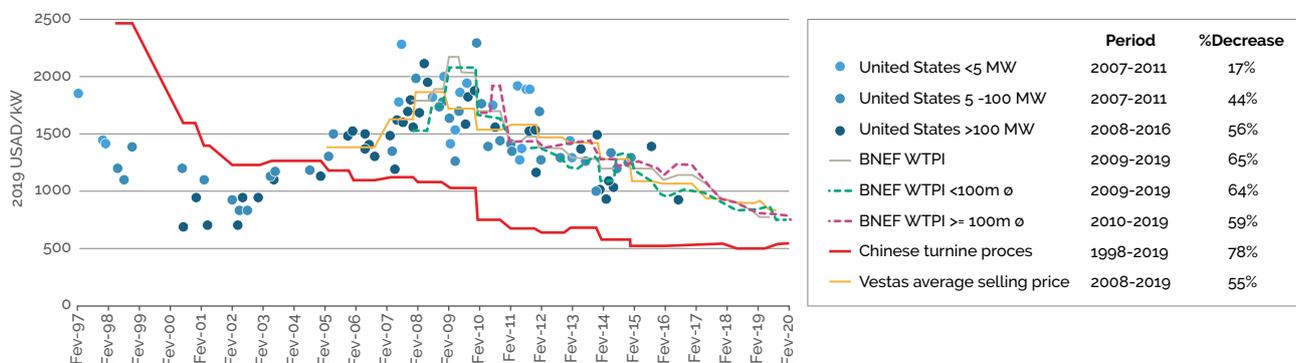
Os custos de O&M, por ocorrerem ao longo de toda a vida útil³⁶ de um parque eólico *onshore*, representam até 30% do LCOE de projetos eólicos. Além de melhorias tecnológicas, há mais concorrência entre fornecedores de serviços e uma curva de aprendizagem entre os agentes do setor.

Também há um esforço dos fabricantes de aerogeradores (OEM) para aumentar sua participação em contratos de serviço, em função das margens potenciais de lucro mais altas, no lugar apenas das vendas (BNEF, 2020 e Wood Mackenzie, 2019a apud IRENA, 2020)

Ao mesmo tempo em que os aerogeradores ficam cada vez maiores, eles também sofrem contínuas reduções de custo.

A **Figura 19** apresenta a tendência de queda nos custos depois do pico de 2009-2010. Ao final de 2019, aos custos já haviam caído entre 44% e 78%, com os preços mais recentes variando entre US\$ 560/kW e US\$ 583/kW.

Figura 19 - Índices de preços de aerogeradores e tendências de preços, 1997-2019



Fonte: adaptado pelo autor (IRENA, 2020)

³⁶ Os estudos de custos da IRENA, comparados por meio do LCOE, utilizam como padrão uma vida útil de 25 anos para as diferentes fontes.

Apesar disso, essa participação dos fabricantes está diminuindo, visto que os proprietários de ativos, no esforço de redução de custos, estão internalizando ou terceirizando a maior parte desses serviços de O&M. A participação dos fabricantes caiu de 70%, em 2016, para 64%, em 2017, e uma queda de mais dez pontos percentuais é esperada até 2027 (Make Consulting, 2017, apud IRENA, 2020).

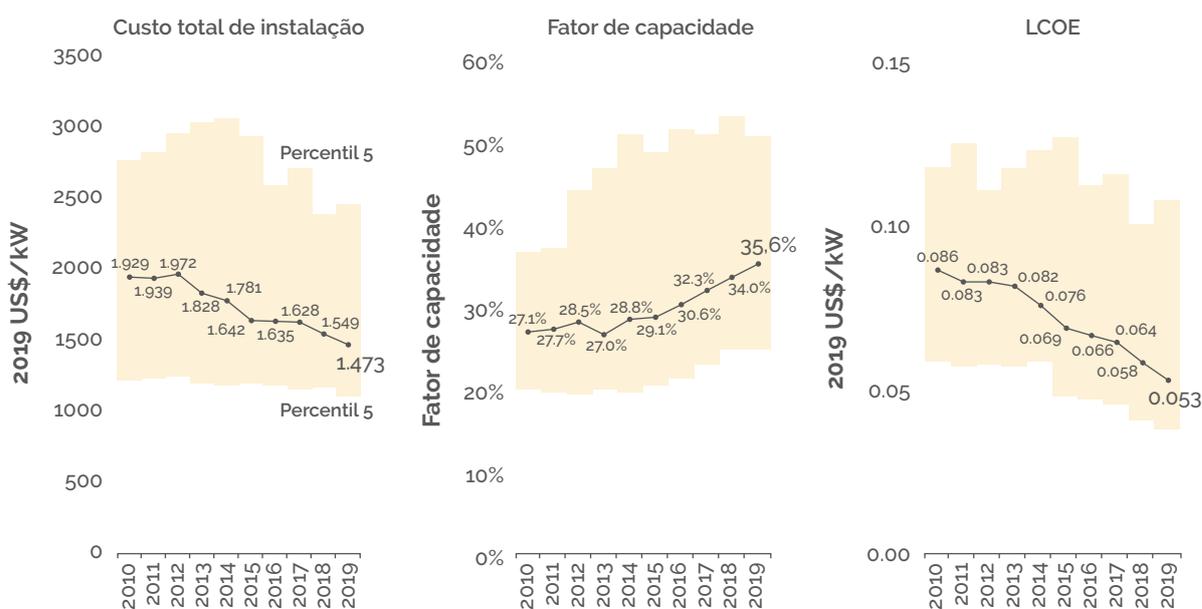
Informações públicas de fabricantes, contudo, explicitam estratégias ativas para ampliar participação no mercado de serviços de O&M para parques eólicos, para os quais tenham fornecido os aerogeradores. O fabricante original do equipamento [OEM] também pode dar manutenção em equipamentos de outros fabricantes. (VES-TAS, 2019).

De acordo com fontes do mercado, a margem de lucro para serviços de O&M é mais do que três vezes maior que a da venda do equipamento, com a vantagem da criação de uma relação de longo prazo com o investidor/proprietário do parque.

3.3.5. Racional da competitividade do setor eólico

Na última linha dos balanços financeiros, o número representado pelo LCOE de um parque eólico considera todos os custos de instalação, fator de capacidade, custos de O&M, vida útil econômica do projeto e custo de capital. Entre 1983 e 2019, esse indicador diminuiu 83%, de US\$ 0,308/kWh para US\$ 0,053/kWh. A **Figura 20** permite uma visão geral dos índices que refletem o atual estágio da competitividade da fonte eólica.

Figura 20 - Custos médios totais ponderados globais, fatores de capacidade e LCOE para energia eólica *onshore*, 2010-2019



Fonte: adaptado pelo autor, a partir de (IRENA, 2020)

O racional por trás da redução desse número na última linha (bottom line), de acordo com IRENA (2020), inclui:

- **os avanços tecnológicos do aerogerador**, ao lado de uma melhoria na caracterização dos recursos eólicos e na capacidade de otimização do leiaute dos parques, por meio de *softwares* de projeto, que permitiram aproveitar melhor o recurso eólico e minimizar perdas de produção, resultando em aumento na geração de energia e redução de custos de O&M (Lantz et al., 2020) apud (IRENA, 2020);
- o efeito das **economias de escala**, que reduziu custos de fabricação e instalação, e os custos de O&M, a partir da redução do número de aerogeradores para um projeto, em função do aumento das capacidades nominais dos novos modelos;
- a **redução dos custos de O&M**, decorrentes da combinação de inspeções autônomas e de tecnologias digitais, que permitiram uma melhoria na análise de dados e, em consequência disso, melhorias na confiabilidade e durabilidade de novos aerogeradores. Tal diminuição de custos decorre, ainda, da redução do número de aerogeradores para uma determinada capacidade. Há mais participantes entrando no setor de serviços de O&M para energia eólica *onshore*, o que aumenta a concorrência e diminui os custos (BNEF, 2019c e BNEF, 2020 apud IRENA, 2020);
- **compras competitivas**, geradas pela mudança dos esquemas de suporte tarifário para os leilões competitivos.

Isso está levando a reduções adicionais de custos, pois impulsiona a competitividade em toda a cadeia de fornecedores, do desenvolvimento à O&M, tanto em escala local quanto global.

Olhando em perspectiva, a competitividade do setor eólico pode ser expressa por meio de alguns índices-sínteses, que refletem como a combinação de avanços tecnológicos permitiu reduções expressivas nos custos totais de instalação (produto e processos construtivos), aumento de eficiência técnica (fator de capacidade), reduções nos custos de O&M e uma redução contínua nos custos nivelados (LCOE), quando se compara a fonte eólica a outras fontes de origem renovável e, ainda, a fontes não renováveis, como o carvão.

Espera-se que, entre 2018 e 2030, o custo da energia eólica *onshore* tenha uma redução de até 25% em função dessa tendência histórica, com destaque para as inovações no O&M, que incluem monitoramento de dados em tempo real, possibilidade de sinergias na gestão de grandes portfólios de aerogeradores e implantação de técnicas de manutenção preditiva, habilitadas pela combinação de tecnologias de IoT, *big data analytics* e computação em nuvem (IRENA, 2020a).

No caso da energia eólica *offshore*, a redução nos custos estará associada a melhorias na gestão do ciclo de vida do projeto e aerogeradores de até 20 MW, que deverão resultar em aprimoramento nos fatores de capacidade e na geração de energia.

A curva de experiência e a maturidade do setor estão reduzindo os riscos e incertezas do investimento, e contribuem também para a redução do custo de financiamento. Estima-se uma queda de 55% no LCOE médio entre 2018 e 2030, de US\$ 0,115/kWh para US\$ 0,054 kWh (IRENA, 2020a).

3.4. Aspectos socioeconômicos

Os impactos socioeconômicos do setor eólico podem ser vistos a partir da sua capacidade de inovação tecnológica, da possível redução da geração de energia proveniente de fontes de origem fóssil pelos países em desenvolvimento³⁷, do desenvolvimento industrial, da geração distribuída e da universalização do acesso à energia elétrica, do desenvolvimento local e regional (principalmente em áreas rurais) e de sua capacidade de geração de empregos. (SIMAS, 2012).

O foco deste trabalho é emprego e, neste sentido, as próximas seções serão sobre características e locais onde são gerados esses empregos em todas as suas etapas produtivas. Serão apresentados também os resultados da pesquisa sobre a criação de empregos diretos no Brasil.

3.4.1. Emprego e perfil profissional

A definição de emprego e perfil profissional é importante para o entendimento das necessidades de mão de obra requerido nes-

se trabalho, tendo em vista que o processo de criação de valor no setor eólico envolve diversas atividades que demandam diferentes perfis de profissionais para a sua execução. Como será demonstrado, os empregos no setor eólico, em termos de quantidades, níveis de competência, educação formal, treinamento, especialização e experiência, são distintos ao longo da cadeia de valor.

De acordo com os padrões internacionais de classificação de ocupações (ISCO-08³⁸), que no Brasil são regulados pela Classificação Brasileira de Ocupações (CBO), emprego ou situação de trabalho define-se como um conjunto de atividades (tarefas e responsabilidades) que são executadas, ou que deveriam ser executadas, por uma pessoa com ou sem vínculo empregatício (ILO, 2012). O emprego é a unidade estatística básica da CBO, que é o documento normalizador do reconhecimento, da nomeação e da codificação dos títulos e conteúdo das ocupações do mercado de trabalho brasileiro³⁹.

Já o conceito de ocupação ou profissão define-se como o conjunto de empregos cujas principais atividades são caracterizadas por alto grau de semelhança, ou seja, trata-se da agregação de empregos ou situações de trabalho similares quanto às atividades realizadas.

Nesse contexto, aplica-se o conceito de competência, que diz respeito à habilidade ou à capacidade de executar as ativida-

³⁷. Trata-se do conceito de *leapfrogging* descrito por Goldemberg; Lucon, (2007) apud SIMAS (2012).

³⁸. Do acrônimo em inglês: International Standard Classification of Occupations. O número 8 se refere ao ano em que o comitê de especialistas aprovou o novo padrão de classificação de ocupações ou profissões.

³⁹. <http://www.mteco.gov.br/cbosite/pages/informacoesGerais.jsf>

des de um determinado emprego, e pode ser entendida a partir de duas dimensões pelas quais são organizadas as diversas ocupações ou profissões:

- **nível de competência:** é função da complexidade, abrangência e responsabilidade das atividades desenvolvidas em determinado emprego ou em outro tipo de relação de trabalho;
- **domínio da competência(ou especialização):** relaciona-se às características do contexto do trabalho, tais como a área de conhecimento requerida, a atividade econômica, os materiais, as ferramentas e os equipamentos utilizados, o processo produtivo e os tipos de bens e serviços produzidos, que identificarão o tipo de profissão ou ocupação.

O nível de competência é medido, do ponto de vista operacional, a partir da consideração de um ou mais aspectos, tais como:

- **natureza do trabalho** executado em uma ocupação em relação às atividades características definidas para cada nível de qualificação do padrão internacional (*major groups*);
- **nível de educação formal** definido na classificação do padrão internacional de educação das Nações Unidas⁴⁰, requerido para o desempenho efetivo das atividades profissionais;
- **quantidade de treinamento** informal interno e/ou experiência prévia relacionada ao desempenho efetivo das atividades associadas à posição.

Em termos da natureza do trabalho, existem dez (10) grandes grupos de ocupações/profissões, que podem ser associados aos quatro (4) níveis de competências, conforme a **Tabela 17**.

Tabela 17 - Mapeamento dos grupos da ISCO-08 por níveis de competências

10 grandes grupos de profissões – ISCO-08		Níveis de competências
1	Gerentes	3 + 4
2	Profissionais	4
3	Técnicos/as e tecnólogos/as	3
4	Trabalhadores/as de apoio administrativo	2
5	Serviços e vendedores/as	
6	Trabalhadores/as qualificados dos setores agrícolas, florestais e pesca	
7	Artesanato e trabalhadores/as de comércios relacionados	
8	Operadores/as de instalações, de máquinas e montagem	1
9	Ocupações simples	
0	Ocupações das Forças Armadas	1 + 2 + 4

Fonte: (ILO, 2012)

⁴⁰. Do acrônimo ISCED-97, ou *International Standard Classification of Education*, aprovado em 1997 pela UNESCO.

Existem quatro (4) níveis de competências, de acordo com a classificação das Nações Unidas. No primeiro nível estão aquelas ocupações ou profissões que envolvem a execução de tarefas físicas simples e rotineiras ou tarefas manuais (ISCED97-Nível 1), com conhecimento educacional formal primário, e curto período ou necessidade reduzida de treinamento.

No nível mais alto, estão as profissões que envolvem soluções complexas de problemas, tomadas de decisão e criatividade, com base em conhecimento altamente especializado (ISCED97- Nível 5a ou supe-

rior), cuja aquisição decorre de processo de educação formal superior, por um período de 3 a 6 anos, subsequente à concessão de uma primeira formação (ou substituída por grande experiência e treinamento no trabalho ou, ainda, que pode ser adicionalmente obrigatória à educação formal).

Nos casos em que os requisitos formais de educação e treinamento são usados como parte da medição do nível de competências de uma ocupação/profissão, estes requisitos são definidos em termos do ISCED97, conforme representado na **Tabela 18**.

Tabela 18 - Mapeamento dos níveis de competências da ISCO-08 vis-à-vis os níveis de educação formal da ISCED97

Níveis de competências (ISCO-08)	Níveis de educação formal (ISCED-97)
4	6 - Segunda etapa do ensino superior (avançada qualificação em pesquisa) 5 a - Primeira etapa do ensino superior, 1ª ormação (média duração)
3	5 b - Primeira etapa do ensino superior (curta ou média duração)
2	4 - Ensino pós-secundário e não superior 3 - Nível de ensino secundário superior 2 - Nível de ensino secundário inferior
1	1 - Nível primário de educação

Fonte: (ILO, 2012)

As ocupações no setor eólico, que serão detalhadas na próxima seção, possuem profissionais comuns com outras indústrias, desde advogados/as, administradores/as, consultores/as em meio ambiente, engenheiros/as, especialistas diversos/as (logística, prospecção de áreas, recurso eólico, regulação etc.), gerentes e supervisores/as em várias funções, instrutores/as e treinadores/as de ensino profissionalizante, montadores/as e operadores/as em linha de fabricação, motoristas de caminhão, operadores/as de equipamen-

tos (guindastes, construção etc.), técnicos/as de diversas especialidades e trabalhadores/as em geral (montagem do aerogerador, de construção), dentre outros.

Considerando as especificidades das ocupações no setor, a quantidade de empregos é dependente do volume anual de inserção de potência eólica e da distribuição regional do local de execução das atividades. Quanto à estabilidade dos empregos, isso dependerá do estoque de potência instalada para a etapa de O&M e

da perspectiva de inserção de potência ao longo do tempo para as demais etapas.

Esse é o esforço que será realizado neste trabalho, a partir da dinâmica ou padrão de criação de empregos no setor no Brasil, levando em conta tanto os aspectos tecnológicos e econômicos próprios do setor, quanto o contexto econômico e institucional brasileiro no horizonte proposto.

3.4.2. Perfis profissionais da cadeia de valor da energia eólica

Além da reconhecida capacidade da energia eólica de mitigar as emissões de gases de efeito estufa, de minimizar os efeitos do aquecimento global e as consequentes mudanças climáticas - ao contrário da opção da queima de combustíveis fósseis - existe também uma ampla bibliografia sobre aspectos socioeconômicos decorrentes do investimento em energias renováveis em todo o mundo (ILO, 2011).

Conforme relatado por Simas (2012), é inquestionável a capacidade das energias renováveis para fomentar inovações tecnológicas⁴¹; promover o desenvolvimento produtivo e industrial; viabilizar a geração distribuída e o acesso à energia em áreas remotas; promover o desenvolvimento regional e local; e, por enfim, criar novos tipos de empregos em todas as etapas de suas cadeias de valor.

Os primeiros estudos sobre criação de empregos foram produzidos na Europa, devido ao pioneirismo no setor e, também, nos Estados Unidos. Sabe-se, contudo, que, apesar do grande número de trabalhos já realizados, muitos diferem em seus resultados, especialmente em função de distintas premissas e métodos, além do uso de dados agregados, que impedem comparações em contextos diferentes dos estudados (UNEP/ILO/IOE/ITUC, 2008; RUTOVITZ; ATHERTON, 2009 apud SIMAS, 2012).

Dentre esses trabalhos, cabe destacar o esforço realizado no âmbito do projeto europeu *Wind Energy-The Facts*. A publicação, em cinco (5) partes, apresenta diversos aspectos, desde tecnologia até uma seção dedicada à economia do setor, o qual apresenta, além da metodologia utilizada para estimativas de geração de emprego para diversos países da União Europeia, uma descrição dos principais perfis profissionais do setor (BLANCO, GARRAD, *et al.*, 2009). Também a *European Wind Energy Association* (EWEA), atualmente *WindEurope*, publicou análise específica sobre a dimensão do emprego e todas as variáveis associadas ao tema (EWEA, 2009).

Ambos os trabalhos fazem referência a diversas abordagens levadas a cabo em dezessete (17) estudos sobre a questão do emprego no setor de energia eólica, entre os anos de 2004 e 2008, indicando fonte, título, cobertura geográfica, me-

⁴¹ E, além disso, a inserção desses novos ativos de geração de energia variável (VRE - *Variable Renewable Energy*), deverão impactar todos os aspectos técnicos, institucionais e econômicos de um sistema nacional de energia elétrica, cujo processo de inserção requer um cuidadoso processo de intervenção por meio de um conjunto de políticas coordenadas para as diversas etapas de implantação, que passam por (i) aspectos técnicos, (ii) novos ativos (*hardware*), (iii) serviços (*software*) e, (iv) novos arranjos/arquiteturas institucionais. Vide (IRENA/OECD-IEA/REN21, 2018), a partir da página 96.

metodologia e resultados principais. Posteriormente a esse trabalho seminal de consolidação de iniciativas de estimativas de geração e qualificação do emprego no setor eólico, vários outros foram realizados, apesar das diferentes abordagens e dificuldades de comparação.

Mas, no que se refere à qualificação, existiam convergências e, falando sobre o caso americano, Hardcastle et al (2009) já enfatizavam que o sucesso da inserção crescente das fontes renováveis na matriz elétrica dos Estados Unidos iria depender fortemente da capacidade do mercado americano em fornecer uma força de trabalho qualificada para atender às necessidades do setor (HARDCASTLE, WATERMAN-HOEY e KUNKLE, 2009).

Também nos Estados Unidos, a *Electric Power Research Institute* (EPRI) desenvolveu esforço de caráter educativo para uma melhor compreensão do impacto econômico das energias renováveis em relação à criação de empregos. Para tanto, utilizou-se de uma metodologia do tipo meta-análise, a partir de mais de dezoito (18) estudos publicados entre 2002 e 2012, sobre o potencial de geração de empregos de energia renovável no segmento de operação e manutenção (O&M), associado a diversas fontes de geração de energia renovável, incluindo energia eólica *onshore* (EPRI, 2013). Em geral, a exemplo desse trabalho, o uso de meta-análise a partir de outros estudos é recorrente.

Mais recentemente, em revisão da literatura acadêmica sobre oportunidades de empre-

go associadas à implantação de tecnologia de energia renovável, foram identificados cerca de setenta (70) estudos e fontes de dados sobre impactos no emprego decorrentes do crescimento de energia renovável. São poucos os trabalhos que fornecem estimativas que distinguem os fatores de emprego para as etapas de fabricação e instalação, e que apresentam dados para fatores de emprego em operação e manutenção (CAMERON e ZWAAN, 2015).

Importante ressaltar também, em linha com os avanços na oferta de energia eólica por meio de tecnologia de produção eólica *offshore*, que o Reino Unido se consolidou como país líder na implantação de parques eólicos *offshore*, em termos de GW instalados.

Nesse sentido, a Cambridge Analytics (2017) desenvolveu estimativa para a geração de empregos no segmento *offshore* até 2032, partir de metodologia desenvolvida em 2013 para a *UK Renewables*, distinguindo as ocupações nas categorias de gestão, técnica/profissional, manual qualificado/técnico, operação/semi-qualificado e outros. O referido estudo estimou que, até 2032, a quantidade total de empregos diretos nesse segmento, em região específica do Reino Unido, poderá atingir 21.000 empregos em tempo integral, contra os cerca de 10.000 empregos existentes à época do estudo, ou seja, um incremento da ordem de 5% ao ano (CAMBRIDGE ANALYTICS, 2017).

Na área de tecnologia, inovações substanciais reduziram o custo nivelado de ener-

gia (LCOE) em projetos de energia eólica *onshore* e *offshore*, pela combinação da redução dos custos de equipamentos, de instalação e de operação com o aumento da produção de energia por aerogerador, de acordo com Wiser et al. (2016) apud (IEA, 2019).

Além disso, especialistas reunidos pela Agência Internacional de Energia (IEA) para desenhar o futuro da tecnologia para energia eólica, analisando o impacto do conjunto de tecnologias associado à indústria 4.0, o que se convencionou chamar de digitalização do setor, apontam que essas tecnologias deverão contribuir para a redução dos custos e para a integração na rede elétrica, e deverão ter um impacto significativo na redução do CapEx e do OpEx, em especial no custo de O&M (IEA, 2019), reconhecidamente o elo da cadeia de valor que conta com taxas crescentes na criação de empregos estáveis ou permanentes.

Atualmente, as bases de dados e relatórios sobre emprego no setor de renováveis, mantidos e publicados pela IRENA se constituem as mais importantes referências técnicas globais. Apesar de esforço iniciado em 2011, o relatório publicado em 2012 foi um marco para aquela organização internacional, no qual ela também identificou a contribuição de outras iniciativas que buscaram identificar e qualificar os empregos globais na geração de energias renováveis, tais como REN21 (2005), UNEP (2008), Greenpeace (2009); além de outras iniciativas de caráter nacional de diversos países (IRENA, 2012).

É importante enfatizar que a publicação da IRENA trata da uniformização de dados estatísticos para quatro diferentes tópicos:

- (i) dados de capacidade de geração das fontes de energia renovável, que consideram a capacidade líquida máxima de geração de eletricidade decorrente do somatório das capacidades máximas de todas as usinas individuais disponíveis operando continuamente no período de um dia;
- (ii) definição de energia elétrica renovável, suas tecnologias e características técnicas;
- (iii) aspectos associados à educação para a área de energias renováveis, em termos de cursos e programas, webinars, guias/manuais de treinamento e estágios;
- (iv) aspectos metodológicos relacionados com emprego no setor de renováveis, em termos da própria base de dados da organização, que inclui emprego direto e, quando disponível, emprego indireto, não sendo computado o chamado emprego induzido (ou efeito renda). Ressalte-se que algumas fontes de dados relatam apenas emprego direto, o que pode acarretar a subestimação do volume de empregos gerados pela fonte (IRENA, 2015).

Um dos relatórios mais recentes sobre estimativas de emprego no mundo para o setor eólico aponta para alguns números-chave, como a marca de 1,16 milhões de empregos em 2018; para a participação da

China na geração de quase 40% dos empregos no setor de energias renováveis; para o fato de que quase um terço dos empregos é gerado pela tecnologia solar fotovoltaica; e para a presença crescente de mulheres no setor, cuja participação já atingiu mais de 30% (IRENA, 2019).

Ainda são poucas as publicações acadêmicas nacionais sobre emprego no setor eólico, e são praticamente inexistentes estudos sobre carreiras e competências profissionais no setor de energias renováveis no Brasil (ABDI, 2018a). Isso ocorre, inclusive, em função do nível de desenvolvimento econômico em que o setor se encontrava até o final da primeira década do século XXI, quando os esforços estavam mais centrados no desenvolvimento de capacidade produtiva e de ganho de competitividade de custo frente às demais fontes.

No caso do Brasil, merece destaque o esforço pioneiro realizado por Simas (2012), que estimou o potencial de criação de empregos no setor eólico para o Brasil. A partir de uma revisão da bibliografia sobre o tema, utilizou uma metodologia que combinou o conceito de avaliação do ciclo de vida⁴², uma matriz do tipo insumo-produto para dimensionamento dos esforços de trabalho no setor (e suas relações com a economia como um todo⁴³), a realização de entrevistas semiestruturadas para obtenção de dados qualitativos, a determinação

de um índice de empregos-ano/MW em função de capacidade instalada por etapa da cadeia de valor, e a elaboração de cenários. Os empregos diretos foram obtidos a partir dos índices de empregos-ano/MW, e os empregos indiretos e induzidos, por meio da matriz de insumo-produto (SIMAS, 2012).

Assim, o presente trabalho pretende ampliar ainda mais a compreensão do potencial de geração de empregos do setor eólico no Brasil. De acordo com as mais recentes estimativas e dado o grau de competitividade que a fonte desenvolveu nos últimos dez anos, espera-se um significativo crescimento da geração de energia de fonte eólica em curto, médio e longo prazo. Para tanto, é importante ter um entendimento de como funciona a cadeia de valor da energia eólica.

3.4.3. Cadeia de valor da energia eólica

De acordo com abordagem atualizada sobre a cadeia de valor da energia eólica, ela é comumente dividida em vários segmentos/fases, que compreendem diversas atividades relacionadas, as principais e as de apoio (IRENA, 2017). Assim, é importante entender como ocorre a criação de valor econômico no setor, decorrente da combinação e da contribuição de diversos sub-setores e atividades que concorrem para o desenvolvimento de um projeto eólico.

⁴² No caso específico, pela avaliação dos impactos ambientais derivados do uso de matérias-primas, uso e descarte final (do berço ao túmulo) associados com os processos de fabricação dos aerogeradores, na construção dos parques eólicos, sua operação e desativação ao longo do período de vida útil do projeto.

⁴³ Enquanto a ACV parte de dados físicos desagregados ao longo do processo (peso em toneladas de material, por exemplo), a matriz insumo-produto está associada com dados agregados das contas nacionais expresso em unidades monetárias.

De acordo com ILO (2011), a visão de cadeia também é importante para entender a dinâmica da criação de emprego e as competências necessárias em cada etapa do processo de criação de valor. Assim, o padrão de criação de emprego na fabricação e distribuição de produtos é similar ao de outros setores de bens de capital e, neste sentido, a criação/manutenção de empregos no segmento depende das condições econômicas gerais, das condições do mercado de energia e da capacidade competitiva de cada empresa em particular.

No caso das etapas de **desenvolvimento, construção e instalação** de projetos, o padrão é diferente, e a criação/manutenção do emprego depende da existência de um fluxo contínuo ou previsível de novos projetos ou, em outros termos, da inserção contínua de energia renovável nova na matriz elétrica. A construção de parques tem um padrão próximo ao do próprio setor de construção de obras civis e elétricas.

Para ambas as etapas, esses ciclos de alta e baixa atividade não são desejáveis para as empresas, pois isso implica tanto custos adicionais em gestão de atividades de contratação e treinamento quanto perda de quadros qualificados, entre esses diferentes ciclos, para outros setores econômicos com empregos mais estáveis, por exemplo.

O padrão mais estável de emprego local está na etapa de **operações e manutenção**, considerando que um parque eólico pode ter uma vida útil de 25 anos ou mais, caso ocorra uma renovação ou repotenciação dos equipamentos. Diferentemente das demais

etapas, o emprego nessa etapa é cumulativo, pois a partir da instalação e comissionamento é necessário empregar novas pessoas para operar e manter esses ativos.

Enfim, elevadas inserções de energia em determinadas regiões podem pressionar o mercado de trabalho para oferecer profissionais com os níveis de competência, especialização e experiência requerida para desempenhar as atividades do setor. Assim, é preciso avaliar e preparar a região para oferecer mão de obra em quantidade compatível com o ritmo de inserção de energia nova em regiões ou países específicos.

Fica claro que há uma dinâmica típica para cada elo da cadeia de valor de um projeto eólico, e que os perfis profissionais envolvidos no ciclo de vida desse projeto são diferenciados em função das atividades características em cada segmento/fase dele, seja em termos da qualificação necessária, do tempo alocado por profissional para cada atividade ou, ainda, do espaço territorial onde ocorre a geração de empregos.

Considerando essas características, Eva Llera Sastresa et al (2010) propuseram o enquadramento dos perfis profissionais para a geração de empregos em projetos eólicos nas seguintes categorias:

- **desenvolvimento tecnológico;**
- **instalação e descomissionamento; e**
- **operação e manutenção.**

A partir dessas três (3) categorias, atribuem-se valores para grau de geração de empregos (alto, médio e baixo); espaço de

geração dos empregos (local, de não-lo-
 cal para local, e de local para não-local);
 a natureza temporal do emprego (estável

ou temporário) e o nível de especialização
 (média, alta e muito alta), conforme descri-
 to na **Tabela 19**.

Tabela 19 - Classificação e características gerais dos empregos no setor eólico

Categoria	Volume de empregos	Localização dos empregos*	Natureza temporal	Nível de especialização
Desenvolvimento Tecnológico	Médio	De não-local para local	Estável	Muito alto
Instalação e Descomissionamento	Alto	De local para não-local	Temporário	Alto
Operação e Manutenção	Baixo	Local	Estável	Médio

* de maior para menor probabilidade

Fonte: adaptado pelo autor, a partir de (LLERA SASTRESA, USÓN, et al., 2010)

De acordo com Llera Sastresa et al. (2010), na primeira categoria, de desenvolvimento tecnológico, estão as ocupações que acontecem externamente ao local do investimento e envolvem atividades de P&D. As ocupações estritas de P&D requerem formação de nível superior e pós-graduação, de mais difícil recrutamento, e envolvem pesquisadores de institutos meteorológicos/climáticos e especialistas em recursos eólicos em nível meso e macro.

Já no P&D em nível de fabricação, o recrutamento não é tão difícil, e o grau de conhecimento requerido é de nível técnico nas áreas de mecânica, elétrica e eletrônica e, ainda, requer a contribuição de pessoal de nível superior como engenheiros/as industriais e de produção.

Na categoria de instalação e descomissionamento (desativação), cuja execução é temporária, são necessários especialistas em desenvolvimento do projeto, cujas atividades não acontecem necessariamente

no local, além de profissionais de construção civil/elétrica, logística e montagem de aerogeradores.

Nessa fase são gerados muitos empregos com nível de especialização alto nas ocupações de gestão e tecnologia, embora sejam criados também muitos empregos de baixa qualificação nas obras civis, e de média qualificação para atividades de instalações elétricas e no içamento dos componentes do aerogerador, por exemplo.

O que caracteriza a fase de operação e manutenção é a criação de empregos estáveis e que, em geral, requerem as mesmas qualificações técnicas de ocupações similares em outras fontes de energia, nas áreas de mecânica e elétrica e, adicionalmente, demandam capacitação para trabalhar em altura e espaços confinados, de baixo conforto térmico e ambiental.

Em geral, os técnicos alocados para atividades de manutenção mais complexas

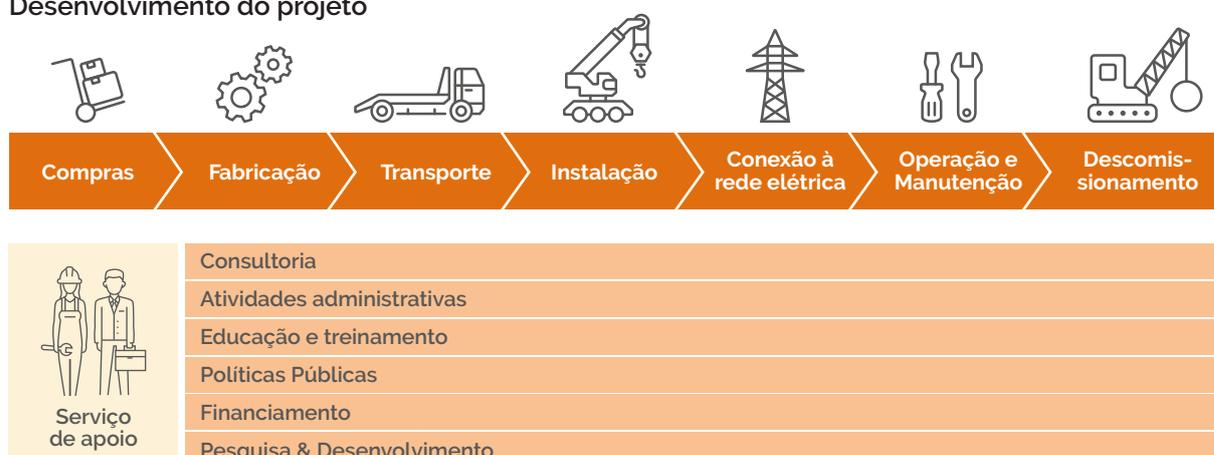
e emergenciais possuem qualificações técnicas superiores aos técnicos residentes envolvidos com atividades mais rotineiras (HARDCASTLE, WATERMAN-HOEY e KUNKLE, 2009).

Mais detalhamento das principais atividades para o desenvolvimento de um empreen-

dimento eólico pode ser visto a partir dos elos da cadeia de valor, envolvendo desde o desenvolvimento do projeto até sua desativação ou descomissionamento. As atividades de apoio envolvem desde atividades de consultoria até elaboração de políticas públicas, conforme pode ser visto na **Figura 21**. Todas as atividades, em cada segmento/fase,

Figura 21 - Cadeia de valor simplificada da energia eólica

Desenvolvimento do projeto



Fonte: adaptado pelo autor, a partir de IRENA (2017)

são classificadas a partir das suas características técnicas, como identificação de sítios adequados às atividades de geração eólica, avaliação econômica, atividades administrativas, processo de compras, tarefas de engenharia e construção etc. e, assim, vão requerer diferentes perfis profissionais (IRENA, 2017).

As ocupações envolvidas na atividade de desenvolvimento do projeto do aerogerador, por exemplo, envolvem engenheiros/as e pesquisadores/as especializados/as em P&D, nas áreas de engenharia mecânica, elétrica e sistemas de controle, requerendo alta qualificação.

Na fabricação, as competências são similares àquelas envolvidas na fabricação de qualquer produto mecânico ou eletromecânico e envolvem engenheiros/as, técnicos/as de manufatura, operários/as de chão de fábrica e especialistas em garantia de qualidade. A cadeia de fornecedores especializada, em geral subcontratada, está envolvida na produção de bens intermediários, como peças mecânicas fundidas e acabadas, produtos de metal, eletromecânicos, montagem de sistemas elétricos e produção/instalação de sistemas de controle.

Logística, transporte e O&M também são áreas importantes das empresas fabri-

cantes de aerogeradores, em função dos modelos de contratos e práticas de comercialização de produtos e serviços associados, como garantia e manutenção estendida. Nesse aspecto, as competências de marketing e vendas são bastante importantes por se tratar de mercado global.

Na próxima seção, serão identificadas todas as atividades necessárias em cada um dos elos dessa cadeia de valor, incluindo breve descrição, nível de competência, grau de especialização, local e uma estimativa da quantidade de pessoas envolvidas.

A execução do conjunto de atividades em cada etapa requer diferentes perfis técnicos, em termos de educação formal, treinamento, especialização, experiência e dos materiais, ferramentas e equipamentos utilizados no processo de criação de valor que caracteriza cada tipo de ocupação ou profissão. Os Anexos 8.1 e 8.2 apresentam, respectivamente, as diversas áreas de conhecimento e as principais ocupações/profissões do setor eólico e grau de qualificação (alto, médio e baixo) exigido para cada uma delas.

A compreensão do perfil dessa mão de obra será endereçada para os seguintes segmentos ou elos da cadeia de valor:

- (i) desenvolvimento de projetos eólicos;
- (ii) fabricação de aerogeradores;
- (iii) logística e transporte;
- (iv) construção, instalação e comissionamento; e,
- (v) operação e manutenção (O&M).

Os serviços de apoio não serão objeto da análise detalhada como os demais, em função da ausência de referências, e pela dificuldade de identificar um padrão de criação de empregos nesse segmento.

3.4.3.1. Desenvolvimento de projetos eólicos

A fase de desenvolvimento de um projeto eólico envolve desde atividades de avaliação de impacto ambiental e social, seleção de locais apropriados, estudos diversos de viabilidade técnica e demais procedimentos legais e administrativos.

Em geral, as empresas envolvidas com o desenvolvimento de projetos utilizam-se de competências internas ou podem subcontratá-las para a realização de um grande conjunto de atividades altamente especializadas. É comum que muitas dessas empresas atuem não somente em energia eólica, mas estejam envolvidas com projetos para outras fontes de energia renovável e outras especialidades, o que pode servir para garantir mais estabilidade nos empregos ou, ainda, para indicar que muitos profissionais atuando nesse segmento da cadeia de valor trabalhem em período parcial ou intermitente (ILO, 2011).

No **Quadro 5**, é possível ter uma visão geral do projeto de parque eólico sob a perspectiva de toda a sua vida útil, do desenvolvimento à desativação. Esse processo pode ser entendido a partir de três frentes de ação (técnico-comercial, ambiental e negociação), ao longo de uma sequência de sete etapas de trabalho.

Quadro 5 - Frentes de ação e etapas de trabalho de um empreendimento eólico

Nº	Etapas	Técnico-Comercial	Ambiental	Negociação
1	Escolha do local	Análise técnica inicial	Análise ambiental inicial	Consulta inicial a entidades governamentais
2	Estudo de viabilidade	Estudo de viabilidade técnica-econômica	Definição detalhada de escopo da análise ambiental	Consulta às comunidades locais
3	Projeto básico	Coleta de dados de vento; escolha do aerogerador e do <i>layout</i> de aerogeradores; revisão da viabilidade econômica.	Avaliação de impactos socioeconômico e ambientais e sobre o sistema elétrico.	Rever e alterar o projeto juntamente com autoridades e comunidades locais.
4	Apresentação do planejamento	Tornar públicos o Relatório de Impactos e os Planejamentos de Construção, Operação e Desativação do empreendimento eólico junto às autoridades e às comunidades envolvidas (o mais amplamente possível). Deixar claras as condições necessárias para a implantação e obrigações assumidas pelos empreendedores.		
5	Implantação	Estabelecer um responsável, junto às autoridades locais, pelo gerenciamento da área e de todas as empresas contratadas. Garantir que estas obedeçam às condições e obrigações.	Acertar com empresas e autoridades locais o uso do solo durante a construção para evitar impactos desnecessários.	Manter diálogo com a comunidade local para garantir que os trabalhos estejam respeitando as obrigações.
6	Operação e Manutenção	Operar e fazer as manutenções rotineiras nos aerogeradores. Gestão administrativa de pessoal e equipamentos.	Estudos de acompanhamento de impactos; correção de rumo se necessário. Sistema formal de atendimento à comunidade em questões socioambientais.	Manter relação ativa de parceria e esclarecimento junto à comunidade local.
7	Desativação	Notificar as autoridades locais, com antecedência, sobre a desativação. Retirar todos os aerogeradores e retornar a área, tanto quanto possível, ao seu estado original. Em geral, o valor residual dos aerogeradores é suficiente para cobrir os custos de desativação.		

Fonte: adaptado de LACTEC e SCHUBERT (2007)

Publicação recente da IRENA (2017) apresenta detalhes dos perfis profissionais envolvidos, do conjunto de informações técnicas necessárias, e dos principais recursos utilizados, como equipamentos e *softwares*, para a execução das atividades envolvidas na etapa de desenvolvimento de projetos eólicos, a saber:

1. seleção de local apropriado;
2. estudos de viabilidade técnica;
3. projeto de engenharia;
4. desenvolvimento integrado do projeto de parque eólico.

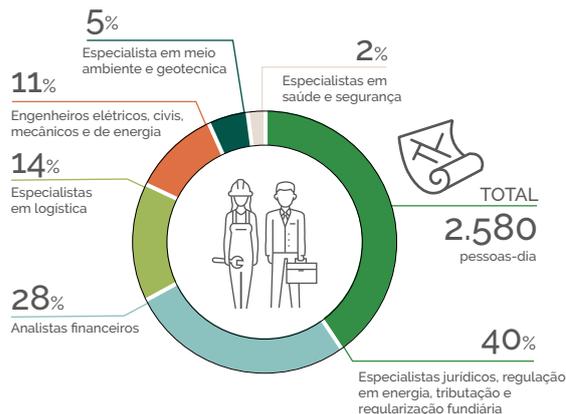
A **Figura 22** apresenta a distribuição percentual da contribuição de cada um daqueles profissionais citados anteriormente

CRIAÇÃO DE EMPREGOS NO SETOR EÓLICO BRASILEIRO

Estimativas em curto, médio e longo prazo

para o desenvolvimento de um projeto eólico de 50 MW, envolvendo 2.580 pessoas-dia na sua elaboração.

Figura 22 - Frentes de ação e etapas de trabalho de um empreendimento eólico



Fonte: adaptado de IRENA (2017)

Assim, pode-se afirmar que, para o desenvolvimento de um projeto de 50 MW, essas 2.580 pessoas-dia podem ser entendidas como 51,6 empregos-dia/MW. Considerando em duzentos e dez (210) o número de dias úteis ao longo de um ano – descartadas as folgas remuneradas dos fins de semana, feriados e férias – pode-se inferir que a razão empregos-ano/MW para essa etapa é de 0,25. A **Tabela 20** apresenta o detalhamento por atividades da etapa ou elo da cadeia de valor.

Tabela 20 - Índices empregos-ano/MW no desenvolvimento de projetos

Seleção de área	0,0275
Análises de viabilidade técnica	0,02
Projeto de engenharia	0,03
Desenvolvimento integrado do projeto	0,1725
Total	0,25

Fonte: adaptado de IRENA (2017)

Para a realização dessa gama tão diversificada de atividades, em geral, a maior parte das ocupações nessa etapa da cadeia de valor é de profissionais com alta qualificação, embora ocupações de média qualificação também sejam utilizadas, porém em menor número (vide anexo 8.2).

3.4.3.2. Fabricação de aerogeradores

O aerogerador é o maior item do custo total de instalação e o principal ativo produtivo de um parque eólico. A venda de aerogeradores é o principal negócio dos fabricantes originais de equipamentos (OEM).

A escolha de um determinado modelo de aerogerador por um desenvolvedor deverá atender as condições de vento e demais restrições existentes no local selecionado e, ao mesmo tempo, atender às necessidades de produção de energia e de retorno financeiro ao investidor e/ou proprietário, ao longo da vida útil do empreendimento.

A partir da definição do modelo, o fabricante deverá comprar os principais componentes (rotor e torre), além de matérias-primas e produtos intermediários que serão utilizados na fabricação e montagem da nacelle, de forma direta ou por meio do desenvolvimento de fornecedores. Itens ou sistemas inexistentes no mercado doméstico, ou com lacunas de competitividade de custo ou desempenho, poderão ser importados pelo fabricante.

Como já mencionado, o custo de *commodities* como aço e cobre é crítico na

composição do custo do aerogerador. Para efeito de visualização, a **Tabela 21** apresenta os valores em toneladas para o

desenvolvimento de um parque eólico de 50 MW, com 12 aerogeradores de 4,2 MW.

Tabela 21 -Distribuição dos materiais necessários para desenvolvimento de um parque eólico de 50 MW e 12 aerogeradores de 4,2 MW (em toneladas)

Material	Aerogerador	Fundações	Cabos elétricos	Transformadores e aparelhagem elétrica
Concreto	0	14.825	0	0
Ferro e aço	4.357	1.114	0	19
Fibra de vidro	221	0	1	1
Polímeros	344	1	175	0
Elétrico e eletrônicos	38	0	0	0
Cobre e ligas	42	1	20	5
Óleo e líquido de refrigeração	18	0	0	7
Alumínio e ligas	75	0	79	0
Outros	15,5	0	0,5	2
Total	5.110,5	15.941	275,5	34

Fonte: adaptado de VESTAS (2019)

Para a realização das atividades relacionadas com aquisições, fabricação e montagem de aerogeradores são utilizados profissionais de alta, média e baixa qualificação (vide anexo 8.2).

De forma geral, as empresas que operam nesse ponto da cadeia de valor desenvolvem, fabricam e vendem aerogeradores e, em muitos casos, eles também estão envolvidos na logística, transporte, instalação e manutenção.

As atividades de compras prévias aos processos de fabricação e montagem envolvem desde a especificação de materiais até a avaliação da disponibilidade local de materiais e de fabricantes de bens intermediários.

A escolha de materiais requer uma compreensão de um conjunto de fatores

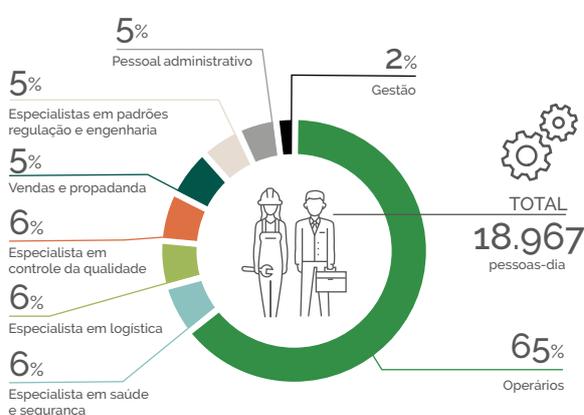
técnicos, exige níveis de competência e de especialização associados com profissionais da área de engenharia, e envolve processos de avaliação e controle de cronogramas físicos, além de especialistas em logística, para garantir a entrega de materiais e produtos.

A seleção e o desenvolvimento de fornecedores de bens intermediários requerem competências técnicas para avaliar o que poderá ser adquirido no mercado doméstico ou o que deve ser importado, o que envolve a gestão de assuntos regulatórios (políticas de conteúdo local, por exemplo), negociações técnicas e comerciais, e questões logísticas.

A área de compras e desenvolvimento de fornecedores é liderada por engenheiros/as e especialistas em compras industriais de

partes e componentes para as quais, em geral, são requeridos protótipos, testes, validações e, em alguns casos, certificações específicas (SHARPLEY, 2015 apud IRENA, 2007). A **Figura 23** apresenta a distribuição dos profissionais envolvidos no desenvolvimento de projeto eólico de 50 MW com 25 aerogeradores.

Figura 23 - Alocação de ocupações para atividades de fabricação de 25 aerogeradores de parque eólico típico, com potência nominal total de 50 MW



Fonte: adaptado de IRENA (2017)

Aplicando a regra de transformação, pode-se afirmar que, na fabricação desses 25 aerogeradores de 2 MW, essas 18.967 pessoas-dia podem ser entendidas como 379 empregos-dia/MW ou 1,81 empregos-ano/MW. A **Tabela 22** apresenta os coeficientes empregos-ano/MW por componentes do aerogerador.

Tabela 22 - Índices empregos-ano/MW na fabricação de aerogeradores

Nacele	0,886
Rotor (pás e cubo)	0,434
Torre	0,434
Sistema de controle e monitoramento	0,054
Total	1,81

Fonte: adaptado de IRENA (2017)

Sabe-se que a fabricação de aerogeradores é intensiva em capital, e o setor pode sofrer com o excesso de capacidade produtiva decorrente de oscilações bruscas em relação à demanda. No tocante à criação dos empregos, isso requer o crescimento ou a previsibilidade do crescimento da demanda por energia eólica. As atividades envolvidas no processo específico de fabricação dos principais componentes de um aerogerador são as seguintes:

1. fabricação e montagem da nacele;
2. fabricação das pás eólicas;
3. fabricação e montagem da torre;
4. fabricação do sistema de controle e de monitoramento.

Considerando o peso de cada um dos principais componentes de um aerogerador de 2,0 MW com cerca de 300 toneladas, temos a seguinte distribuição (para detalhes por item, vide IRENA (2007, pág. 28):

- a nacelle, incluindo caixa multiplicadora e estrutura, é produzida com ferro e aço (56%) e ferro fundido (35%), e pesa cerca de 37 toneladas;
- o rotor, incluindo as pás eólicas, é produzido por fibra de vidro (40%), ferro fundido (30%) e ferro e aço (22%), e tem cerca de 31 toneladas;
- a torre é praticamente toda produzida em aço (99,9%), e possui aproximadamente 190 toneladas de peso.

A fabricação e a montagem dos componentes da nacelle, por sua vez, envolve a definição de especificações para cada subcomponente; a produção ou aquisição de fornecedores pré-qualificados; a montagem da unidade de potência, do transformador e da caixa multiplicadora; a integração do gerador; o teste da unidade de potência e a instalação da estrutura superior. Na sequência, são instalados cubo, anemômetro, ventoinha e sistema de inclinação da pá (*pitch*) (IRENA, 2017).

As pás eólicas são tipicamente feitas de materiais de fibra de vidro e carbono, preenchidos com resina epóxi, em processo que envolve a modelagem, cura, corte e polimento. A ciência dos materiais é extremamente importante para melhorar a eficiência das pás, e o projeto de pás requer o uso de princípios técnicos associados com tecnologia aeroespacial. A fibra de vidro é a mais utilizada, além de outros materiais como madeira leve (balsa) e alumínio. As pás para um aerogerador de potência nominal de 3 MW medem em torno de 50 metros e pesam de 7 a 9 toneladas.

A modernas torres possuem elevador interno, escada e várias plataformas intermediárias e, em geral, têm cerca de 80 a 100 metros de altura. Sabe-se que a altura da torre influencia a quantidade de energia gerada, e a decisão de produzi-las em aço, concreto ou híbrida depende de vários fatores como custo, altura do aerogerador, facilidade de transporte, montagem e manutenção (Danish Wind Energy Association, 2016 apud IRENA, 2017).

As torres de aço são as mais utilizadas no setor e têm formato cônico. O diâmetro pode variar entre 4,5 metros na base e 2 metros no topo, com peso de 100 a 200 toneladas, a depender da altura. São fabricadas a partir de três a quatro seções de aço tubulares, revestidas com tintas selantes e montadas no parque eólico. Uma seção típica pode variar de 20 a 30 metros, fabricada a partir de chapas de aço cortadas, enroladas e soldadas. As torres, para atender aos novos tamanhos, poderão requerer bases de até 5 metros de diâmetro, mas alguns países limitam em até 4,9 metros o tamanho a ser transportado no modal rodoviário. Isso pode representar uma restrição para dimensões acima desse valor.

A opção por torres de concreto está associada com o preço excessivamente alto do aço ou com estruturas próximas de monopólio na produção. As torres de concreto são mais fáceis de transportar, pois são feitas de seções menores, mas exigem maior número de caminhões para seu transporte. O uso de fábricas móveis e próximas aos parques eólicos é prática usual para esse tipo de opção tecnológica.

Também utilizadas para reduzir a exposição às variações no preço do aço, as torres híbridas são construídas em concreto na parte inferior (cerca de 60 metros), e em aço na parte superior, sendo conectadas por um anel de transição. As dificuldades de montagem constituem sua principal desvantagem e aumentam o custo de instalação.

3.4.3.3. Logística e transporte

A fase de transporte abrange o transporte de componentes da área de despacho dos fabricantes do aerogerador até o local do parque eólico, o que envolve desafios logísticos em cada um dos modais existentes, seja rodoviário, ferroviário ou marítimo, o que vai depender muito das características de infraestrutura, distribuição das fábricas e localização de instalação de parques de um determinado país.

No caso do Brasil, além dos problemas comuns do tráfego, do dimensional, do peso das partes e peças de um aerogerador, das grandes distâncias e da predominância do transporte rodoviário, outros desafios logísticos se somam, tais como:

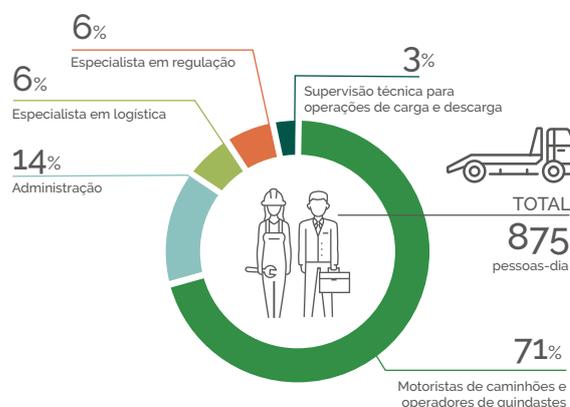
- condições gerais das rodovias federais e estaduais;
- condições gerais de acesso de rodovias secundárias aos parques eólicos;
- obstruções aéreas e laterais típicas, tais como: árvores; estradas com curvas muito acentuadas; linhas de energia e comunicações (telefone, fibra ótica, TV a cabo); postes de energia e/ou fiação elétrica; sinais de trânsito suspensos;

afloramentos rochosos; edifícios ou outras estruturas;

- obras (pontes, viadutos, passarelas, túneis etc.) com largura, capacidade e altura inadequadas em relação ao caminhão, dimensional e peso da carga, dentre outras;
- necessidade de acompanhamento da Polícia Rodoviária Federal na primeira viagem da operação.

Sabe-se que são necessários equipamentos especiais para o transporte, incluindo caminhões e reboques de alta capacidade que são, muitas vezes, projetados especificamente para o transporte de pás e outras partes de um aerogerador. De acordo com o estudo da IRENA (2017), para o transporte de 25 aerogeradores, a uma distância de 500 km para um parque eólico típico de 50 MW, foram utilizadas cerca de 875 pessoas-dia. A distribuição dos recursos humanos necessários para a realização desse serviço é mostrada na **Figura 24**.

Figura 24 - Alocação de ocupações para atividades de transporte de componentes de 25 aerogeradores de parque eólico típico com potência nominal total de 50 MW



Fonte: adaptado de IRENA (2017)

Aplicando a mesma regra de transformação à logística fábrica-parque⁴⁴ desses 25 aerogeradores de 2 MW, essas 875 pessoas-dia podem ser entendidas como 17,5 empregos-dia/MW ou 0,0833 empregos-ano/MW.

Desse total, mais de 70% da mão de obra é composta de motoristas de caminhão e de operadores/as de guindastes que, em alguns países, podem requerer competências certificadas. Em geral, esse serviço é usualmente contratado com empresas locais.

Tabela 23 - Índices empregos-ano/MW na logística e transporte, por ocupação e total

Motoristas e operadores de guindastes	0,059
Gestão	0,011
Especialistas em regulação e logística	0,010
Supervisão de carga e descarga	0,002
Total	0,083

Fonte: adaptado de IRENA (2017)

Sabe-se que cerca de 60% dos aerogeradores instalados no Brasil entre os anos de 2010 e 2017 tinham potência nominal média entre 1,8 e 2,2 MW. O transporte de aerogeradores desse padrão exigia até oito (8) caminhões, sendo um para a nacelle, um para o cubo, três para as pás e três para as seções da torre.

A tendência do aumento dos aerogeradores deverá desafiar ainda mais a gestão e a execução dessa atividade. A próxima geração de aerogeradores, que começou a ser instalada no Brasil a partir de 2018, com

potência nominal média entre 3,3 e 4,0 MW, vai demandar equipamentos adicionais e novos desafios ainda não completamente compreendidos, a partir do peso e do dimensional dessas novas máquinas.

3.4.3.4. Construção, instalação e descomissionamento

A fase de instalação envolve as obras de infraestrutura e a montagem de todos os aerogeradores e instalações elétricas, incluindo a preparação do local, obras civis e montagem e instalação no local dos componentes. A atividade de conexão do parque eólico na rede deve atender a todos os requisitos do operador antes de dar início à produção e à comercialização de eletricidade.

As empresas desenvolvedoras de parques eólicos têm um papel importante na etapa de construção e instalação desses parques. Em grande parte dos casos, são essas empresas que contratam as empresas de construção e de gerenciamento do projeto e, no caso de eólicas *offshore*, empresas especializadas em engenharia marítima.

Elas também envolvem o operador da rede elétrica, mas essas obras de instalação do parque eólico também podem ser subcontratadas. Ou seja, podem atuar como âncoras na instalação do parque eólico, ao lado das empresas de fabricação de aerogeradores.

O trabalho de construção inclui trabalhos de preparação do local e instalação de

⁴⁴ Considerando o caso indicado.

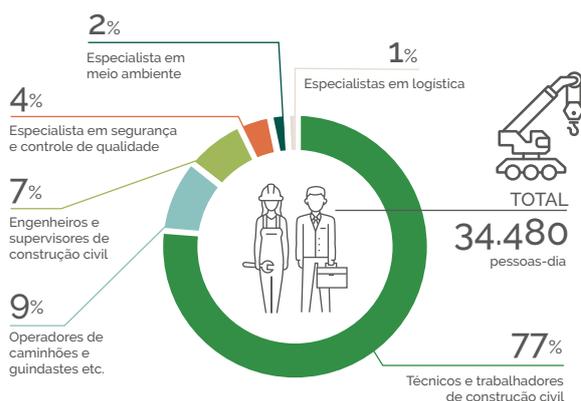
CRIAÇÃO DE EMPREGOS NO SETOR EÓLICO BRASILEIRO

Estimativas em curto, médio e longo prazo

linhas de energia e, neste sentido, as principais competências profissionais são em engenharia civil e elétrica, diversas especialidades em nível técnico, como motoristas de caminhões, eletricitistas e trabalhadores/as da construção civil. Em geral, a instalação do aerogerador (torre, nacelle e pás) pode ser coordenada pelo fabricante (OEM), mas requer quase o mesmo tipo de competência da construção, mais operadores/as de guindastes e, finalmente, o comissionamento da planta e a conexão à rede, que envolve engenheiros/as e técnicos/as (ILO, 2011).

A **Figura 25** apresenta a distribuição percentual da contribuição de cada profissional para o desenvolvimento de um projeto eólico de 50 MW, envolvendo 2.580 pessoas-dia na sua elaboração.

Figura 25 - Alocação de ocupações para atividades de construção e instalação de 25 aerogeradores de parque eólico típico, com potência nominal total de 50 MW



Fonte: adaptado de IRENA (2017)

Aplicando a mesma regra de transformação já utilizada, pode-se afirmar que, na construção do parque e na instalação desses 25 aerogeradores de 2 MW, essas 34.480 pessoas-dia podem ser entendidas como 689,6 empregos-dia/MW ou 3,28 empregos-ano/MW. Vista a partir das atividades dessa etapa ou elo da cadeia de valor, a **Tabela 24** apresenta os coeficiente empregos-ano/MW.

Tabela 24 - Coeficientes empregos-ano/MW na construção de instalação de parque eólico de 50 MW com 25 aerogeradores

Preparação do terreno e obras civis	1,574
Montagem dos aerogeradores	0,984
Cabeamento e conexão à rede	0,623
Comissionamento	0,131
Total	3,28

Fonte: adaptado de IRENA (2017)

De acordo com estudo para Irish Wind Energy Association (IWEA) – considerando finalizados estudos técnicos, licenças, permissões e serviços pré-construção⁴⁵ –, a etapa de construção e comissionamento varia entre 12 e 18 meses, e, o prazo de operação, entre 20 e 25 anos. A desativação, caso não haja atividade de repotenciação, leva de 6 a 12 meses (HENEGHAN, 2019).

Uma estrutura típica para a construção e instalação de um parque eólico de 60 MW e 30 aerogeradores, a partir de projeto realizado no Marrocos, está indicada na **Figura 26**.

⁴⁵ Como negociação do financiamento do projeto, processo de *due dilligence*, acesso à rede elétrica, contratos da construção, dentre outros.

Figura 26 - Cronograma típico de parque eólico de 60 MW com 30 aerogeradores – IRENA Project Navigator

Ano	Tempo da Atividade (meses)	Ano 1												Ano 2								Período mês (início - fim)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Atividades Típicas																						
Assinatura Contrato		█																				0-1
Engenharia EPC	3	█	█	█																		1-3
Entrega da Turbina	14				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█			4-17
Obras Cívicas	13			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█							3-21
Acessos/estradas/ valas cabos	12				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█								3-15
Fundação (estacas ou bases)	10				█	█	█	█	█	█	█	█	█									3-14
Subestação do Parque	2								█	█												8-9
Conexão ao Grid	4												█	█	█	█						12-15
Montagem Aerogerador	6													█	█	█	█	█	█			13-18
Serviços Elétricos	9										█	█	█	█	█	█	█	█	█			10-18
Cabeamento do Parque	5															█	█	█	█	█		14-18
Subestação do Parque	4																					10-13
Conexão ao Grid	5																					14-18
Comissionamento	2																			█	█	19-20

Fonte: adaptado de Bohr (2020)

No caso do Brasil, de acordo com análise da EPE (2018) – que considerou os prazos entre início e fim da instalação, informados nos projetos habilitados nos leilões de 2009 a 2018 – os prazos médios ficaram entre 11 e 18 meses, com tendência de queda, embora não tenham sido considerados os prazos de obtenção de licenças ambientais, outorgas, financiamento, assinaturas de contratos, dentre outros.

Já o prazo para montagem das torres e dos aerogeradores, por sua vez, era de 13 meses, em média, nos primeiros leilões (2007 e 2008). Em leilões mais recentes, a média cai para apenas 4 meses, o que pode ser creditado a um processo de aprendizado⁴⁶ ao longo desse período, até o ano de 2018.

Os serviços especializados prévios à construção, em geral, envolvem contratos-chave na mão (*turn-key*) com o proprietário ou desenvolvedor, com uma única empresa, ou contratos separados para os aerogeradores, obras civis e elétricas. Caso a empresa com o contrato do tipo *turn-key* seja o fabricante do aerogerador, ele subcontrata os demais serviços e, geralmente, estabelece contrato de manutenção com o proprietário, além do prazo de garantia da máquina.

De acordo com Heneghan (2019) e Bohr (2020?), durante a fase de construção, toda a criação de valor é realizada no local do parque, com a participação de diversas empresas para obras civis (acessos, fundações, prédio da subestação e de conexão), instalações elétricas propriamente ditas, e

⁴⁶ A publicação informa que o prazo envolvia apenas montagem de torres e aerogerador, mas o prazo inicial de 13 meses parece abranger fabricação, transporte e instalação.

com a instalação dos aerogeradores e da subestação por meio de guindastes.

As obras civis e elétricas ocorrem de forma coordenada, à medida que as obras civis avançam. São exemplos as valas e construções civis, para passagem dos cabos elétricos subterrâneos para cada aerogerador até a subestação elétrica do parque eólico, e a instalação dos equipamentos elétricos no prédio da subestação elétrica. A montagem e instalação de um aerogerador podem levar até uma semana, a depender das condições do tempo, mas pode ser concluída em dois ou três dias, por meio de guindastes e uma equipe de engenheiros/as e técnicos/as especializados/as.

O monitoramento do projeto na fase de construção requer a contribuição de diversos/as especialistas, em maior ou menor grau, a depender das características ambientais e históricas de cada local, e envolve representantes da comunidade, ecólogos/as, arqueólogos/as, ornitólogos/as, geógrafos/as etc., além da equipe de engenheiros/as responsáveis pela gestão dos contratos e pela garantia do cronograma físico do projeto de construção.

A empresas de desenvolvimento podem contratar gerentes ou consultores/as internos para garantir que o projeto ocorra de acordo com os contratos, dentro dos prazos e orçamentos definidos. Já os/as investidores/as e proprietários/as também podem contratar consultores/as desde a fase de pré-construção para realizar visitas ocasionais ao local e monitorar o projeto.

Sabe-se que a fase de construção beneficia amplamente as comunidades locais próximas ao parque eólico, seja pela oportunidade de trabalho nas obras, seja pela aquisição de materiais e pela prestação de serviços de hospedagens, alimentação, supermercados, lojas de ferragens etc.

3.4.3.5. Operação e manutenção – O&M

A fase de operação e manutenção (O&M) compreende as atividades realizadas durante toda a vida útil operacional do projeto para garantir seu funcionamento ininterrupto. Inclui o controle comercial e técnico da instalação e suas atividades de monitoramento e manutenção. A fase de O&M dura até 25 anos, e este é o prazo utilizado para estimativas do LCOE para a fonte eólica *onshore* pelas agências internacionais e consultorias especializadas.

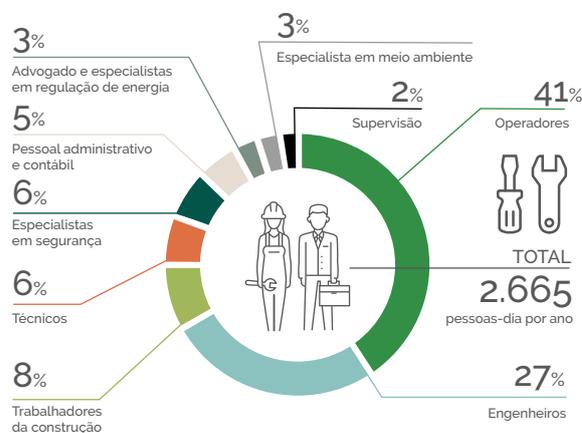
Para a execução dessas atividades, as principais competências envolvem ocupações típicas de engenheiros/as e técnicos/as especializados/as. Outras ocupações, não exclusivas dessa etapa, envolvem competências em gestão, contábil e financeira. Especialistas em saúde e segurança no trabalho, especialistas em regulação (advogados/as), meio ambiente e trabalhadores/as da construção (ILO, 2011) também são necessários.

A figura 27 apresenta a distribuição percentual da contribuição das ocupações utilizadas nas atividades de operação e manutenção de um parque eólico típico, com potência nominal total de 50 MW.

criação de empregos no setor eólico brasileiro

Estimativas em curto, médio e longo prazo

Figura 27 - Alocação de ocupações para atividades de O&M de parque eólico típico com potência nominal total de 50 MW



Fonte: adaptado de IRENA (2017)

A partir da aplicação da regra de transformação às atividades de O&M desses 25 aerogeradores de 2 MW, essas 2.665 pessoas-dia/ano podem ser entendidas como 53,3 empregos-dia/MW ou 0,253 empregos-ano/MW. Na **Tabela 15**, é possível ter uma visão dos coeficientes por área e total.

Tabela 25 - Coeficientes empregos-ano/MW na operação e manutenção de parques eólicos

Operação	0,167
Manutenção	0,086
Total	0,253

Fonte: adaptado de IRENA (2017)

Além do controle da operação em tempo real, outras atividades também são necessárias, como a comercialização de energia e fechamento de operações; o cumprimento de tarefas tributárias e administrativas, bem como a vigilância patrimonial.

Percebe-se que quase 70% da mão de obra para O&M é composta de ocupações de alta qualificação: 41,27% são operadores/as e cerca de 30% são engenheiros/as industriais (civis, produção, mecânicos e elétricos) e de telecomunicações. A manutenção é, em geral, realizada por meio de contratos estendidos com o fabricante do aerogerador do parque, ou serviços subcontratados de empresas especializadas. A **Tabela 26** apresenta esse recorte por ocupações.

Tabela 26 - Distribuição percentual de ocupações em atividades de O&M e total

Ocupações	Operação	Manutenção	Total
Operadores/as	41,27	0	41,27
Engenheiros/as industriais e de telecomunicações	12,95	14,07	27,02
Técnicos/as (mecânica/elétrica); saúde e segurança e trabalhadores/as da construção	0	19,51	19,51
Gestão, contábil, especialistas em regulação (advogados/as) e meio ambiente	12,2	0	12,2
Total	66,4%	33,58%	100%

Fonte: adaptado de IRENA (2017)

De acordo com compilação realizada pela IRENA (2017), o conjunto de tarefas mais comuns da atividade de manutenção realizada localmente abrange:

- supervisão visual no local do aerogerador e das instalações auxiliares ;
- visitas regulares ao aerogerador para verificar seu estado mecânico e elétrico;
- trocas periódicas de óleo e outras atividades mecânicas, como verificações de nível de fluido, lubrificação, verificações de torque dos parafusos e mudanças de filtro;
- inspeção de lâminas e pastilhas de freio, de inspeção de componentes elétricos, como conexões de cabos, verificações de fusíveis, nível de tensão, baterias;
- revisões aprofundadas periódicas dos principais componentes dos aerogeradores;
- monitoramento e controle de equipa-

mentos e infraestrutura elétrica e de telecomunicações;

- realização de rotinas preventivas para correção de indícios de falhas detectadas no Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA⁴⁷, na sigla em inglês);
- realizar manutenção corretiva dos aerogeradores que apresentam falha ou funcionamento indesejado detectado, com substituição de parte e peças, caso necessário;

Pesquisa patrocinada pela União Europeia mapeou noventa e seis (96) atividades de plano típico de manutenção em periodicidades diversas. Essas tarefas envolvem desde o reparo e a troca de componentes, bem como ajustes, análise, limpeza, lubrificação e calibrações. Fora desse plano, ficam as atividades corretivas não desejadas, mas nem sempre evitáveis (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

Tabela 27 - Quantidade e periodicidade de atividades por componente em um parque eólico

Item/Periodicidade	Trimestral - Semestral	Anual	Bianual - Quinquenal	Ad Hoc	Total
Pás eólicas	1	2	1	-	4
Conversor/Inversor	1	5	1	-	7
Freios	-	3	0	-	3
Fundações e seções de concreto	-	1	0	-	1
Gabinete de energia	-	2	0	-	2
Gerador	4	6	2	-	12
Rotina geral	6	6	3	-	15
Linha de aterramento e proteção contra raios	-	2	0	-	2
Sistema de Pitch	1	9	2	-	12
Sistema de Yaw	4	10	1	2	17
Sistema Elétrico, Sensores e Controle	-	7	0	-	7
Sistema Hidráulico	-	1	2	-	3
Trem de acionamento	3	6	1	1	11
Total	20	60	13	3	96

Fonte: adaptado de European Commission (2015)

⁴⁷. Do inglês "Supervisory Control and Data Acquisition". Esses sistemas viabilizam o controle dos ativos remotos e com o crescente interesse pelas tecnologias da Indústria 4.0, terão um papel cada vez mais importante na integração com tecnologias habilitadoras com IoT, Big Data, cloud computing e gêmeos digitais etc.

As quinze (15) atividades da rotina geral indicadas na tabela são as seguintes:

- inspeção de extintores de incêndio;
- inspeção de fissuras;
- inspeção anticorrosiva;
- inspeção de componentes estruturais;
- inspeção de juntas aparafusadas estruturais;
- inspeção de levantamento;
- inspeção de pontos de ancoragem;
- inspeção de superfície antiderrapante;
- inspeção de torre de concreto pré-moldado;
- reaperto da estrutura da nacela;
- reaperto do defletor;
- reaperto dos parafusos da torre;
- inspeção de acesso à torre;
- inspeção de acessos do rotor e da nacela;
- reaperto da estrutura da nacela II.

Após o comissionamento de um parque eólico, a manutenção dos aerogeradores está coberta pelo período de garantia do fabricante (OEM), que oferece a opção de contrato de manutenção estendida. As atividades de manutenção seguem práticas típicas de uma função muito comum na indústria, e incluem ações preventivas, corretivas e emergenciais, além de inspeções visuais periódicas por pessoal não especializado, incluindo o uso de drones, cujas imagens podem ser analisadas remotamente por especialistas.

Com o avanço das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, além da popularização do uso de drones para inspeção visual, a função de O&M será elevada a um novo patamar tecnológico pela disseminação de atividades preditivas de manutenção, as quais serão habilitadas por meio das tec-

nologias de IoT, computação em nuvem, *Big Data Analytics*, gêmeos digitais, realidade mista (virtual/aumentada) etc. O padrão de competências será ainda mais alto para as ocupações da função O&M, de modo que novos conteúdos e atualizações serão necessários nos processos de formação e retreinamento da mão de obra para essa área de atuação.

A manutenção no setor eólico possui algumas particularidades associadas com a própria localização dos parques eólicos, com as variações de temperatura no ambiente de operação, com as vibrações e, ainda, com a execução de serviços elétricos em altura e em espaços confinados.

Se o objetivo geral da operação é garantir o funcionamento de um aerogerador durante 24 horas por dia, durante um ano, o da manutenção é garantir o máximo de disponibilidade. Em geral, na busca desse objetivo, a estratégia de manutenção envolve aspectos econômicos, técnicos e de mercado, tendo em vista objetivos específicos de maximização de renda e minimização de custos, garantia de funcionamento de um aerogerador e seus componentes com um mínimo de interrupções e a própria imagem do fabricante OEM frente ao mercado. Comumente a manutenção ocorre de forma preventiva, corretiva e preditiva.

As atividades de manutenção preventiva e corretiva representaram, para as empresas pesquisadas, quase metade dos custos totais de O&M. Cerca de 20% dos custos vêm das atividades de gestão e serviços administração. Os gastos com seguros e

arrendamento de terras são itens de custo realizados localmente e, ao mesmo tempo, compõem uma parcela do custo total que varia entre 28,2% e 30,6% (IRENA, 2017).

Dado o alto grau de automação e de controle dos modernos parques eólicos por meio de sistemas de supervisão e de aquisição de dados (SCADA), sua operação também é acompanhada remotamente por operadores que podem reiniciar sistemas após interrupções na linha ou na rede elétrica.

Os sistemas do tipo SCADA permitem a coleta de dados quase em tempo real (a cada 10 minutos), tanto para o controle da operação do parque eólico quanto do equipamento. Além disso, sistema complementar de telemetria permite a medição da velocidade e direção do vento, vibrações, temperatura e demais condições de operacionais da nacelle. Juntos, esses sistemas fornecem dados e informações detalhadas sobre a condição do aerogerador e a sua produção de eletricidade no tempo.

Alguns autores, como Hardcastle (2009), Simas (2012) e Fitch-Roy (2013), já chamavam atenção sobre a escassez de competências em O&M, que seria maior do que nas demais etapas da cadeia de valor, sem considerar os impactos da energia *offshore* na quantidade dos empregos, pois os parques eólicos requerem cerca do dobro da mão de obra dos parques eólicos *onshore*. Estudo realizado para a União Europeia

em 2013 apontava que existiria uma lacuna na região de cerca de 4.000 empregos na etapa de O&M a partir de 2020, e cerca de 9.000 em 2030 (FITCH-ROY, 2013).

Vários estudos foram realizados para identificar o padrão de criação de empregos no elo de O&M, tendo em vista a importância dele na criação de empregos estáveis, de longo prazo e com grande impacto no desenvolvimento local e regional. Em 2013, o *Electric Power Research Institute* (EPRI) comparou o resultado de pesquisas de três laboratórios nacionais dos Estados Unidos e da *Bloomberg New Energy Finance* (BNEF) sobre empregos técnicos locais.

Os coeficientes mais altos ficaram entre 0,07 e 0,10 empregos-ano/MW, obtidos a partir de pesquisas com usinas em operação, e, as estimativas mais baixas, entre 0,05 e 0,06 empregos-ano/MW, foram geradas a partir da ferramenta de estimativa Jedi⁴⁸ do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL).

O trabalho da Bloomberg estimou esse coeficiente em 0,2 empregos-ano/MW. A diferença observada entre os estudos foi atribuída pelos autores a dois fatores: (i) aumento da capacidade dos aerogeradores (de 0,9 para 2 MW) – o que significa que os parques eólicos de capacidade idêntica têm menos aerogeradores para manutenção e, (ii) inovações tecnológicas, que também contribuíram para a redução (EPRI, 2013).

48. De "Jobs and Economic Development Impact", trata-se de um modelo do tipo Matriz Insumo-Produto desenvolvido pelo NREL, que permite capturar os empregos diretos, indiretos e induzidos.

Apesar de não citadas no texto, é provável que diferenças na metodologia ajudem a explicar a divergência dos índices. A contagem de outros profissionais envolvidos na etapa, como quadros de gestão, administrativos e demais atividades de apoio não estritamente técnicas associadas ao setor eólico, por exemplo, pode ter influenciado o resultado.

Com foco principal na compreensão das atividades de O&M, o projeto "Windskill" (2006-2009) foi uma iniciativa inédita para avaliar as lacunas de competências na indústria eólica e, segundo os autores, com base na experiência das próprias empresas pesquisadas, em geral, as equipes são formadas por dois técnicos de serviço para atender até 20 aerogeradores de 1 MW. Posteriormente, essa proporção foi revisada pela GWEC para 0,33 técnico por MW (MCGOVERN, 2009). Por meio desse projeto, foi desenvolvido aplicativo (App Skill Wind), para celulares com sistemas operacionais Android e IOS, sob a forma gamificada, que permite ao aluno percorrer as seis áreas de formação⁴⁹ com diferentes níveis de dificuldade.

No contexto brasileiro, com base em informação de respondentes da pesquisa, uma equipe de manutenção é formada por quatro (4) técnicos/as e, de forma geral, duas equipes de 4 técnicos/as são lideradas por um (1) supervisor/a. Uma regra prática sugere que até oito (8) aerogeradores com caixa de engrenagem podem ser

atendidos por cada técnico/a. No caso de aerogeradores sem caixa de engrenagem, um/a (1) técnico/a pode ser alocado/a para atender até dez (10) unidades.

Se comparado o coeficiente gerado a partir dessa regra com os indicados nos estudos mencionados, observa-se uma relação consistente e convergente para um parque eólico típico de 50 aerogeradores com potência nominal total de 100 MW, ou seja, o coeficiente médio de empregos-ano/MW para técnicos locais residente em O&M é da ordem de 0,063.

Como visto no estudo da IRENA e em dados preliminares da pesquisa, outros profissionais também estão alocados nessa etapa, mesmo que em tempo parcial. O cálculo de normalização anual, no entanto, eleva aquele coeficiente para valores aproximados aos indicados na pesquisa da IRENA e no estudo feito para o Brasil. O coeficiente total de empregos-ano/MW utilizado por Simas (2012) é de 0,57, considerando o somatório das operações locais (de 0,35) e remotas (0,22), a partir da observação em cinco (5) parques eólicos em operação e em dois (2) fabricantes de aerogeradores.

O mercado de O&M, em tese, está dividido entre mais de nove (9) fabricantes⁵⁰ com equipamentos instalados no país. Dados do setor mostram que 80% dos aerogeradores instalados e a instalar até o final de 2020⁵¹ no país pertencem a quatro (4) fabricantes (OEM) com, respectivamente-

49. Conceitos básicos; EPC; manutenção preventiva; manutenção corretiva; manutenção preditiva; saúde e segurança.

50. Alguns desses fabricantes não estão fabricando no país como a Impsa, Sinovel e Suzlon e, ainda, outros que foram objeto de aquisição, como é o caso da Gamesa e Alstom, respectivamente, pela Siemens e GE.

51. De acordo com a base de dados da ABEEólica, posição 17/06/2020.

te, 36%, 21%, 12% e 11%. De forma geral, os contratos estendidos de O&M são realizados pelos/as fabricantes OEM, embora isso não seja 100% garantido, pois muitos/as fabricantes possuem estratégias de realizar manutenção e venda de peças para equipamentos de terceiros, como está explícito no próprio relatório anual do fabricante dinamarquês Vestas.

Para efeito de uma projeção de mão de obra em médio e longo prazo, é preciso ter em mente que os avanços tecnológicos associados com a fabricação de aerogeradores de maior porte/capacidade e mais confiabilidade podem resultar na redução de paradas não programadas e nos custos de serviços.

O efeito de escala e os avanços tecnológicos parecem estar em linha com a literatura técnica (EPRI, 2013), pelo consenso entre especialistas de que os custos de O&M estão em tendência de queda em decorrência disso (MILBORROW, 2020) e dos procedimentos técnicos para alocação de técnicos/as de O&M com base no número de aerogeradores.

De acordo com a maioria dos/as respondentes da pesquisa realizada, o volume em MW e a quantidade de aerogeradores são os principais fatores na composição das equipes de O&M, mas há dúvidas sobre a redução abrupta de pessoal em curto e médio prazo. Quanto maior o aerogerador, mais tempo será necessário para

a execução das atividades dos planos de manutenções periódicas. É possível afirmar que ainda não existem elementos e experiências suficientes para estabelecer uma relação precisa sobre o impacto do aumento do tamanho e da potência dos aerogeradores sobre o novo padrão de criação e manutenção dos empregos no segmento de O&M.

Segundo relato pessoal de um entrevistado, as empresas do setor ainda estão tentando entender como essa relação vai se estabelecer, mas é provável que haverá uma redução gradativa de pessoal para as atividades de O&M em longo prazo, seja em decorrência de ganhos de produtividade do trabalho, seja por ganhos tecnológicos associados com o aumento do tamanho dos aerogeradores.

Assim, os novos aerogeradores com capacidade média acima de 4 MW e a combinação de tecnologias associadas com o conceito de gêmeos digitais (*digital twins*) e inteligência artificial – amplamente difundido do ponto de vista técnico-comercial pelos grandes fabricantes OEM⁵², certificadoras⁵³ e fornecedores⁵⁴ do setor – podem ter um efeito não desprezível na quantidade de mão de obra técnica e no perfil de competências das principais ocupações na fase de O&M.

Por outro lado, sabe-se também que o volume e as necessidades de competências para O&M de parques eólicos *offshore* são

52. (SGRE, 2019); (VESTAS, 2020).

53. <https://www.dnvgl.com/power-renewables/services/data-analytics/windgemini/index.html>.

54. <https://new.abb.com/motors-generators/segments/wind-power/wind-turbines-are-going-digital>.

praticamente o dobro do *onshore*, e as qualificações são totalmente distintas em termos técnicos e pelo ambiente de operação.

3.4.3.6. Serviços de apoio

Os serviços de apoio são transversais, incluindo serviços de consultoria, educação, financiamento, P&D e outras atividades administrativas. Esses fatores são relevantes para o desenvolvimento do setor, mas esta pesquisa se concentra nas atividades principais e, portanto, a análise detalhada dos serviços de apoio vai além do escopo deste trabalho.

4. Desenvolvimento do setor eólico no Brasil

4.1. Histórico e evolução

O desenvolvimento recente do setor eólico no Brasil é resultado da combinação do aproveitamento da dotação natural única de recursos eólicos no mundo (expresso por um fator de capacidade ímpar) com uma bem-sucedida coordenação de políticas públicas de atração de investimentos pioneiros e de consolidação da cadeia produtiva no país.

A trajetória de sucesso que posicionou o Brasil dentre os líderes mundiais no setor eólico, que promoveu um efeito econômico e social importante em diversas regiões do país, pode ser vista pelos números do setor em retrospectiva.

Interessa também observar que os ventos sopram em favor do setor em médio e longo prazo, conforme as expectativas de investidores e agentes do mercado de energia no país.

O Brasil instalou os seus primeiros parques eólicos ainda na década de 1990. Entre os anos 1998-2008, a média anual de inserção de potência foi de 34 MW. O ano de 2009 representou uma mudança de patamar no setor, quando foram instalados 260 MW.

Tal inserção de potência representou cerca de 80% da soma da potência instalada nos dez anos anteriores.

Até 2009, a fonte eólica concorria nos leilões com os outros tipos de energia, prejudicando, num primeiro momento, o desenvolvimento mais acelerado do setor. A partir de 2009, contudo, com a introdução de leilões específicos para energia eólica, o setor teve um crescimento impressionante.

Com efeito, estudo de Civitarese (2019), utilizando-se de método de controle sintético somente para essa variável, demonstrou que a política governamental dos leilões específicos permitiu o aumento da geração eólica em aproximadamente três (3) vezes, se comparada à situação hipotética de não ocorrência de leilões específicos entre 2011 e 2016 (CIVITARESE, 2019).

O sucesso foi rápido e contínuo, como será possível identificar pelos dados a seguir. Por exemplo, dois anos após a instituição dos leilões para a fonte eólica, em 2011, foram instalados mais de 500 MW, pela primeira vez no país.

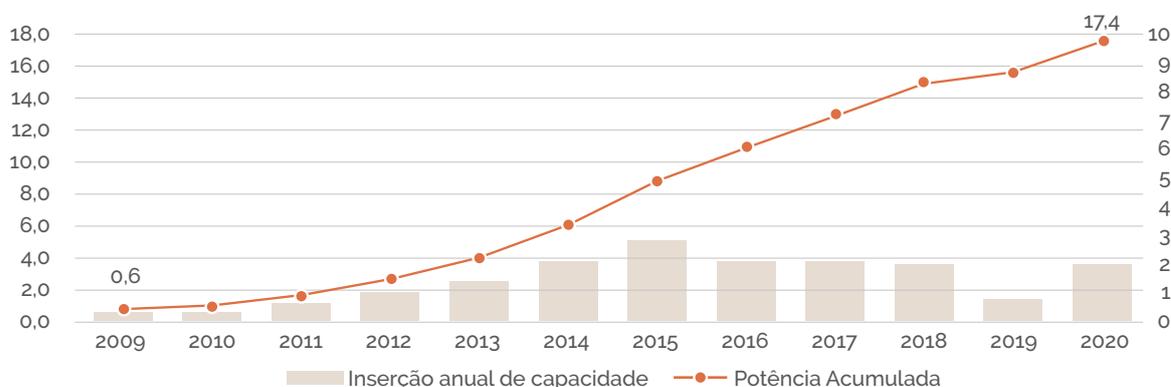
Na **Figura 28** são apresentados os dados de adição de potência eólica no Brasil,

de forma anual e acumulada. Em termos regionais, a distribuição de potência nominal no Brasil ocorre majoritariamente na região Nordeste.

A **Tabela 28** apresenta essa distribuição para os anos de 2010, além de estimativas para 2020 e 2024 por regiões do país. Na **Tabela 29**, essa distribuição é apresentada para os estados da federação. Nos últimos

anos, observou-se uma saudável disputa entre os estados do Nordeste, em especial entre Rio Grande do Norte e da Bahia, os quais se revezam pontualmente no ranking. Já as **Figuras 29 a 31** indicam os valores acumulados de inserção de energia nova na matriz elétrica a partir da fonte eólica no Brasil, quando se observou um crescimento acumulado da ordem de 34% ao ano, entre 2010 e 2020.

Figura 28 - Inserção anual (MW) e acumulada (GW) de energia eólica de 2009 – 2020



Fonte: adaptado pelo autor, a partir da base de dados da ABEEólica - 17/06/2020

É importante ressaltar que o arranjo de políticas públicas no Brasil foi além dos leilões. Foi ainda mais sofisticado pela combinação de medidas de políticas energética e industrial. De acordo com Araújo e Willcox (2018), em artigo com análise comparativa entre as políticas públicas para o setor eólico na China e nos Estados Unidos, os três principais mecanismos que viabilizaram o setor eólico no Brasil foram:

- (i) indução à demanda;
- (ii) financiamento público ao investimento; e

- (iii) regras de localização de produção associadas ao financiamento dos parques pelo BNDES.

Tanto o Proinfa (2002-2009) quanto a introdução do sistema de leilões após 2009 podem ser classificados como instrumentos indiretos de indução da demanda. Já o financiamento associado com a nacionalização progressiva constitui instrumento direto de incentivo à localização da atividade produtiva, ou seja, de criação da oferta de bens, serviços e empregos locais.

55. Estimativa para o final do ano de 2020.

Somam-se a esses dois tipos de instrumentos econômicos o estabelecimento de regras tarifárias no Brasil que limitaram a importação de máquinas com potência inferior à 1,5 MW. Nesse ponto, a principal agenda em curso da cadeia produtiva, representada pela Abimaq junto ao Governo Federal, é pela alteração da atual regra tributária, que permite a importação de máquina com potência nominal acima de 2,5 MW, com alíquota de importação zero.

Tabela 28 - Potência nominal instalada/a instalar⁵⁶ de geração eólica por região, em MW

Região	2010	2020	2024	Participação, em 2024
NE	724	15.302	23.139	91,9%
S	176	2.023	2.023	8,0%
SE	28	28	28	0,1%
Total	928	17.353	25.190	100,0%

Fonte: adaptado pelo autor a partir da base de dados da ABEEólica - 17/06/2020

Essa regra tarifária trata de forma não isonômica a cadeia produtiva nacional, prejudica toda as empresas que fizeram investimentos produtivos, tecnológicos e se qualificaram como fornecedores da cadeia nacional.

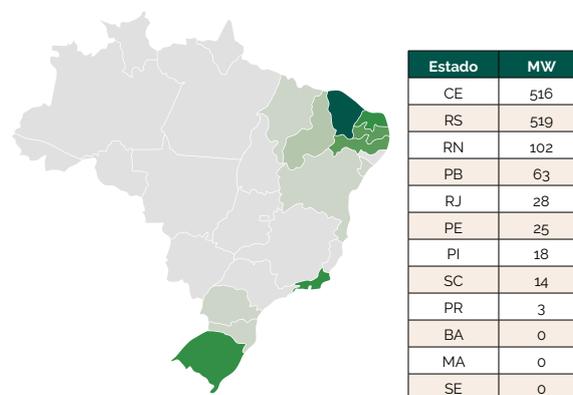
Em particular, prejudica os fabricantes OEM que estão atualmente em processo de credenciamento de registro no Finame-BNDES para o desenvolvimento dos novos modelos de aerogeradores de maior tamanho e potência, o que envolve o desenvolvimento de fornecedores nacionais para a nacionalização de componentes.

Tabela 29 - Potência nominal instalada/a instalar⁵⁶ de geração eólica por região, em MW

Estado	2010	2020	2024	Participação, em 2024
RN	102	4.510	8.185	32,49%
BA	0	2.179	7.294	28,96%
PI	18	426	3.070	12,19%
CE	516	157	2.301	9,13%
RS	159	798	1.782	7,07%
PE	25	2.179	986	3,91%
PB	63	3	843	3,35%
MA	0	28	426	1,69%
SC	14	5.017	238	0,95%
SE	0	1.782	35	0,14%
RJ	28	238	28	0,11%
PR	3	35	3	0,01%
Total	928	17.353	25.190	100,00%

Fonte: adaptado pelo autor, a partir da base de dados da ABEEólica -17/06/2020

Figura 29 - Potência nominal instalada⁵⁷ em 2010 (928 MW)



Fonte: adaptado pelo autor a partir da base de dados da ABEEólica - 17/06/2020

Os esforços coordenados de políticas energética e industriais resultaram, desde o ano de 2010, em uma indústria nacional com capacidade produtiva para ofertar

⁵⁶. Situação dos parques: "operação", "construção", "contratado" e "teste".

⁵⁷. Situação dos parques: "operação" e "teste".

até 2 GW por ano de forma competitiva (ARAÚJO e WILLCOX, 2018); (SIMAS, 2012); (IRENA-GWEC, 2012). A **Tabela 30** apresenta os instrumentos utilizados no país para o desenvolvimento do setor eólico no Brasil.

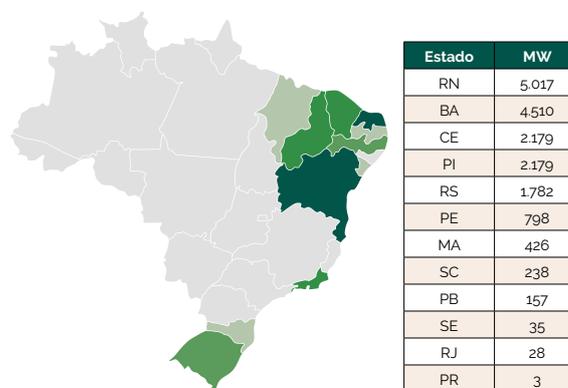
Tabela 30 - Instrumentos de incentivo para o setor eólico no Brasil

Mecanismos de incentivo direto	Mecanismos de incentivo indireto
Metodologia de credenciamento de aerogeradores do BNDES	Contratos longos com tarifas incentivadas: Proinfa (preço fixo como nos modelos de <i>feed-in</i>)
Financiamento à cadeia produtiva via bancos públicos	Leilões incentivados de compra de energia (modelo concorrencial de contratação)
<i>Grants</i> e cláusulas regulatórias de apoio a P, D&I: P&D Aneel	Financiamento público aos parques de geração eólica: BNDES, BNB e outros
Incentivos fiscais estendidos aos fornecedores: Reidi (regime especial tributário)	Incentivos fiscais para geração de energia: Reidi (regime especial tributário)
Instrumentos de mercado de capitais via bancos públicos na cadeia produtiva	Instrumentos de mercado de capitais via bancos públicos na geração de energia

Fonte: compilação de (ARAÚJO e WILLCOX, 2018)

Assim, foi o resultado da combinação dessas políticas públicas que permitiu ao setor eólico no Brasil se posicionar como uma das principais, senão a principal opção competitiva no mercado nacional de energia elétrica e, ao mesmo tempo, criar uma robusta cadeia nacional de fornecedores, conforme ficou claro a partir dos mapeamentos da cadeia produtiva realizados pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI (2014; 2018), e do mapeamento de carreiras para o setor eólico (ABDI, 2018a).

Figura 30 - Potência nominal instalada/a instalar⁵⁸ em 2020 (17.353 MW)



Fonte: adaptado pelo autor a partir da base de dados da ABEEólica - 17/06/2020

Considerando o período entre 2010 e 2024, o CAGR⁵⁹ pode chegar a quase 27% ao ano, sem considerar os investimentos que ainda serão anunciados. Para o período 2020 - 2024, o CAGR é da ordem de 10% ao ano. Pode-se afirmar que é relativamente curto o espaço de tempo em que a fonte eólica se consolidou como opção energética no país, mas também é possível afirmar que o país já detém um legado significativo, em termos de aprendizado na concorrência técnica entre projetos de energia de geração eólica ao longo dessas duas primeiras décadas do século XXI.

Nesse aspecto, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) tem como prática a elaboração de notas técnicas, dentre os quais cabe destacar o relato desse aprendizado. De acordo com a NT 041/2018, de 19 de junho de 2018, a partir da análise da evolução dos projetos cadastrados e suas características técnicas ao longo dos leilões de energia eólica do país, de 2007 a 2018, observou-se o crescimento

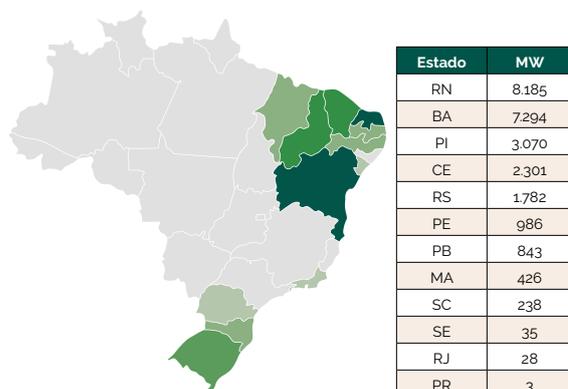
58. Situação dos parques: "operação", "construção", "contratado" e "teste".

59. "Compound Annual Growth Rate" ou Taxa Composta Anual de Crescimento.

da quantidade de projetos, a evolução dos requisitos para habilitação técnica, as mudanças no tamanho dos equipamentos e o consequente impacto na produção de energia (EPE, 2018).

Dentre os principais resultados, são apresentados o aumento da quantidade de estações anemométricas disponíveis para avaliação do recurso eólico; o aumento do diâmetro médio dos aerogeradores, de 66m para 119m; mais de 13 mil cadastros de empreendimentos eólicos no período em análise; uma oferta de mais de 26 GW em um único leilão (A4/2017) e a expressiva redução do preço da energia negociada nos leilões (de R\$ 242/MWh, no LER/2009, para R\$ 68/MWh, no LEN A4//2018) (EPE, 2018).

Figura 31 - Potência nominal instalada/a instalar⁶⁰ em 2024 (25.190 MW)



Fonte: adaptado pelo autor a partir da base de dados da ABEEólica - 17/06/2020

Olhando pelo retrovisor, pode-se identificar, na **Tabela 31**, os dez maiores investidores em geração eólica. É provável que

cada vez mais empresas privadas – não necessariamente ligadas diretamente ao setor de geração elétrica – se juntem a esse *ranking* de investidores no futuro, como parceiras ou como clientes.

Tabela 31 - Os dez (10) maiores investidores em geração eólica no Brasil (MW)

Empresa	Potência instalada (MW)	Quantidade de Aerogeradores	Participação de Mercado
CPFL Renováveis	1.308,6	652	8,1%
Echoenergia	998,3	434	6,2%
Omega Energia	901,9	389	5,6%
Engie	901,4	352	5,6%
Enel Green Power	871,8	415	5,4%
Atlantic	642,0	254	4,0%
Cubico	614,4	321	3,8%
Copel	593,0	266	3,7%
Votorantim Energia / CPPIB	563,7	254	3,5%
Queiroz Galvão Energia	555,6	220	3,5%
Outros		52,7%	

Fonte: adaptado pelo autor, a partir da base de dados da ABEEólica - 17/06/2020

Depois de um período de transição, decorrente de uma retração de novos pedidos de aerogeradores em função do cancelamento e da ausência de leilões nos anos de 2016 e 2017, o setor passa por um novo contexto político e institucional expresso por uma postura mais liberal em termos econômicos, por parte do governo brasileiro, e uma forte concorrência com a fonte renovável solar fotovoltaica.

60. Situação dos parques: "operação", "construção", "contratado" e "teste".

No mais recente estudo oficial sobre estimativas de expansão da matriz elétrica (BRASIL, 2020), foi mencionado que, dos recursos disponíveis para expansão da oferta, a energia eólica tem se mostrado extremamente competitiva, em termos de preço, frente às demais tecnologias candidatas à expansão, de tal modo que o estudo prevê o desenvolvimento do aproveitamento dos recursos eólicos de forma contínua e harmoniosa com o mercado da fonte no país.

Aquele estudo oficial considera, em caráter pioneiro, a inserção da tecnologia eólica *offshore* como candidata à expansão, a partir do ano de 2027, destacando que, apesar dos elevados custos de investimento para essa tecnologia, alguns fatores como a evolução da maturidade em nível mundial, a realização de estudos técnico-econômicos e socioambientais, além de avanços regulatórios no Brasil, podem alterar a competitividade atual e torná-la uma opção para os próximos Planos (BRASIL, 2020).

O crescimento consistente do setor, a partir do início da década passada, resulta da aplicação de políticas públicas que viabilizaram o investimento privado em unidades de fabricação das grandes empresas internacionais. Junto do surgimento de um fabricante nacional (WEG) e de uma robusta cadeia de fornecedores, esse é um dos grandes casos de sucesso do setor em nível global.

Em termos do mercado de fabricantes OEM estabelecidos no Brasil, a **Tabela 32**

apresenta a atual configuração da participação de mercado em MW, estimada para o final do ano de 2020. A **Figura 32**, por sua vez, aponta a distribuição das principais empresas âncoras do setor (fabricantes OEM e de pás eólicas), fornecedores e parques eólicos.

Do ponto de vista corporativo, apesar dos resultados positivos entre as companhias líderes do setor nos últimos anos (SGRE, 2019), (VESTAS, 2020), existem relatos de que a pressão dos preços tem reduzido as margens da indústria, com reflexos no retorno dos fabricantes. Empresas como a SGRE já anunciaram reduções na sua equipe para os próximos dois anos. Isso reforça que o setor passa por um processo de reconfiguração competitiva também no mundo⁶¹.

Tabela 32 - Participação de mercado em MW no Brasil prevista para o final de 2020⁶²

Empresa	Potência instalada (MW)	Quantidade de Aerogeradores	Participação de Mercado
GE Renewable Energy	5.890	2.902	34%
SGRE	3.722	1.731	21%
Vestas	2.091	866	12%
Nordex-Acciona	1.982	665	11%
Wobben	1.716	943	10%
Suzlon	732	357	4%
WEG	647	305	4%
Impsa	439	292	3%
Sinovel	35	23	0%
Outro	100	28	1%
Total	17.354	8.112	100%

Fonte: adaptado pelo autor a partir da base de dados da ABEEólica - 17/06/2020

61. <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53117257/siemens-gamesa-tem-recorde-de-pedidos-e-lucro-de-e-104-milhoes>.

62. Situação dos parques: "construção", "contratado", "operação" e "teste".

À concorrência entre as empresas do setor eólico no mundo também se adiciona a competição de custos com a fonte solar fotovoltaica. Para alguns analistas, o setor deverá passar por mais um novo processo de consolidação e enfrentar muitos desafios associados com iniciativas de repotenciação no mundo, incluindo o descarte de pás de fibras de vidro, por exemplo⁶³.

Especificamente em relação ao Brasil, esse processo poderá envolver esforços de exportação, em função da retirada gradativa de incentivos de nacionalização, da retirada de subsídios (como TUST e TUSD⁶⁴), de investimentos em máquinas maiores e mais potentes, da emergência do mercado livre como a nova fronteira do investimento, e do ambiente de contratação regulado (ACR).

O mercado livre parece ser uma tendência cada vez mais firme também no ambiente internacional, a propósito das diversas formas de investimento privado sem interferência estatal, que vêm sendo chamadas de 'Corporate Sourcing' no mundo, cujo relatório inédito já registra algumas empresas brasileiras (IRENA, 2018). Nesse contexto, pode se dizer que os anos 20 inauguram um novo ambiente para o investimento e a competitividade do setor no Brasil.

Mais à frente, já se observam sinais nítidos em direção à inserção da energia eólica *offshore* no Brasil, a partir do que foi citado no relatório anual do Conselho Global de Energia Eólica (GWEC), publicado em março de 2020 (GWEC, 2020), pela organização privada global que representa os interesses institucionais do conjunto das associações nacionais do setor eólico em todo o mundo.

Figura 32 - Distribuição da indústria e dos parques eólicos no país



Fonte: produzido pela Cognitio

63. <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53126039/relatorio-da-wood-mackenzie-aponta-desafios-para-expansao-da-fonte-eolica-onshore>.

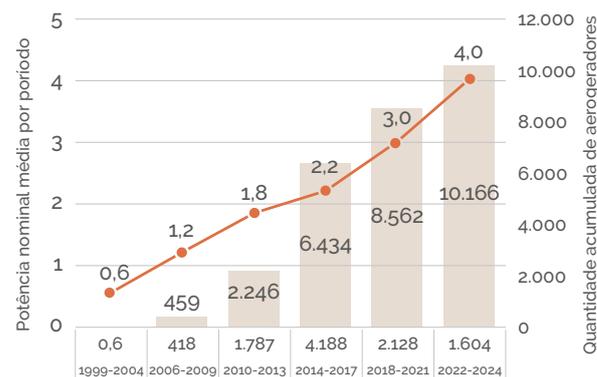
64. TUST e TUSD são taxas que remuneram atividades de transmissão e distribuição, bem como de manutenção da rede elétrica, e que são cobradas dentro da fatura de energia/conta de luz. A Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição (TUSD) incide sobre os consumidores conectados aos sistemas elétricos das concessionárias de distribuição. E a Tarifa de Uso do Sistema Elétrico de Transmissão (TUST) incide sobre os consumidores conectados aos sistemas elétricos das concessionárias de transmissão.

Dentre os pontos destacados estão seis projetos *offshore*, com quase 10 GW, em estágio de licenciamento no órgão nacional de meio ambiente, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama).

Os demais pontos são o *Roadmap Eólica Offshore Brasil*, também publicado em 2020 pela EPE (BRASIL, 2020a); o interesse privado crescente em diversificar fontes de energia renováveis; e, ainda, a realização, em 21 e 22 de julho (de 2021), do seminário virtual "Brazil's Offshore Wind Opportunity", patrocinado pelo Programa de Assistência à Gestão do Setor Energético do Grupo Banco Mundial (ESMAP) e pelo Conselho Global de Energia Eólica (GWEC).

Tabela 33 apresenta os novos modelos dos fabricantes, com alguns deles já credenciados ou em credenciamento no BNDES.

Figura 33 - Perfil dos parques eólicos brasileiros, em termos de potência nominal média e quantidade acumulada de aerogeradores, 1999-2024, em MW



Fonte: adaptado pelo autor a partir da base de dados da ABEEólica - 17/06/2020

4.2. Perspectivas e agenda do futuro

4.2.1. Novo padrão tecnológico no Brasil

Em função dessa nova fase do setor, as empresas âncoras da cadeia deram início ao processo de credenciamento da nova geração de aerogeradores de grande porte junto ao BNDES, o que deverá constituir uma paisagem distinta para os parques eólicos do futuro no Brasil.

A **Figura 33** ilustra o perfil dos parques eólicos brasileiros, mostrando claramente o novo padrão tecnológico de aerogeradores, em termos de tamanho e potência, e a

Os novos empreendimentos deverão entregar maior densidade de energia, uma vez que menos aerogeradores serão necessários por área, em comparação com o padrão tecnológico vigente no país nos últimos dez anos. Espera-se que a competitividade da fonte também seja fortalecida pelo aumento dos novos modelos de aerogeradores.

Assim, com exceção da Enercon-Wobben⁶⁵, todos os fabricantes estabelecidos no Brasil já deram início ao processo de credenciamento e desenvolvimento das novas máquinas. A produção do novo aerogerador da Vestas (V150-4.2MW) já atingiu 1 GW na nova fábrica da empresa localizada em Aquiraz (CE). A empresa já possui mais de

⁶⁵ O Sindicato dos Metalúrgicos de Sorocaba e Região confirmou, em notícia de 02/10/2019, que a Wobben havia encerrado a produção de pás e aerogeradores e manteria apenas os empregados da área administrativa (WOBWEN ENCERRA A PRODUÇÃO DE PÁS EÓLICAS EM SOROCABA, 2019).

2 GW de pedidos em carteira⁶⁶. O modelo é equipado com a maior pá eólica do mercado, com 73,3 metros, que é fabricada pela brasileira Aeris.

A GE Renewable Energy já obteve o código Finame para o modelo Cypress, de 4,8 MW a 5,3 MW de capacidade nominal. A máquina terá 60% de conteúdo local e será montada nas fábricas de Camaçari (BA) e

Suape (PE). Cerca de 20 fornecedores, em cinco estados, estão sendo desenvolvidos, além da fabricante de torres eólicas TEN (Torres Eólicas do Nordeste), uma *joint venture* da GE localizada em Jacobina (BA). As torres desse modelo terão 101 metros de altura. A GE ainda tem participação na fabricante LM *Wind Power*, a outra fabricante nacional de pás eólicas, que deverá produzir modelo de 77 metros para a Cypress.

Tabela 33 - O novo padrão tecnológico de aerogeradores em curso no Brasil

Empresa	Modelo – Potência (MW) ⁶⁷	Pás eólicas (m)	Altura Rotor (m)	Capacidade produtiva ⁶⁸	
				MW	Unidades
Nordex-Acciona	- AW3465-132 - (3,47) - Delta 4000 N163/5X - (5,0)	72,4	164	600	120
GE	- GE 2,7-116 - (2,7) - GE 5,5-158 (5,5)	77	101-161	1000	300
SGRE	- SG 132 - (3,75) - SG 155 - (5,8)	77,5	90-165	1.000	300
Vestas	- V150 - (4,2)	73,7	125	840	200
WEG	- AGW110 (2,2) - AGW147 (4,0)	73,5	125	500	120
Wobben ⁶⁹	- E-92 (2,35)	46	78-138	575	250
				4.515	1.290

Fonte: elaborado pela consultoria a partir de ABDI (2018) e prospectos dos equipamentos das empresas.

A SGRE está nacionalizando uma máquina de 5,8 MW de potência, cujo aerogerador terá pás eólicas de 83 metros para o modelo SG 134. A Nordex-Acciona vai lançar um aerogerador com 5 MW, que contará com pás de 74 metros e altura de rotor de 149 metros. A WEG, o único fabricante OEM nacional, que possui uma cadeia de fornecedores bastante verticalizada, vai produzir um aerogerador de 4 MW de potência e altura de rotor de 147 metros.

4.2.2. Nova política de conteúdo local

Reconhecida como peça fundamental do sucesso do setor eólico no passado recente, a política de conteúdo local – fruto da combinação de política energética (Ministério de Minas e Energia) e política de financiamento aos investimentos (BNDES) na geração de energia eólica associada com a nacionalização de equipamentos

66. <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53110365/vestas-obtem-certificacao-do-bndes-para-turbina-v150-4-2-mw>.

67. Geração atual e nova geração, sempre o de maior capacidade.

68. Dados de modelos, características e capacidade produtiva em unidades e potência estimada com base em dados públicos e relatos pessoais.

69. Empresa ainda não deu início ao registro de novo modelo de equipamento no cadastro do Finame-BNDES.

– deverá continuar desempenhando um papel relevante em médio e longo prazo.

De acordo com IEDI (2018), políticas de conteúdo local “devem evoluir com base em avaliações contínuas dos resultados obtidos” e a experiência brasileira no setor eólico demonstra a importância de políticas públicas cujos objetivos sejam sinalizados de modo claro às empresas. Tal clareza pode gerar um conjunto correspondente de ações do setor privado, em termos de investimento e construção de capacidades produtivas e tecnológicas.

Assim, com base nos resultados excepcionais obtidos na primeira fase do programa de nacionalização do BNDES, os técnicos

do banco conduziram um processo de discussão com representantes dos fabricantes sobre os critérios e os requisitos essenciais da nova versão do normativo interno, publicado em 10 de outubro de 2019, com as condições de financiamento por meio de prévio credenciamento no Finame (BNDES, 2019).

O **Quadro 6** apresenta exemplo das etapas e metas de percentual de conteúdo local e forma (item ou peso), com a data limite de 30/06/2020. O regulamento ainda estabelece metas intermediárias de 01/07/2020 até 31/03/2021; de 01/04/2021 até 31/12/2021; e, até 01/01/2022. Para a última data, as metas para o mesmo exemplo estão apresentadas no **Quadro 7**.

Quadro 6 - Metas de CL BNDES a serem cumpridas até 30/06/2020

Item	Conteúdo Local	Forma	Componentes
Cubo	100%	Item	Fundido, usinado e pintado no País (carenagem, rolamentos de passo, sistema de acionamento do passo e painéis de controle de passo)
Nacele	100%	Item	Doze (12) itens do Quadro 1-A, um (1) do tipo A e 5 do tipo B
Pás	60%	Peso	Orientações no regulamento
Torre de aço	60%	Peso	Forjados
	70%	Peso	Chapas de aço ou concreto armado
	100%	Item	Plataformas, escadas, suportes, guarda corpo, eletrodutos, parafusos de conexão de flanges

Fonte: elaborado pela consultoria, a partir de BNDES (2019)

A nova metodologia para credenciamento e apuração do conteúdo local para aerogeradores estabelece metas físicas, divididas em etapas, a serem cumpridas pelos fabricantes, de acordo com um cronograma previamente estabelecido, cuja data-limite é 22/01/2022. A metodologia tem regras distintas segundo as tecnologias dos aerogeradores, com ou sem caixa multiplicadora.

O novo normativo mantém o papel do BNDES no fomento ao desenvolvimento da cadeia produtiva ao longo do tempo, buscando internalizar produtos de maior complexidade, incorporar gradativamente componentes importados e permitir a adaptação de processos produtivos, em especial no momento em que os fabricantes passam por uma mudança no padrão

tecnológico dos seus novos modelos de aerogeradores.

Por um lado, a norma estabelece critérios técnicos para definir o que se entende por fabricação de torres, rotor (cubo e pás eólicas) e nacele, incluindo a origem, a qualidade das matérias-primas e os processos

de transformação envolvidos e, por outro, fomenta a manutenção da nacionalização para itens de maior conteúdo tecnológico. Mas, ao mesmo tempo, deixa opções de escolha ao fabricante para casos de determinados itens, cuja produção econômica no país não seja viável em função de aspectos de escala produtiva.

Quadro 7 - Metas de CL BNDES a serem cumpridas até 01/01/2022

Item	Conteúdo local	Forma	Componentes
Cubo	100%	Item	Fundido, usinado e pintado no País (carenagem, rolamentos de passo, sistema de acionamento do passo e painéis de controle de passo)
Nacele	100%	Item	Vinte e um (21) itens do Quadro 1-B, três (3) do tipo A e oito (8) do tipo B
Pás	100%	Peso	Orientações no regulamento
Torre de aço	100%	Item	Plataformas, escadas, suportes, guarda corpo, eletrodutos, parafusos de conexão de flanges
		Peso	Chapas de aço ou concreto armado
			Forjados

Fonte: elaborado pela consultoria, a partir de BNDES (2019)

O desenho da atual norma demonstra claramente uma compreensão adequada das características e dos vetores de desenvolvimento de aerogeradores, em termos de engenharia, tecnologia e da cadeia produtiva para a fabricação de aerogeradores. De acordo com Araújo e Willcox (2018), um aerogerador pode ser visto a partir de três pacotes principais:

- (i) conversão eletromecânica e componentes estruturais da nacele;
- (ii) aerodinâmico, composto pelo conjunto de pás e componentes do *hub*;
- (iii) pacote de sustentação do aerogerador com a torre e seus elementos estruturais.

Do ponto de vista tecnológico e estratégico para os fabricantes, o pacote de conversão eletromecânica é o mais sofisticado e constitui importante diferencial estratégico para a indústria. A fabricação própria ou a gestão de terceiros é extremamente crítica para a competitividade dessas empresas.

O pacote aerodinâmico ocupa o segundo posto, tendo em vista que seu desempenho está associado diretamente com a eficiência e a capacidade de geração de energia. O pacote estrutural, por fim, é o menos intenso em tecnologia.

Em função dessas diferenças, é desejável que o mecanismo de crédito, que busca pela nacionalização de componentes, leve

em conta todas as barreiras técnicas e econômicas para a localização ou a criação de novas linhas de negócios para a produção de componentes do setor eólico nas empresas com subsidiárias no Brasil.

As empresas fornecedoras de componentes estratégicos do pacote de conversão eletromecânica, como caixa multiplicadora (*gearbox*), gerador e inversor, por exemplo, atuam em escala global, concentrando seus centros de P&D e fábricas nos maiores mercados eólicos no mundo, em função de se tratar de um mercado completamente internacionalizado.

Um exemplo típico é a Winergy⁷⁰, marca da Flender GmbH, uma subsidiária da Siemens, que possui quatro (4) fábricas localizadas na Alemanha, Estados Unidos, China e Índia. A empresa entregou a sua primeira caixa multiplicadora para o setor eólico em 1981. Dez anos depois, equipou os aerogeradores de 450 KW do primeiro parque eólico *offshore* do mundo, chamado Vindeby, na Dinamarca e, em 2013, atingiu o valor de 100 GW de produção de caixas multiplicadoras (WINERGY, 2013). Naquele ano, quando a capacidade da fonte eólica

atingiu 318 GW, a empresa tinha equipado cerca de 30% de todos os aerogeradores instalados no mundo.

A Winergy possui mais de 20 modelos, com potência mínima de 600 kW, média de 1,5 MW e máxima de 3,6 MW, atendendo a todos os grandes fabricantes ocidentais de aerogeradores: Vestas, SGRE, GE e Nordex-Acciona, dentre outras. Desde 2011, a empresa já produz caixa multiplicadora de 6,5 MW (WINERGY, 2019).

O novo normativo de credenciamento do Finame, por exemplo, exige a nacionalização de pelo menos um dos três itens previamente citados⁷¹ até janeiro de 2022, data limite da última etapa do processo de nacionalização. Especificamente, a caixa multiplicadora poderá ser substituída por outros quatro itens na última data limite, mas os formuladores da política operacional do BNDES e o setor privado envolvido na discussão, liderado pela Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (Abimaq), ainda incluíram o componente num grupo de outros quinze itens (C e D), para o qual a regra exige a nacionalização de treze componentes.

Quadro 8 - Datas limites para a nacionalização progressiva de componentes eólicos do novo normativo de credenciamento Finame-BNDES: exemplo de itens do tipo A

30-06-2020	31-03-2021	31-12-2021	01-01-2022
escolher 1 dentre 3 itens			escolher 3 dentre 5 itens
Caixa multiplicadora Gerador Inversor	Caixa multiplicadora Gerador Inversor	Caixa multiplicadora Gerador Inversor	Rolamento de pitch Gerador Inversor Fundido da nacele Fundido do cubo

Fonte: elaborado pela consultoria, a partir de BNDES (2019).

70. <https://www.winergy-group.com/>.

71. A saber: caixa multiplicadora (*gearbox*), gerador e inversor.

Esse é um exemplo do desafio competitivo para a produção de componentes industriais importantes para o setor. O desafio para a indústria nacional é se posicionar como opção competitiva para a produção desses componentes de alto conteúdo tecnológico, não só para o mercado brasileiro, mas também para o mercado latino-americano.

Segundo estudo da consultoria Technavio, o mercado de caixas multiplicadoras, no período de 2020-2024, deverá ter um CAGR de quase 6%, impulsionado pelo crescimento das instalações de energia eólica *offshore*, e por uma participação crescente na região da Ásia do Pacífico (APAC). Trata-se de um mercado concentrado, e o grau de concentração deverá crescer ainda mais. Além da Flender GmbH (Winergy), os outros competidores desse mercado tão importante para o setor eólico são: Dana Inc., General Electric Co., ISHIBASHI Manufacturing Co. Ltd., Movent Gears Oy, Nanjing High Accurate Drive, Equipment Manufacturing Group Co. Ltd., Robert Bosch GmbH, Siemens AG, Voith GmbH & Co KGaA e ZF Friedrichshafen AG (BUSINESS WIRE, 2020).

Algumas dessas empresas possuem operações no Brasil, mas sabe-se que muitos desses fornecedores mantêm uma extensa lista de pedidos em produção, possuem equipamentos, partes e peças em estoque para comercialização ou reposição imediata, além de terem alto custo de capital de giro. Somados, esses aspectos constituem barreiras de entrada para novas linhas de produção.

Assim, a produção nacional de alguns componentes enfrenta dificuldades em termos de competitividade de custo, decorrente de gargalos de escala produtiva, de disponibilidade em estoque e, ainda, de pressão de cronogramas concentrados para a entrega de equipamentos, em função da característica da demanda gerada por meio de leilões de energia – prática usual no Brasil desde 2009.

Do ponto de vista doméstico, o crescimento do investimento no ambiente de contratação livre, a difusão dos chamados certificados de energia renovável (i-REC) e uma eventual retomada de leilões de energia com a recuperação do crescimento econômico são caminhos para a criação de um mercado industrial que viabilize a nacionalização e, por conseguinte, a criação de mais postos de trabalho no segmento de fabricação.

4.2.3. Futuro do setor eólico no Brasil

O crescimento do setor eólico no Brasil está associado ao aumento da demanda por energia, que sobe até 2% a cada 1% de crescimento do PIB nacional, de acordo com a economista e presidente da ABEEólica, Elbia Gannoum (GOITIA, 2020). Além de constituírem um pilar econômico, os movimentos de ampliação dos investimentos para o *upgrade* tecnológico dos principais fabricantes de aerogeradores são sinais de confiança no país, seja em função da excepcional dotação do recurso eólico, seja pelo ambiente institucional e econômico bem-sucedido, expresso por financiamento

adequado às especificidades do investimento e da manutenção de uma cadeia nacional de fornecedores competitiva.

Em relação às questões logísticas, a situação do Brasil é diferente daquela experimentada por países pequenos, como a Dinamarca, por exemplo, que abriga mais de 500 empresas em todos os segmentos da cadeia de valor eólica num raio de apenas 150 km (IRENA, 2017).

Todos os problemas logísticos, cujos gargalos já haviam sido parcialmente superados ao longo dos últimos 10 anos – condições na infraestrutura de transporte, distâncias entre as plantas fabris e os parques eólicos, questões com os órgãos de gestão das rodovias (DNIT, ANTT e PRF), entre outras – deverão, em curto e médio prazo, atingir um novo patamar de desafios a serem superados, a partir das novas dimensões e pesos das partes e peças dos novos modelos de aerogeradores. Esse é um dos principais assuntos que mantêm os executivos de logística e transporte ocupados durante o dia e preocupados durante a noite, de acordo com relato de representante da Associação Brasileira de Energia Eólica.

A modernização do setor também passa pela abertura de capital de uma das duas empresas nacionais de pás eólicas, cujo mercado tende a crescer, em função de maior terceirização de pás para fornecedores independentes, a exemplo da Vestas e do fechamento de unidades próprias da

Enercon, cuja empresa no Brasil, a Wobben, vive um processo de venda de ativos⁷² e de reestruturação que, eventualmente, pode até resultar no encerramento de suas operações de fabricação⁷³ depois de 25 anos. A empresa, instalada em Sorocaba em 1995, foi responsável pelo primeiro parque eólico do país, a usina de Taíba, no Ceará, com 10 aerogeradores de 500 kW.

Em termos do investimento, é importante enfatizar que é consenso, entre diversos executivos do setor de desenvolvimento de projetos, de geradores e gestores de fundos de investimentos, a importância que o mercado livre tem para o futuro. Grande parte do investimento anual previsto até 2030, da ordem de R\$ 7 bilhões anuais, num total de quase R\$ 270 bilhões, será gerado caso as projeções iniciais de crescimento da capacidade instalada se concretizem (GOITIA, 2020).

A publicação especial da revista Valor Setorial – Energia apresenta a visão de diversos executivos do setor, que merece ser mencionada:

- desde dezembro de 2019, mais de 25% da produção eólica foi comercializada no mercado livre;
- o desenvolvedor responsável por cerca de 30% de todos os parques eólicos em implantação ou em operação hoje no país, contratados no ambiente regulado ou livre, decidiu que 95% das futuras

72. A Aeris adquiriu, em agosto de 2020, as instalações localizadas no Complexo Industrial e Portuário do Pecém, que eram propriedade da Wobben Windpower Indústria e Comercio Ltda.

73. A Wobben detém contratos de O&M dos parques instalados com a suas máquinas.

operações serão para o ambiente livre, fundamentado na percepção que a aproximação entre geradores e grandes consumidores se configura como tendência global, em função da competitividade da fonte;

- outro executivo – com investimentos em curso da ordem de R\$ 3,2 bilhões para dois complexos eólicos que, juntos, somam mais de 1 GW – declarou que, com a *“a entrada dos complexos eólicos, [...] teremos cerca de metade dos nossos projetos com esta fonte de energia destinada ao mercado livre”*;
- uma companhia de geração anunciou recentemente a construção de dois complexos eólicos que deverão ofertar 100% da energia gerada para o mercado livre, com investimentos da ordem de R\$ 2 bilhões.

Na presente pesquisa, alguns resultados obtidos confirmam essa tendência. Doze dos executivos que se identificaram como desenvolvedores de projetos eólicos responderam que, nos últimos anos, em média, mais de 60% dos projetos desenvolvidos foram contratados no ambiente regulado. Mas reportaram que 80% dos projetos futuros serão direcionados para contratação no mercado livre.

Em outra questão, sobre os eventos/ condições de mercado gerarem ou não a necessidade de contratação de novos colaboradores, considerando somente os executivos ligados às áreas de fabricação e serviços de construção e O&M, mais de

40% dos/as 18 respondentes consideraram as possibilidades de expansão do mercado livre importantes ou extremamente importantes para essa tomada de decisão. Se incluídos aqueles/as que responderam que é moderadamente importante, o percentual é de 80%.

A emergência da produção eólica *offshore* também é um dos pontos da agenda do futuro do país em médio e longo prazo. De acordo com declaração de especialistas – apesar de alguns estudos acadêmicos, da própria EPE que elaborou um *roadmap* do *offshore* eólico, e de um número razoável de projetos sendo preparados e registrados nos órgãos competentes, como o Ibama, para licenciamento ambiental – ainda não há certeza de quando essa geração de energia eólica *offshore* poderá ser incorporada ao mercado brasileiro. Outro especialista, executivo de empresa internacional estabelecida no Brasil e com grande competência em geração *offshore*, entende que esse tipo de investimento ainda deverá levar algum tempo para ser introduzido no Brasil (GOITIA, 2020).

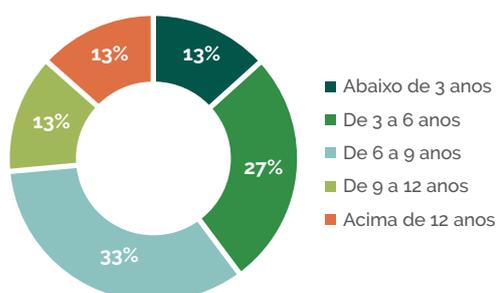
Também perguntamos para todos os participantes da pesquisa sobre em quanto tempo o Brasil deverá ter os seus primeiros parques eólicos *offshore*. Como era de se esperar, as respostas variaram muito, e o resultado consolidado da visão de trinta e oito (38) executivos/as que responderam à questão está representado na **Figura 34**.

Considerando um valor agregado do total dos/as respondentes, 74% entendem que o país poderá produzir energia eólica em

ambiente *offshore* em até nove anos, e os outros 26% consideram mais realista um prazo acima de 9 anos. Ou seja, o assunto é polêmico e sobre ele não há consenso, diferentemente da questão da importância do mercado livre no futuro do setor.

Quanto ao ambiente de investimento, é relevante considerar que, em nível internacional, as perspectivas são positivas e, segundo estimativas de médio prazo, o crescimento da geração de energia eólica no mundo apresentará expansão anual de 4,1% entre os anos 2019 e 2029, de acordo com a Wood Mackenzie. Segundo projeções da Bloomberg, o ritmo de crescimento em longo prazo deve atingir até 5,8% ao ano até 2050, saltando de uma participação de 8% na matriz energética global em 2017 para cerca de 21% em 2050 (CVM, 2020).

Figura 34 - Em quanto tempo o país deverá ter os seus primeiros parques eólicos *offshore*?



De acordo com estudo da consultoria Wood Mackenzie apud CVM (2020), espera-se o seguinte cenário para o Brasil:

- a atividade de construção de parques eólicos não foi interrompida e deverá permiti-

tir a inserção de potência prevista de até 19 GW até o final de 2021;

- foram identificados mais de 85 GW de projetos com PPAs e contratos de fornecimento de aerogeradores que suportam a inserção de potência prevista para 2024 [da ordem de 25 GW, de acordo com dados da ABEEólica – grifo do autor];
- o impacto da Covid-19 na economia e na demanda de energia não havia sido quantificado à época do estudo [de acordo com o ONS⁷⁴, o consumo de energia deve crescer 2,1% sobre agosto de 2019, sinalizando que a retomada da carga de energia é indicio do reaquecimento das atividades econômicas e da flexibilização de algumas medidas restritivas no país - grifo do autor];
- mais de 5 GW de projetos estão previstos para o mercado livre, com planos de serem construídos entre 2020-2024, o que poderá compensar o cancelamento dos leilões de 2020 devido à Covid-19;
- o cenário é de alto potencial para crescimento do *offshore*⁷⁵ no Brasil em até 10 anos, tendo em vista que a curva de potência do país e o incremento de altura dos modelos de aerogeradores ainda reservam um espaço para expansão no *onshore* [o argumento parece razoável, sem contar que ainda não há clareza quanto ao modelo institucional e regulatório, os arranjos econômicos e produtivos para a implantação dos parques eólicos no país – grifo do autor];

74. colocar link...

75. Estudo da EPE mostra um potencial em torno de 700 GW em locais com profundidade até 50 metros.

- dadas as características do recurso eólico no Brasil, com fator de capacidade médio de geração de energia eólica de 46%, versus uma média mundial de 34%, é possível afirmar que o país faz jus a sua fama de melhor vento do mundo. Esse percentual resulta também no maior retorno ao investimento em energia eólica do mundo.

O crescimento da capacidade instalada de energia eólica no Brasil nos próximos 20 anos está condicionado, em curto e médio prazo, pela visão e decisões dos agentes econômicos quanto ao volume e ao ambiente de investimentos mais favorável, em função das transformações do mercado de energia, em especial pelo lado da demanda de um setor privado cada mais consciente das vantagens econômicas, ambientais e corporativas do consumo de energia renovável nas suas instalações administrativas e industriais.

Um crescimento contínuo em bases anuais deverá ter um impacto positivo na criação de empregos em todos os elos da cadeia eólica e em diversas regiões do país, e deverá demandar a formação e o treinamento de competências para um grande contingente de profissionais nas diversas ocupações necessárias à realização das diversas atividades do setor.

O sistema de educação técnica e superior deverá estar capacitado para atender toda essa demanda e, neste sentido, é

importante avaliar como lidar com esse desafio de formação dos profissionais do futuro da indústria.

4.3. Capacidades institucionais em ensino e formação profissional no Brasil

O conjunto de ocupações e de oportunidades no setor eólico está distribuído em todas as etapas da cadeia de valor e requer diferentes níveis de competências (natureza do trabalho, educação formal, quantidade de treinamento e/ou tempo de experiência) e especializações associadas à área de conhecimento e à capacidade de produzir os diversos tipos de bens e serviços associados ao setor eólico.

No caso do Brasil, dando continuidade aos esforços de melhor compreensão do setor, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) publicou estudo sobre o mapa de carreiras para o setor eólico⁷⁶, com o detalhamento dos perfis profissionais, salários aproximados e oportunidades de crescimento ao longo da cadeia de valor de energia eólica, cujos detalhes estão reproduzidos no Anexo 8.15.

Esse estudo apresentou as características gerais e específicas dessas ocupações para o setor eólico, embora não tenha sido objeto daquele trabalho apontar padrões de treinamento para cada uma destas ocupações. De forma geral, as universidades são responsáveis pela maior parte

76. O resultado pode ser visto em <http://sitesinteligencia.abdi.com.br/sites/carreiras-eolica/>.

da formação para as ocupações de nível superior e pós-graduação, e as escolas técnicas e profissionalizantes (SENAI e escolas técnicas federais), para as carreiras técnicas de nível médio e tecnológico. Cabe ressaltar também o mapeamento realizado pela *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)* sobre as principais organizações de ensino com oferta de cursos voltados para o setor eólico tanto na educação superior quanto na técnica/tecnológica.

Outra iniciativa de destaque foi o programa "Profissionais para Energias do Futuro", realizado pela Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável, em uma parceria do Ministério de Minas e Energia (MME) com o Ministério Alemão de Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ). Coordenado pelo MME no âmbito do projeto "Sistemas de Energia do Futuro", o programa envolveu a Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica do Ministério de Educação (Setec/MEC), o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) e a *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH* (GIZ, 2018). A iniciativa também contribuiu para o programa EnergIF, que apoiou a estruturação das bases da educação profissional na Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica (Rede Federal) de EPCT, nas áreas de energias renováveis e eficiência energética.

Em 2014, o programa "Profissionais para as Energias do Futuro" viabilizou a elaboração de itinerários formativos que mapeou a base de conhecimento e das competên-

cias necessárias aos futuros profissionais da área. O trabalho foi executado em estreita sintonia com empresas e associações setoriais, no âmbito dos comitês técnicos setoriais do SENAI.

Em 2022, foi lançado o projeto Profissionais do Futuro, que tem o objetivo de ampliar as perspectivas de emprego das/os egressas/os de educação profissional em setores de sustentabilidade da economia brasileira, especialmente nos setores da energia renovável, da economia circular, da bioeconomia e da digitalização da economia.

Os primeiros três cursos de qualificação profissional para a área de energias renováveis produzidos pelo SENAI são: (i) confeccionador/a de componentes compósitos para aerogeradores (160 h); (ii) reparador/a de pás de aerogeradores (160h); e, técnico/a em sistemas de energia renovável (1.200 h).

Uma outra publicação, no âmbito do programa EnergIF pela Setec/MEC, detalhou o perfil de cursos de especialização e de qualificação, sendo quatro (4) desses voltados ao setor eólico: (i) especialista em projetos de geração de energia eólica (pós-graduação lato sensu, 440 h); (ii) especialista técnico/a em operação e manutenção de parques eólicos (especialista técnico - nível médio, 492 h); (iii) especialista técnico/a em implantação e comissionamento de parques eólicos (especialista técnico/a - nível médio, 400 h); (iv) operador/a em fabricação e reparação de pás de aerogeradores (qualificação profissional, 280 h) (KNOPKI e OLIVEIRA, 2018).

Em termos de cursos técnicos, entendidos como cursos de nível médio, que habilitam os/as alunos/as para o exercício profissional, o Catálogo Nacional de Cursos Técnicos (CNTC) – instituído pelo MEC por meio da Portaria nº 870, de 16 de julho de 2008 – é o documento oficial com a descrição de todos os cursos reconhecidos pelo MEC e visa a orientar as instituições de ensino e estudantes.

Com a contribuição de diversos especialistas, o CNTC descreve mais de 200 cursos técnicos, organizados em 13 eixos tecnológicos. Cada um dos cursos tem uma denominação específica, carga horária mínima (em geral, 1.200 horas para um período de 18 meses), perfil profissional e rotas possíveis de evolução em cursos de especialização ou de nível superior. As recomendações constantes no CNTC deverão ser seguidas por todas as instituições de ensino credenciadas do sistema federal, estadual, distrital ou municipal.

Em nível federal, estão todos os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, o Colégio Pedro II, as escolas técnicas vinculadas às universidades federais, os centros federais de educação tecnológica, os centros que integram a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica e todo o sistema S de ensino (Senai, Senac, Senar e Senat).

No caso dos demais níveis federativos, estão as redes públicas de educação profissional e tecnológica (Etec), escolas técnicas privadas, e instituições de ensino

superior habilitadas para ofertar cursos técnicos (MEC/SETEC, 2020).

Em geral, os cursos técnicos podem ser ofertados por meio de três (3) formas básicas, além de duas (2) outras – aplicadas a alunos em potencial que não concluíram o ensino médio na idade considerada adequada –, que podem ocorrer de forma articulada com a educação de jovens e adultos, conforme o **Quadro 9**.

Quadro 9 - Natureza e pré-requisitos de acesso aos cursos técnicos no Brasil

Natureza dos cursos técnicos	Pré-requisito
Integrado	Ensino fundamental concluído e com matrícula única na mesma instituição
Concomitante	Cursando o ensino médio e em unidades de ensino distintas ou não
Subsequente	Ensino médio concluído
Integrado à educação de jovens e adultos	Ensino fundamental concluído
Concomitante à educação de jovens e adultos	Ensino fundamental concluído

Fonte: adaptado pelo autor a partir de MEC/Setec (2020)

Considerando as especificidades das atividades do setor eólico e a importância do pacote de conversão eletromecânica – que envolve conhecimento intensivo em tecnologias da eletrônica, de controle e automação, de novos materiais e da engenharia mecânica –, o eixo tecnológico “Controle e Processos Industriais” é o que contém maior quantidade de opções para quem tem interesse em se preparar para obter uma oportunidade de emprego no setor.

Esses cursos (**Quadro 10**) podem preparar técnicos tanto para as áreas de fabricação, O&M e desenvolvimento de projetos eólicos:

Quadro 10 - Cursos técnicos reconhecidos pelo MEC no eixo tecnológico "Controle e Processos Industriais"

Segmento da cadeia de valor eólica	Nome dos cursos técnicos
Desenvolvimento de projetos	Sistemas de Energia Renovável
Fabricação	Fabricação Mecânica Ferramentaria Fundição Instrumentação Industrial Mecânica de Precisão Metrologia
Fabricação / O&M	Automação Industrial Eletroeletrônica Eletrônica Eletrotécnica Mecânica Mecatrônica

Fonte: adaptado pelo autor, a partir de MEC/Setec (2020)

Em relação aos cursos técnicos, além do eixo "Controle e Processos Industriais", outros eixos tecnológicos do CNCT ofertam opções nem sempre diretamente relacionadas com competências técnicas centrais para o setor eólico, mas, nem por isso, menos importantes. São eles:

- **Ambiente e Saúde / Segurança do Trabalho:** técnicos/as de controle ambiental; meio ambiente; meteorologia; segurança do trabalho;
- **Desenvolvimento Educacional e Social:** técnico/a em desenvolvimento comunitário;

- **Gestão de Negócios:** diversos, como técnico/a em contabilidade; finanças; recursos humanos etc.;
- **Informação e Comunicação:** técnico/a de redes de computadores; telecomunicações;
- **Infraestrutura: diversos, como técnico/a em carpintaria;** geodesia e cartografia etc.

A pertinência da oferta de cursos técnicos para atender à demanda futura desse tipo de profissional, especialmente no Nordeste, pode ser verificada, a título de exemplo, pela prática de contratação de profissionais pelo fabricante OEM Vestas. Nessa empresa, a maior parte das posições em aberto são para áreas com formação técnica, em especial para a área de O&M, conforme pode ser visto na **Tabela 34**.

Há evidências de que a área de O&M cresce em importância, em médio e longo prazo, pois trata-se da entrada regular de receita financeira que é menos susceptível a flutuações de mercado ao longo de todo o ciclo de vida de um parque eólico. E, segundo declaração de um dos executivos entrevistados, a margem de lucro da atividade está maior que a venda dos equipamentos, principalmente em decorrência da redução contínua dos preços dos aerogeradores e da acirrada concorrência entre os fabricantes OEM.

Tabela 34 - Recrutamento de funcionários/as na página da Vestas. Posição em 26/08/2020

Área funcional/Ocupação	Vagas
Administração – 10%	15
Aprendiz / Estagiário/a / Trainee	1
Líder de equipe	1
Profissional	13
Trabalho qualificado e semiquualificado – formação técnica	1
Serviços de engenharia – 90%	140
Aprendiz / Estagiário/a / Trainee	1
Gestão	6
Líder de equipe	6
Profissional	19
Trabalho qualificado e semiquualificado – formação técnica	108
Vendas – 1%	1
Trabalhado qualificado e semiquualificado – formação técnica	1
Total de vagas disponíveis	156

Fonte: adaptado pelo autor, a partir de <https://careers.vestas.com/>. Acesso em 26/08/2020

De acordo com a pesquisa realizada, a maior parte dos/as respondentes mantêm contratos de serviços de manutenção de longo prazo, sejam eles/as desenvolvidores/as, investidores/as, proprietários/as ou geradores/as. A Vestas, por exemplo, tem essa estratégia explicitada em seus relatórios anuais, incluindo serviços de O&M para máquinas próprias e de terceiros, e a comercialização de peças OEM e de outros fabricantes (VESTAS, 2020). A empresa executa serviços de manutenção em 69 países e detém mais de 100 GW em contratos, dos quais 8 GW são de outras marcas de aerogeradores⁷⁷.

A empresa possui modelo de parceria conhecido como “Active Output Management®” (AOM) em cinco (5) níveis. A variedade e o pagamento de serviços variam conforme os níveis de adesão ou modelos contratuais. No primeiro nível (AOM100), o cliente paga somente pelos serviços utilizados e, no último nível (AOM5000), é oferecido ao cliente uma solução completa customizada para maximizar a geração de energia, alocando os serviços e a manutenção apenas durante os períodos de vento fraco, e com garantia de até 97% da disponibilidade de energia (VESTAS, 2020).

É possível afirmar que se trata de tendência a ser seguida, em função do crescimento do setor e da importância crescente da estratégia de ampliação de contratos de prestação de serviços de O&M, como pode ser visualizado na **Tabela 35**, na qual constam os dados do percentual de contratos de serviços de O&M para os dois principais fabricantes ocidentais.

Tabela 35 - Percentual de contratos de serviços de O&M – Top 2 OEM, 2019

Empresa	SGRE	Vestas	
Capacidade instalada (MW)	99.034	115.000	
Contratos de O&M (MW)	60.030	97.750	Média Top 2
% O&M/ Capacidade instalada	61%	85%	73%

Fonte: adaptado pelo autor, a partir dos relatórios anuais das empresas (VESTAS, 2020); (SGRE, 2020)

⁷⁷ <https://www.vestas.com/en/services/service-partnership#!>, acesso em 21/09/2020.

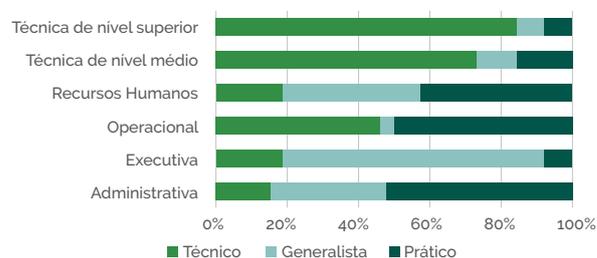
A pesquisa realizada também endereçou algumas questões sobre aspectos associados com:

- o perfil mais valorizado pelas empresas;
 - **Técnico:** sólidos conhecimentos em engenharia, matemática, ciências etc.;
 - **Generalista:** bom conhecimento do setor e do mercado;
 - **Prático:** capacidade para a solução de problemas e bom nível de conhecimento aplicado.
- as áreas de competências mais importantes para melhorar as competências dos potenciais e futuros candidatos;
- o questionamento sobre a padronização da educação técnica e do treinamento profissional ser importante para a indústria;
- o modo como essa padronização deveria ser aplicada e, ainda,
- as políticas mais importantes de serem adotadas pelo setor na área de educação e treinamento.

De acordo com as respostas, observou-se que o perfil técnico é dominante para as carreiras técnica de nível médio ou tecnológico, e de nível superior.

Por sua vez, o perfil generalista é mais desejável para a carreira executiva, e, o perfil prático, para as carreiras operacionais e administrativa. De qualquer modo, há uma distribuição desses perfis para cada carreira, conforme pode ser observado na **Figura 35**.

Figura 35 - Perfis genéricos dominantes para carreiras no setor eólico



Questionados sobre as medidas mais importantes para melhorar as competências dos potenciais e futuros candidatos/as para trabalhar no setor, mais de dois terços dos/as respondentes apontaram a necessidade de alianças da indústria com as escolas, e mais investimentos nos centros de formação técnica, conforme o **Quadro 11**.

Quadro 11 - Medidas para melhoria das competências profissionais no setor eólico

Medida prioritária	Ranking	Top 3
Formação de alianças entre a indústria eólica e instituições de treinamento técnico	1	70%
Mais investimentos em centros de formação técnica especializados	2	70%
Programa de bolsas de mestrado e doutorado financiado pela indústria eólica, a partir de áreas de pesquisa direcionadas pela indústria	3	54%
Programa de estágios na indústria, nas áreas de conhecimento de interesse da indústria eólica	4	46%
Estabelecer conjunto de normas nacionais para educação e treinamento em energia eólica	5	59%

Questionados/as se a padronização da educação técnica e do treinamento

profissional seria benéfica para o setor eólico no Brasil, mais de 94% dos/as respondentes disseram que sim. E, ainda, perguntamos sobre como a padronização da educação técnica e do treinamento profissional deveria ser aplicada ao setor.

Para mais de dois terços dos/as respondentes, as prioridades devem ser mais ênfase no desenvolvimento de habilidades práticas e mais ênfase nos aspectos técnicos e de engenharia, o que reflete bem a importância de uma "atitude voltada para a solução de problemas". A **Tabela 36** apresenta a tabulação dos resultados.

Tabela 36 - Prioridades na padronização da educação técnica e do treinamento profissional

Aplicações em padronização	Ranking	Top 3
Mais ênfase em desenvolvimento de habilidades práticas	1	69%
Mais ênfase em aspectos técnicos e de engenharia	2	70%
Mais ênfase em desenvolvimento e gestão de projeto	3	57%
Melhoria dos currículos técnicos e acadêmicos	4	52%
Mais ênfase em aspectos de saúde e segurança	5	50%

Por fim, foi perguntado que políticas o setor via como as mais importantes de serem adotadas nas áreas de educação e treinamento. O intercâmbio de conhecimento com as instituições acadêmicas é visto como a mais relevante pelos/as

executivos/as do setor. Em certa medida, a segunda política mais importante dialoga com a primeira, pois visa a ampliar o número de professores/as com experiência no setor, conforme pode ser visto na **Tabela 37**.

Tabela 37 - Visão do setor sobre as políticas mais importantes na área de educação e treinamento

Políticas na área de educação e treinamento	Importante ou extremamente importante	Moderadamente importante	Pouco ou não muito importante
Promover a transferência de conhecimento entre setor eólico e instituições acadêmicas	91%	3%	6%
Tomar medidas para aumentar o número de professores/instrutores com experiência no setor eólico	84%	13%	3%
Incentivar mais contribuições da indústria em disciplinas relevantes ao setor nos cursos de nível superior	75%	16%	9%
Promover a transferência de conhecimento entre a indústria eólica e os fornecedores de treinamento técnico, tecnológico e vocacional	75%	13%	13%
Financiar iniciativas conjuntas de treinamento e capacitação pela indústria	59%	25%	16%

As necessidades de treinamento e capacitação no setor são bastante diversificadas, e envolvem cursos de curtíssima duração, como técnicas de torqueamento; de duração média, como capacitação na NR-10; formação técnica modular de até 160h, como especialista em operação e manutenção de parques eólicos; e formação tecnológica avançada, de 1.200 h, que forma tecnólogos/as em energias renováveis.

Em geral, as mulheres representam cerca de 25% das vagas nos cursos do setor eólico, de acordo com os/as respondentes de dois estados. Já em relação à distribuição de vagas por origem dos/as treinandos/as, se do próprio estado ou de outros, para uma das escolas, o percentual é de 50/50; enquanto, para a outra escola, a relação fica em 75/25, com predominância de alunos/as do próprio estado. Sobre a recorrência do treinamento, enquanto em uma escola, cerca de 25% dos/as alunos/as são treinados/as pela primeira vez, na outra, o percentual é de 75%.

A percepção geral sobre a capacidade de formação, capacitação e treinamento para o setor no Brasil variou entre uma melhoria moderada ou sem modificação. De acordo com um/a dos/as respondentes – com alto grau de envolvimento no âmbito das iniciativas do MEC – a melhoria na área está associada com o avanço do conhecimento das necessidades de capacitação para atuar no setor, como o desenvolvimento dos itinerários formativos.

Por outro lado, apesar dos esforços das instituições de ensino, ainda há dificuldades de cooperação com as empresas. Há um amplo leque de áreas de conhecimento e aplicação nessa agenda, que envolve bases de conhecimento na mecânica, elétrica, logística, construção civil, manipulação de resinas químicas, trabalho em altura, espaços confinados etc. O Senai, por sua vez, tem conseguido uma atuação mais próxima com a indústria, com uma ampla gama de cursos em diversas regiões e, ainda, desenvolveu um esforço pioneiro para o setor eólico, por meio dos chamados itinerários profissionais, continuamente atualizados.

Adicionalmente aos canais tradicionais de educação formal, treinamento e capacitação profissional no Brasil e no mundo, cabe ressaltar o conjunto de treinamentos e certificações voltadas para as áreas técnicas e de segurança básica, elaborado pela *Global Wind Organization*⁷⁸ (GWO), uma organização sem fins lucrativos, sediada na Europa, e fundada em 2012, a partir de iniciativa dos principais fabricantes de aerogeradores (OEM) e proprietários de parques eólicos.

Tendo em vista o caráter transnacional de atuação dos fabricantes de aerogeradores, as características intrínsecas às atividades da cadeia de valor nos ambientes *onshore* e *offshore* – em especial nas fases de construção/instalação e O&M –, as ferramentas/equipamentos e as condições próprias

78. <https://www.globalwindsafety.org/>.

dos parques eólicos, a GWO foi constituída com o objetivo de estabelecer um conjunto de padrões de treinamento para permitir a oferta de mão de obra capaz de atender às necessidades de saúde e segurança do setor.

Além desses padrões, a organização mantém uma lista de empresas de treinamento e de organismos de certificação habilitados para garantir a qualidade dos cursos endereçados aos empregados da indústria, incluindo requisitos mínimos e ciclos contínuos de atualização em saúde e segurança no ambiente de trabalho. Empresas credenciadas já estão ofertando treinamentos no Brasil, e a organização conta com uma metodologia de ensino de ponta.

Cada padrão de treinamento está endereçado a um determinado público-alvo, e possui metas e objetivos, requisitos para os provedores de treinamento, duração dos módulos, período de validade, pré-requisitos e demandas de natureza física para os participantes. A avaliação do aprendizado possui taxonomia própria para evidenciar o nível atingido pelo aluno em termos de conhecimentos, habilidades e atitudes.

O **Quadro 12** apresenta as definições dessa taxonomia e mais detalhes de cada um desses domínios de aprendizado, além dos comportamentos esperados por nível, para cada um dos padrões de treinamento, cujos manuais podem ser acessados no sítio eletrônico da organização.

Quadro 12 - Taxonomia de aprendizado GWO - verbos e níveis de domínio

Domínio de aprendizagem	Fundamentos	Nível GWO		
		1	2	3
Atitude	"Taxonomia afetiva" de Krathwohl Atitude e sentimentos em relação à aprendizagem			3
Habilidade	"Taxonomia psicomotora" de Simpson Habilidades físicas e cognitivas (controladas e observáveis)		2	3
Conhecimento	"Taxonomia cognitiva" de Bloom Conhecimento intelectual, habilidades mentais e procedimentos	1	2	

Fonte: (GWO, 2020)

De acordo com a GWO, os padrões de treinamento buscam capacitar a mão de obra sobre os riscos de segurança na operação de aerogeradores e de parques eólicos *onshore* e *offshore*. O conteúdo é continuamente revisado e atualizado por comitês de treinamento, auditoria e conformidade, além de comitês regionais (localizados nos Estados Unidos e na China), de modo a garantir um ambiente de trabalho seguro.

A organização sustenta que as vantagens da padronização dos treinamentos em segurança podem ser entendidas a partir das perspectivas de cada agente:

- os/as associados/as definem padrões que refletem os riscos a serem enfrentados pelos/as seus/suas técnicos/as no trabalho;
- os/as provedores/as de treinamento são certificados/as com critérios comuns;

- os/as empregadores/as reconhecem os/as técnicos/as certificados/as, independentemente do local que tenham sido treinados/as;
- os/as empregadores/as evitam duplicar o treinamento.

Os padrões de treinamento ofertados com o objetivo de desenvolver a atitude, o conhecimento e as habilidades necessárias aos/às treinandos/as para a execução de tarefas de forma segura e eficiente são os seguintes:

Treinamento básico de segurança

- Treinamento avançado de resgate
- Manuseio manual
- Primeiros socorros
- Combate ao fogo
- Sobrevivência no mar
- Trabalho em alturas

Treinamento técnico

- Módulo elétrico
- Módulo de instalação
- Módulo mecânico
- Módulo técnico
- Manutenção e reparo de pás eólicas
- Sinalização de içamento / lançamento

Por fim, os/as profissionais para o setor serão cada mais desafiados/as em termos de um conjunto de competências, além das técnicas ou da alfabetização digital. São as chamadas competências socioemocionais (*soft skills*). Os resultados da pesquisa realizada, indicados na **Tabela 38**, destacam algumas daquelas que se convencionou denominar de competências do século 21.

Tabela 38 - Medidas para melhoria das competências profissionais no setor eólico

Principais competências	Ranking	Peso ponderado
Atitude voltada para a solução de problemas	1	9,0
Criatividade, comunicação e iniciativa	2	8,1
Competência em projetos e colaboração virtual	3	7,5
Compreensão dos processos de P&D&I	4	6,5
Conhecimento técnico	5	6,3
Credenciais técnicas acadêmicas - STEM <i>skills</i>	6	5,0
Experiência comercial	7	4,9
Fluência em idiomas estrangeiros	8	3,7

Um jargão do mercado de recrutamento diz: "contrata-se pelo técnico e demite-se pelo emocional". De acordo com especialistas, "mais do que o conteúdo acumulado, ou a capacidade de resolver problemas conhecidos, o mundo exigirá das pessoas a capacidade de seguir aprendendo ao longo da vida e de colocar o conhecimento em ação para endereçar problemas que ainda não são conhecidos, de maneira consciente, responsável e colaborativa" (RAMOS e ARAI, 2015).

Assim, ao discorrer sobre inovação e agenda da educação para o futuro, Ramos e Arai (2015) já alertavam sobre como preparar as novas gerações para as profissões do século 21. Dentre os pontos centrais, estão um modelo flexível, que permita o aprendizado ao longo de toda a vida, a personalização do ensino, os multiletramentos (letramento em programação, letramento científico etc.) e o desenvolvimento de competências socioemocionais.

5. Perspectivas de geração de empregos no setor eólico no Brasil

5.1. Roteiro para a estimativa dos empregos diretos e indiretos

Conforme descrito ao longo do texto, há um padrão e uma dinâmica específica na criação e manutenção dos empregos em cada elo da cadeia de valor do setor eólico em geral, e para cada parque eólico em particular. Os perfis profissionais, em termos de competências, quantidade, tempo alocado para a realização das atividades e local dos empregos, são distintos e a sua medição não é tarefa simples.

De acordo com a proposta metodológica descrita detalhadamente na **Seção 2**, o roteiro simplificado de elaboração da pesquisa, o retrato do setor por meio da base da RAIS Empresa, o cálculo dos empregos diretos e indiretos e, por fim, a elaboração dos cenários em médio e longo prazo estão indicados no **Quadro 13**.

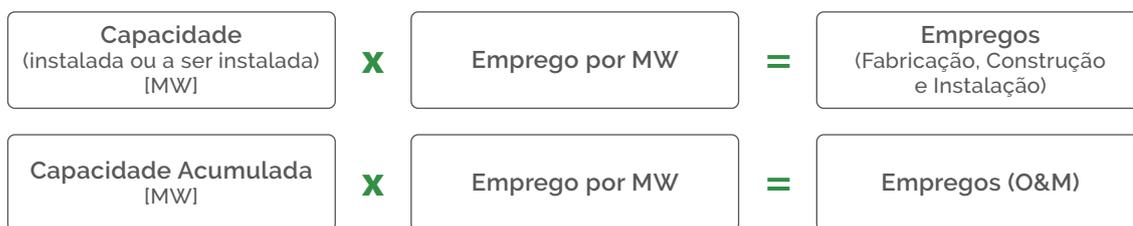
Os/as profissionais envolvidos/as em empreendimentos eólicos desempenham atividades que podem ser categorizadas como (i) desenvolvimento tecnológico e fabricação de aerogeradores; (ii) constru-

ção e instalação; (iii) operação e manutenção de parques eólicos. Para cada uma dessas categorias, existe um padrão, em termos de grau de geração de empregos (alto, médio e baixo); de onde os empregos são criados (local, de não-local para local e de local para não-local); de natureza do emprego (estável ou temporário) e de nível de especialização (média, alta e muito alta).

Compreender as características das ocupações profissionais e o processo de criação de valor de um parque eólico é importante para entender como, na ausência de um instrumento do tipo censitário específico, podemos estimar os empregos diretos por meio de índices de empregos-ano/MW, e, os empregos indiretos, por meio dos multiplicadores de uma matriz insumo-produto atualizada.

Assim, identificar coeficientes ou índices de empregos, por exemplo, a partir das capacidades instaladas anualmente e acumuladas, é uma técnica bastante utilizada e difundida, segundo o modelo proposto por Böhmer et al. apud (JENNICHES, 2018), conforme indicado na **Figura 36**.

Figura 36 - Cálculo de empregos, utilizando-se de índices de empregos-ano/MW



Fonte: BÖHMER et al. apud (JENNICHES, 2018)

Quadro 13 - Roteiro para execução da pesquisa sobre o padrão e a dinâmica de criação de empregos no setor eólico no Brasil

Definição de escopo	<ul style="list-style-type: none"> • delinear o ciclo de vida de um parque eólico típico; • detalhar elos da cadeia de valor do setor; • definir o conjunto de atividades e ocupações profissionais por elos da cadeia de valor; • descrever e categorizar o conjunto de empresas do setor em base de dados única; • identificar contatos de executivos/as do setor, em parceria com ABEEólica e Abimaq; • elaborar, validar e definir instrumento de pesquisa estruturada.
Coleta de dados e informações	<ul style="list-style-type: none"> • realizar revisão bibliográfica sobre padrão e dinâmica de criação de empregos no setor; • aplicar pesquisa estruturada <i>online</i> com representantes das empresas para apurar situação, tendências e dados básicos para apuração dos empregos diretos; • realizar entrevistas qualitativas necessárias para o refinamento da pesquisa <i>online</i>; • cruzar base de dados de empresas com a base da RAIS Em presa para estimativa inicial de referência da quantidade de empregos diretos e retrato do setor.
Aplicação da matriz insumo-produto (MIP)	<ul style="list-style-type: none"> • identificar e precificar os principais insumos utilizados na indústria; • elaborar os índices de emprego/R\$ milhão de receita, a partir da matriz de insumo-produto atualizada (base 2015); • aplicar os coeficientes calculados da MIP para um parque eólico típico; • estimar a criação de empregos indiretos na cadeia de valor eólica.
Definição de índice de empregos-ano/MW	<ul style="list-style-type: none"> • calcular índices de empregos-ano/MW por elo da cadeia de valor, a partir das seguintes fontes, por ordem de precedência: (i) pesquisa estruturada <i>online</i>; (ii) entrevistas qualitativas; (iii) fontes públicas nacionais e internacionais; • validar o índice de empregos-ano/MW calculado por meio de meta-análise comparada com estudo nacional (2012) e estudos internacionais de referência (2015 e 2017); • estimar a criação de empregos diretos e indiretos por meio do índice de empregos-ano/MW validado.
Construção de cenários	<ul style="list-style-type: none"> • elaborar cenário de referência (matriz indicada pela contratante) de criação de empregos em médio e longo prazo; • apresentar cenários com análise de sensibilidade para os seguintes fatores: (i) conteúdo local; (ii) produtividade tecnológica.

Fonte: proposto pela Cognitio

De acordo com o esquema acima, somente no segmento de O&M – cuja característica central é sua estabilidade durante todo o tempo de operação do parque – é que o emprego deve ser estimado a partir da capacidade acumulada. Para os demais elos da cadeia de valor, o cálculo deverá ser efetuado a partir das adições anuais de potência, decorrentes do desenvolvimento, fabricação/montagem, transporte, construção e instalação⁷⁹. O descomissionamento, por sua vez, vai ocorrer por meio de desativação ou repotenciação dos aerogeradores.

Já os empregos indiretos decorrem do impacto da demanda derivada do processo de criação de valor ao longo do projeto de expansão da geração de energia elétrica por meio da fonte eólica. A partir da definição da quantidade aerogeradores (compostos por conjuntos de nacelles, pás e torres) a serem fabricados e instalados em parques eólicos para a produção de determinado acréscimo de carga em MW, será necessária uma certa quantidade equivalente de aço, ferro, cobre, materiais elétricos, eletrônicos, resinas, concreto e outros materiais.

De posse dos preços aproximados dos principais insumos, é possível, partir dos multiplicadores de emprego, calcular os empregos indiretos e induzidos pela demanda derivada da construção de um determinado parque eólico constituído por um conjunto de aerogeradores de determinado modelo.

Fato inovador nesta pesquisa foi a utilização do cruzamento da base de dados das empresas fornecedoras do setor eólico com a base RAIS Empresa. Por meio desse mecanismo, foi possível executar uma estimativa de referência dos empregos e um mapeamento inédito das características gerais do setor e, assim, levar ao público informações de difícil acesso, conforme será apresentado na próxima seção.

5.2. Principais características da mão de obra do setor eólico no Brasil

A definição e a categorização (fabricantes e prestadores de serviços) das empresas do segmento eólico tiveram por base o mapeamento da cadeia produtiva realizado pela ABDI, em 2014, sua atualização, em 2018, e uma lista de empresas fornecida pela ABEEólica. Essa base de dados foi utilizada de duas formas: para estimar o volume de empregos diretos do setor, por meio do cruzamento da base de empresas com a Relação Anual de Informações Sociais (RAIS); e para compor a lista dos/as respondentes para a pesquisa estruturada e entrevistas qualitativas.

O cruzamento da base de dados das empresas com a RAIS teve por raiz o CNPJ para o período compreendido entre os anos de 2009 e 2018. Nesse último ano, a base de dados contava com 237 empresas distintas. O cruzamento com a RAIS permitiu, de forma inédita, não apenas

⁷⁹ O descomissionamento pode ocorrer por meio de desativação ou repotenciação dos aerogeradores e ocorre após finalizado o tempo útil dos equipamentos, em geral depois de 20 ou 25 anos, visto que para prazos maiores os custos de manutenção versus sua capacidade de geração de energia são desfavoráveis do ponto de vista técnico-econômico.

calcular uma estimativa inicial do número de empregados/as, mas também mapear um conjunto de características da mão de obra – como perfil remuneratório, ocupacional, etário, educacional e distribuição por gênero.

O conceito de empresa utilizado é o de CNPJ a 8 dígitos, ou seja, engloba todas as filiais da empresa; e o conceito de empregado é o de empregado-ano, tal qual exposto anteriormente. O segundo caminho foi calcular os empregos diretos, a partir da pesquisa e das entrevistas qualitativas junto às empresas, de maneira semelhante à realizada por Simas (2012), cujo detalhamento será descrito adiante.

Quanto ao cruzamento do cadastro dos fornecedores do setor com a RAIS, o primeiro problema que emerge é que a maioria das empresas não fornece somente para o segmento de energia eólica; é comum que elas forneçam partes e componentes para outros setores industriais.

Desse modo, considerar que todos seus empregados seriam dedicados ao setor eólico resultaria em uma superestimação dos empregos diretos, com exceção daquelas empresas típicas do setor, em geral os fabricantes de aerogeradores e de pás eólicas.

Por exemplo, até mesmo as fábricas de torres de aço e de concreto, muitas vezes também atuam em outros setores de transformação de aço ou produtos de

concreto. Assim, optou-se por aplicar um fator de ponderação para algumas das variáveis. Esse fator de ponderação assume os seguintes valores:

- fator um (1), para as empresas sabidamente dedicadas exclusivamente ao segmento, como fabricantes de nacelles, pás e torres (25 empresas);
- valores entre 0 e 1, de modo a retratar o que foi reportado na pesquisa de campo. Por exemplo, se uma empresa tem 1.000 empregados na RAIS, mas respondeu, no questionário ou na entrevista, que tem 300 empregados/as dedicados/as à fabricação de equipamentos do setor eólico, seu fator de ponderação será 0,3;
- fator 0,1 para as demais empresas, considerando que essa é, aproximadamente, a participação da geração (em GWh) da fonte eólica na matriz elétrica brasileira⁸⁰.

Feitas essas considerações, as estatísticas da RAIS mostram que o número de empresas aumentou durante o período, assim como o número de empregados/as dedicados/as a atender ao segmento, provavelmente como resultado do desenvolvimento recente do segmento eólico no Brasil.

Além da chegada de novas empresas especializadas, empresas com atuação multisetorial passaram também a atender o setor, respondendo às políticas de incentivo. Contudo, o tamanho médio das

80. http://www.mme.gov.br/documents/78404/0/Resenha+Energ%C3%A9tica+Exerc%C3%ADcio+2019_DIE_SPE_MME.pdf/f08616e4-ab88-749d-b24f-546313f4d0co.

empresas (segundo o critério acima) praticamente não se alterou: era de 66 funcionários/as em 2009, e 72 funcionários/

as em 2018, com pico de 80 funcionários/as em 2015, o que coincide com pico da potência instalada.

Tabela 39 - Número de empresas, número de empregados/as e engenheiros/as nas empresas do segmento eólico: 2009-2018

Ano	Número de empresas	Número médio de empregados/as	Engenheiros/as por empresa	% de engenheiros/as do total de empregados/as
2009	171	65,8	6,1	9,2%
2010	179	65,1	5,9	9,1%
2011	190	67,5	6,3	9,3%
2012	205	71,1	6,2	8,7%
2013	213	74,3	6,5	8,8%
2014	226	74,0	6,8	9,2%
2015	233	79,7	7,2	9,0%
2016	237	70,8	6,6	9,3%
2017	241	74,7	6,4	8,6%
2018	237	72,4	6,2	8,6%

Fonte: elaborado pela Cognitio, a partir de análise própria da RAIS de empresas do setor

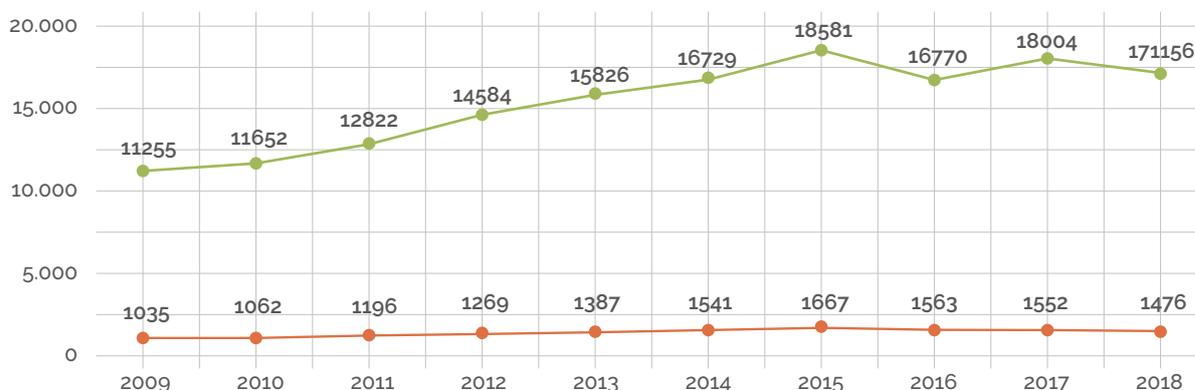
Interessante notar que o número de engenheiros/as nas firmas do segmento cresceu 42%, fazendo com que o número de engenheiros/as por firma tenha se mantido estabilizado em torno de seis (6).

O número de engenheiros/as por empresa é uma *proxy* importante para as capacidades de inovação das empresas e está correlacionado com os indicadores de inovação em pesquisas, como a Pesquisa de Inovação Tecnológica do IBGE, conforme demonstrado em Araújo, Cavalcante e Alves (2009)⁸¹.

Segundo esses autores, a correlação do pessoal ocupado em atividades técnico científicas (em sua imensa maioria engenheiros/as) com o investimento em pesquisa e desenvolvimento é de 91%. Considerando o tamanho médio das empresas de 71,5 empregados/as durante o período, a percentagem média de praticamente 9% de engenheiros/as é alta para os padrões brasileiros, tendo em vista que o número equivalente para a indústria como um todo, no ano de 2018, foi de 1,26%.

81. (ARAÚJO, CAVALCANTE e ALVES, 2009).

Figura 37 - Evolução do pessoal ocupado total e de engenheiros/as nas empresas do segmento eólico: 2009-2018

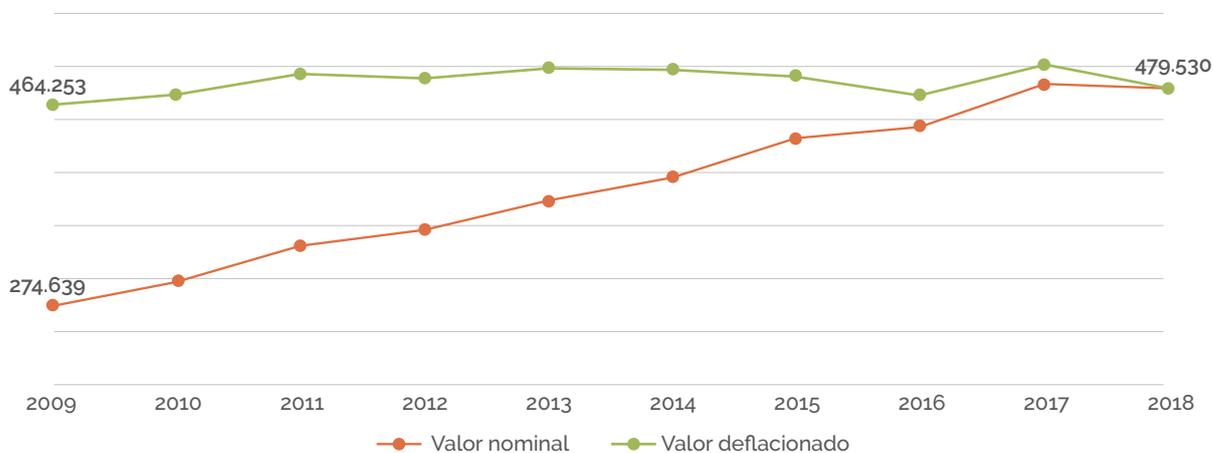


Fonte: elaborado pela Cognitio, a partir de análise própria da RAIS de empresas do setor

Outro indicador de tamanho das empresas é a massa salarial média. A massa salarial se correlaciona com o faturamento das empresas, e a **Figura 38** não mostra grande variação nesse porte. A

massa salarial permite calcular o salário médio, que não variou tanto no período: passou de R\$ 7.049,00, em 2009, para R\$ 6.630,00, em 2018. A média do período é R\$ 6.816,00.

Figura 38 - Evolução da massa salarial média das empresas do segmento eólico: 2009-2018, em R\$ de 2018



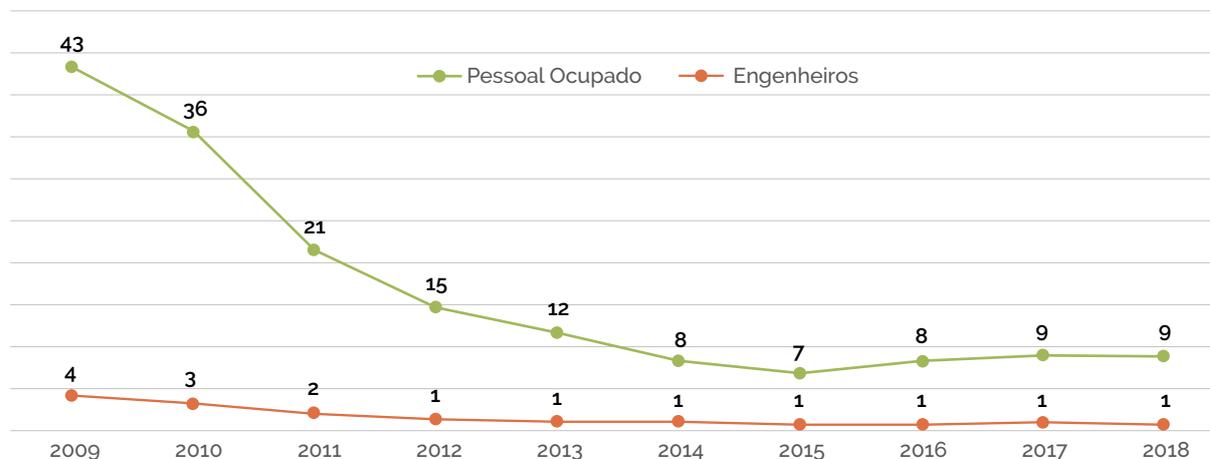
Fonte: elaborado pela Cognitio, a partir de análise própria da RAIS de empresas do setor

De posse dos dados de emprego e da capacidade instalada de geração de energia eólica, é possível estimar a geração de empregos diretos.

A **Figura 39** traz a divisão simples dos empregos-ano pelos MW instalados ano

a ano. Contudo, essa medida não é tão precisa, porque a capacidade anual instalada depende do fluxo dos leilões. Um ano sem leilões afetará a capacidade de entrar em operação alguns anos à frente, fazendo com que o denominador se reduza significativamente.

Figura 39 - Empregos diretos-ano/MW total e por engenheiros/as nas empresas do setor eólico: 2009-2018



Fonte: elaborado pela Cognito, a partir de análise própria da RAIS de empresas do setor

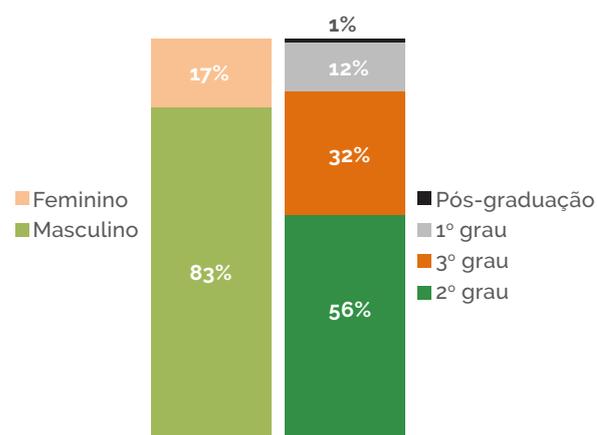
De toda forma, como os leilões se intensificaram a partir de 2009, e a capacidade instalada anual aumentou consistentemente até 2015, o indicador caiu até se estabilizar em torno de 9 empregos diretos ano/MW – mais precisamente, em 2018, o indicador era 8,84 empregos-ano/MW.

Com relação aos/as engenheiros/as, o indicador equivalente é de 0,74 engenheiro/a direto/a ano/MW. Acreditamos que esse indicador de final de período seja mais adequado do que a média do período, haja vista a pequena capacidade instalada no começo da série. Portanto o indicador de empregos-ano/MW termina por ser sobrestimado.

Quanto ao perfil das empresas do segmento, elas empregam majoritariamente o gênero masculino (83% do total). E, no que tange ao perfil educacional, os/as funcionários/as possuem principalmente ensino médio (56%), devido à importância dos/as profissionais com ensino técnico profissionalizante na força de trabalho.

Contudo, os/as empregados/as com nível superior também representam uma parcela relevante da mão de obra do segmento eólico, e entre essa parcela estão os/as engenheiros/as, como debatido anteriormente.

Figura 40 - Perfis de gênero e escolaridade nas empresas do segmento eólico: 2018



Fonte: elaborado pela Cognito, a partir de análise própria da RAIS de empresas do setor

Daquele grupo de 25 empresas exclusivamente dedicadas ao segmento eólico, uma fotografia mais detalhada em 14 empresas dedicadas exclusivamente à

fabricação de pás, torres e naceles ou serviços especializados revela que essas empresas são ligeiramente menores e pagam melhores salários. Porém, seus/suas empregados/as têm menos tempo de firma, e a porcentagem de empregados/as com 3º grau completo e em ocupações técnico-científicas é menor.

Tabela 40 - Perfil da mão de obra: principais empresas vs. demais empresas do setor eólico: 2018

Item/Empresas	14 principais	Demais empresas
Número de empregados/as	468,8	476,6 ⁸²
Tempo de emprego (meses)	34,2	61,6
Número de empregados/as com 3º grau	148,1	196,4
% dos empregados/as	32,6%	41,2%
Remuneração média	R\$ 8.470,06	R\$ 6.599,67
Empregados/as em ocupações técnico-científicas ⁸³	28,0	49,6
% dos empregados/as	6,0%	10,4%

Fonte: elaborado pela Cognitio, a partir de análise própria da RAIS de empresas do setor

O menor tempo de firma se explica porque há várias empresas multinacionais recém-chegadas ao Brasil que são bastante relevantes nesse grupo. A menor porcentagem de empregados/as com 3º grau completo e em ocupações técnico-científicas – entre elas, os/as engenheiros/as – se explica por um provável perfil de operação no Brasil, baseado em mão de obra técnico-operacional, mais voltado à exigência do ensino profis-

sionalizante, e que conta com tecnologia importada e padronizada globalmente.

5.3. Estimativa dos empregos indiretos

Para o cálculo dos empregos indiretos – aqueles induzidos pelas compras de materiais pelos fabricantes de aerogeradores, bem como pelos construtores dos parques – recorremos a relatórios de análise do ciclo de vida (*Life Cycle Assessment* – LCA) e técnicas de matriz insumo-produto.

Os relatórios do tipo LCA são documentos de demonstração da sustentabilidade do investimento, geralmente produzidos pelas empresas, que detalham as características dos equipamentos e dos parques eólicos que as empresas desenvolvem. Entre as características detalhadas estão os materiais consumidos na fabricação dos aerogeradores, como, por exemplo, a quantidade de aço, ferro, cobre e outros materiais. A partir dessas quantidades e de pesquisas de preços desses insumos, é possível estimar o choque de demanda no setor correspondente na matriz insumo-produto.

Por seu turno, a matriz insumo-produto é um sistema de compras intersetoriais brutas, em que as compras são representadas pelas colunas, e as vendas a outros setores são representadas pelas linhas. Esse sistema permite avaliar o quanto o crescimento/decrescimento de um setor afeta o crescimento/decrescimento dos outros

⁸². Nessa comparação, foram recuperados os pesos originais para essas empresas.

⁸³. Ocupações técnico científicas englobam engenheiros/as, cientistas e pesquisadores/as, mas são, na prática, majoritariamente engenheiros/as.

setores, e qual é o impacto do crescimento da demanda sobre a produção setorial.

A forma geral de uma matriz insumo-produto está representada na **Figura 41**.

Figura 41 - Forma geral de uma Matriz Insumo-Produto típica

	1	2	3	...	n	Subtotal vendas intermediárias (6)	C	I	E	Subtotal: demanda final (7)= C+I+E	Valor bruto da produção (6) + (7)
Indústria 1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	...	X_{1n}	$\sum_{j=1}^n X_{1j}$	C_1	I_1	E_1	Y_1	X_1
Indústria 2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	...	X_{2n}	$\sum_{j=1}^n X_{2j}$	C_2	I_2	E_2	Y_2	X_2
Indústria 3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	...	X_{3n}	$\sum_{j=1}^n X_{3j}$	C_3	I_3	E_3	Y_3	X_3
...
Indústria n	X_{n1}	X_{n2}	X_{n3}	...	X_{nn}	$\sum_{j=1}^n X_{nj}$	C_n	I_n	E_n	Y_n	X_n
Subtotal	$\sum_{i=1}^n X_{i1}$	$\sum_{i=1}^n X_{i2}$	$\sum_{i=1}^n X_{i3}$	...	$\sum_{i=1}^n X_{in}$	$\sum_{i,j=1}^n X_{ij}$	C	I	E	Y	X
Importações	M_1	M_2	M_3	...	M_n	M					
Subtotal (1)	$\sum_{i=1}^n X_{i1} + M_1$	$\sum_{i=1}^n X_{i2} + M_2$	$\sum_{i=1}^n X_{i3} + M_3$	...	$\sum_{i=1}^n X_{in} + M_n$	$\sum_{i=1}^n X_{ij} + M$					
Salários, juros, aluguéis e lucro (2)	S_1	S_2	S_3	...	S_n	S					
Tributos indiretos líquidos (3)	T_1	T_2	T_3	...	T_n	T					
Depreciações (4)	D_1	D_2	D_3	...	D_n	D					
Subtotal VAB (5) = (2) + (3) + (4)	VA_1	VA_2	VA_3	...	VA_n	VA					
Valor Bruto da produção (5) + (1)	X_1	X_2	X_3	...	X_n	X					

Fonte: reprodução pela Cognitio

De maneira análoga aos multiplicadores intersetoriais diretos e indiretos da matriz de Leontief, é possível derivar multiplicadores de emprego. Seja $ED_{1 \times n}$ um vetor linha que representa a razão entre os empregos e o valor bruto de produção de cada setor. Chamemos essas razões de multiplicadores dos empregos diretos do setor n:

$$ED_{1 \times n} = \left[\frac{e_1}{X_1} \quad \frac{e_2}{X_2} \quad \dots \quad \frac{e_n}{X_n} \right] \quad (1),$$

onde e é o emprego e X é o valor bruto da produção. O vetor que indicará os multiplicadores de empregos totais é dado por:

$$ET_{1 \times n} = ED_{1 \times n} [I - A]_{n \times n}^{-1} \quad (2),$$

A expressão $[I - A]^{-1}$, na equação, é a chamada matriz inversa de Leontief. Assim como ocorre nos multiplicadores originais, a intuição da fórmula é de que um choque de demanda em um determinado setor não afeta somente o emprego daquele setor, mas induz a demanda e, portanto, o emprego de outros setores, ponderado pelo produto de seus multiplicadores diretos de emprego e o multiplicador correspondente na matriz de *Leontief*. Por seu turno, o vetor que indica-

rá os multiplicadores de empregos indiretos sairá da simples diferença entre os totais e os indiretos, ou seja,

$$EI_{1 \times n} = ET_{1 \times n} - ED_{1 \times n} \quad (3)$$

Calculados os valores de empregos-ano/MW, tanto diretos quanto indiretos, o passo seguinte consiste em validar esses indicadores com outros estudos, a partir de uma análise da literatura existente. Finalmente, o último passo é projetar cenários futuros, com respeito à capacidade instalada, às mudanças na política de conteúdo local e a outras variáveis.

Para estimar o choque de demanda nos setores, o estudo de referência (SIMAS, 2012) realizou levantamento do volume físico de insumos necessários para a fabricação dos equipamentos e construção dos parques eólicos para cada 1 MW. Os principais insumos considerados foram brita, areia, cimento, aço, ferro, cobre, fibra de vidro, resina, plástico e alumínio.

Os setores das contas nacionais correspondentes, portanto, foram os correspondentes aos códigos CNAE 0201 – Petróleo e Gás Natural, 0203 – Outros da indústria extrativa, 0312 – Fabricação de resinas e

elastômeros, 0318 – Artigos de borracha e plástico, 0319 – Cimento, e 0321 – Fabricação de aço e derivados.

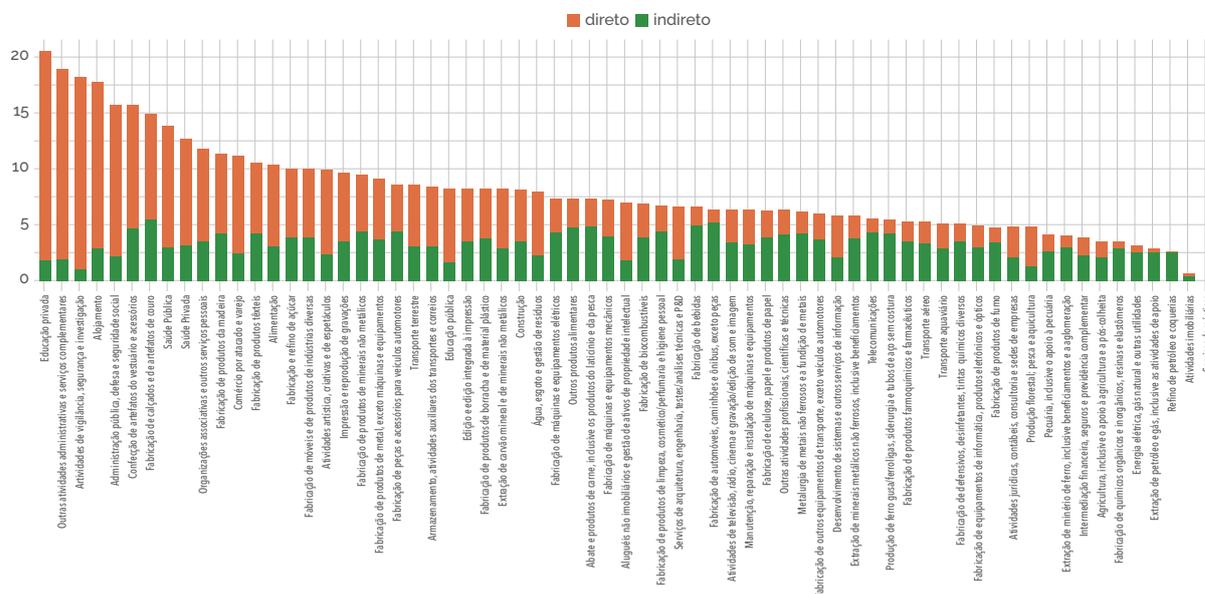
Os custos médios em cada setor foram calibrados a partir da combinação dos dados de produção física, das estatísticas oficiais, das associações e do valor bruto da produção da própria MIP.

Em resumo, o processo de cálculo dos empregos indiretos utilizou-se da combinação da avaliação do ciclo de vida com técnicas de matriz insumo-produto. Em comparação com Simas (2012), além de a matriz ser mais atual (a daquele trabalho era de 2005), a matriz de 2015 conta com mais setores (67).

Os multiplicadores diretos e indiretos dos setores foram calculados de acordo com a metodologia exposta anteriormente, e constam na **Figura 42**, que está reproduzida em tamanho maior no Anexo 8.5, e também sob a forma de tabela no Anexo 8.6.

Desse modo, os multiplicadores diretos da matriz insumo-produto mostram quantos empregos são gerados no próprio setor, e, os indiretos, quantos empregos são gerados nos outros setores, por milhão de demanda gasto.

Figura 42 - Multiplicadores de empregos diretos e indiretos por milhão de R\$ de vendas, matriz insumo-produto 2015

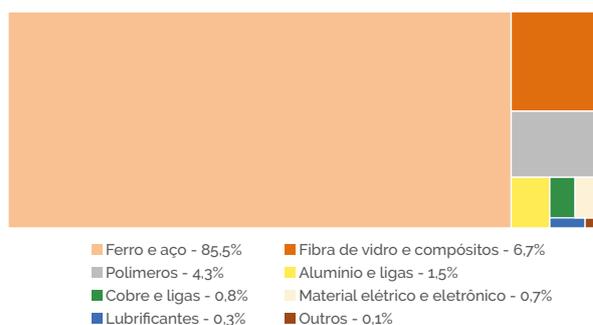


Fonte: elaborado pela Cognitio a partir de análise própria da RAIS e da MIP 2015

Contudo, para efeito deste trabalho, o que interessa são os empregos totais induzidos pelo choque de demanda, dado pelo consumo de materiais na construção dos parques eólicos. Isso é calculado a partir dos relatórios de avaliações do ciclo de vida dos produtos das grandes empresas. Neste trabalho, utilizamos a publicação de 2019 do fabricante Vestas, na qual são informadas as quantidades necessárias de materiais para a construção de um parque eólico de 100 MW,

com um total de 24 aerogeradores, de 4.2 MW de potência cada.

Figura 43 - Distribuição de materiais para aerogerador de 4.2 MW / 426 toneladas



Fonte: adaptado de (VESTAS, 2019)

O relatório da Vestas, além de apontar a qualidade técnica e a experiência da empresa, foi o mais recente encontrado. (VESTAS, 2019). Os valores estão indicados nas **Figuras 43 e 44**.

Com base nas entrevistas realizadas ao longo da pesquisa, os aerogeradores com potência de 4,2 MW passarão a ser o padrão mínimo, em termos de potência nominal, para o *onshore* nos próximos anos. Fica claro que as máquinas maiores passam a se firmar como tendência no mundo e no Brasil.

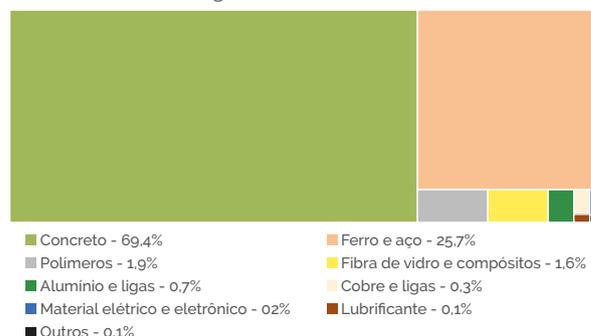
De acordo com a base de dados de junho de 2020 da ABEEólica, mais de dez (10) máquinas de 4,2 MW já tinham sido instaladas no Brasil. Para os próximos anos, estão em construção, ou já tiveram a instalação

contratada, mais de cem (100) máquinas de 4,2 MW, além de quinze (15) máquinas entre 4,8 e 5,3 MW, e outras vinte e quatro (24) máquinas de 6,2 MW, num total de mais de 150 aerogeradores gigantes.

Assim, para explicar o racional da estimativa de quantos empregos indiretos/MW são gerados, peguemos o exemplo do aço, o principal componente utilizado na construção de um parque eólico, em termos de valor. O relatório da Vestas (2019) indica que são utilizadas 9.353 toneladas de aço para a construção de um parque eólico de 100 MW, entre aerogeradores, fundações, aparelhagens elétricas (*switches*), engrenagens e transformadores.

O preço por tonelada, em 21/09/20, era de CNY⁸⁴ 3.672,00, o que implicaria um choque de demanda no setor "2491- Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura" de R\$ 27,5 milhões. Esse setor tem um multiplicador de emprego de 5,43 empregos por milhão de investimento. Então, só o

Figura 44 - Distribuição de materiais em parque eólico de 100 MW, 24 aerogeradores



Fonte: adaptado de Vestas (2019)

aço consumido por esse parque de 100 MW induziria, indiretamente, uma criação de 149 empregos indiretos, ou seja, 1,49 emprego/MW.

A seguir está a planilha utilizada para o cálculo dos empregos indiretos, com os setores correspondentes da matriz insumo-produto, as respectivas fontes de preço e os multiplicadores. Ao final, após os cálculos para o choque de demanda de um parque eólico de 100 MW, o multiplicador indireto encontrado foi de 4,91 empregos-ano/MW.

84. Os preços do aço são cotados na moeda chinesa, cotada a BRL/CNY 0,80 em 21/09/2020 segundo o BACEN.

Análise do Ciclo de Vida - Materiais Necessários para construção de um paque eólico de 100MW, com turbina de 4,2 MW (ton)							Matriz - Insumo - Produto				
Material	Turbina	Fundação	Cabos	Switches, engrenagens	Transformadores	Total	Setor MIP	Preço R\$/ton	Demanda de 100MW (R\$)	Multiplicador do setor	Geração de empregos-ano / MW
Aço liga / não liga	7.088	2.227	-	6	32	9.353	2491 - Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	2.937,60	27475372,80	5,43	1,49
Ferro fundido	1.623	-	-	-	-	1.623	2491 - Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	1.468,80	2.383.862,40	5,43	0,13
Alumínio	150	-	157	-	-	307	792 - Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos	9.767,52	2.998.628,64	5,77	0,17
Cobre	84	1	40	2	8	135		36.992,82	4.994.030,45	5,77	0,29
Metais polímeros	441	1	350	-	1	793	2200 - Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	10.657,93	8.451.741,83	8,22	0,69
Fibra de vidro/vidro e cerâmica	683	-	1	-	1	685	2091 - Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros	10.880,00	7.452.800,00	3,46	0,26
Concreto	-	29.650	-	-	-	29.650	2300 - Fabricação de produtos minerais não metálicos	498,40	14.777.560,00	9,5	1,4
Ímãs	77	-	-	-	-	77	2491 - Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura (artibrar o preço do ferro)	1.468,80	113.097,60	5,43	0,01
Materiais Elétricos	56	-	-	-	-	56	2700 - Fabricação de materiais elétricos	73.985,64	4.143.195,63	7,37	0,31
Materiais Eletrônicos	20	-	-	-	1	21	2600 - Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	147.971,27	3.107.396,72	4,97	0,15
Lubrificante e outros materiais	38	-	-	-	13	51	1991 - Refino de petróleo e coquearias	1986,19	101.295,48	2,69	0
Total de peças	24	24	1	6	1	56	-	-	-	-	-
Empregos indiretos: índice de geração de empregos-ano/MW										4,91	

85. Preço em 21/09/2020: <https://pt.tradingeconomics.com/commodities>; preço cotado em moeda chinesa.

86. Preço arbitrado como metade do preço do aço.

87. Preço em 21/09/2020: <https://pt.tradingeconomics.com/commodities>. Preço cotado em moeda americana.

88. Fonte do preço em 21/09/2020: <https://pt.tradingeconomics.com/commodities>. Preço cotado em moeda americana, mas em USD/libra com fator de conversão: 2204,62 libras/tonelada.

89. Preço: divisão da receita do setor pela tonelagem em http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2020/06/Preview_abiplast_2019.pdf

90. Preço: Simas (2012) e outras fontes. Arbitrado em USD 2/Kg.

91. Preço: considerou-se um orçamento para se fazer estruturas de concreto armado. Como o preço do concreto no Brasil é dado em m3, o fator de conversão aplicado foi de 2,5 toneladas por m3 de concreto em http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/Estruturas/Concreto_armado/Vigas/Viga_de_concreto_armado.html#gsc.tab=0.

92. Preço: mesmo do ferro.

93. Preço: duas vezes o preço do cobre.

94. Preço: duas vezes o preço dos materiais elétricos (ou quatro vezes o preço do cobre).

95. Preço da gasolina, dado em <https://pt.tradingeconomics.com/commodities>. Como o preço é dado em USD/galão, foi aplicado o fator de conversão 307,69 galões/tonelada.

5.4. Estimativa dos empregos diretos

Como indicado previamente e, de acordo com ILO (2011), a pesquisa setorial é necessária para obter informações quantitativas e qualitativas, e estimar o volume de empregos e as competências profissionais futuras. Tal pesquisa envolve:

- dados sobre capacidade e produção de energia por tecnologia em MW;
- dados sobre emprego, relacionados por tecnologia, no total e desagregados por ocupação profissional.

Assim, a partir das relações entre capacidade produtiva instalada (ou produção anual) e número de empregados/as, é possível estimar a criação de empregos futuros. Conforme sugerido por Böhmer et al. apud Jenniches (2018):

- o emprego associado ao desenvolvimento do projeto, fabricação e distribuição de equipamentos, construção e instalação pode ser estimado de forma proporcional à nova capacidade instalada anualmente no país em questão;
- o emprego associado à operação e à manutenção das instalações pode ser estimado como proporcional ao estoque de capacidade.

Ao longo deste trabalho, utilizamos estimativas realizadas para o Brasil por Simas (2012) e experiências internacionais, a partir de Rutovitz (2009; 2015) e IRENA (2017). O

estudo de Rutovitz (2015) também indicou como alguns fatores de melhoria na produtividade do trabalho por tecnologia podem impactar na redução percentual dos índices de empregos para uma determinada região.

Nas próximas seções, será descrito o racional utilizado para a definição do índice de empregos-ano/MW proposto para este trabalho. Serão descritos e calculados os índices por segmento e principais atividades em cada elo da cadeia de valor, a partir dos dados quantitativos obtidos, por ordem de precedência: pesquisa estruturada *online*, entrevistas qualitativas com executivos do setor, dados e informações públicas fidedignas, estudos prévios para casos em que não foi possível obter os dados e, por fim, uma meta-análise, por meio de ponderação do índice obtido com os índices dos estudos de referência.

5.4.1. Desenvolvimento de projetos de parques eólicos

Primeiramente, é importante ressaltar que a estimativa do índice de empregos-ano/MW para o desenvolvimento de projetos de parques eólicos é inédita no Brasil. O perfil das empresas e a representatividade delas podem ser conferidos no Anexo 8.4.1. De forma geral, os principais pontos que permitem estimar o índice de empregos com segurança para esse elo da cadeia de valor do setor eólico são os seguintes:

- Os/as desenvolvedores/as que responderam à pesquisa foram responsáveis pela instalação de 73 projetos eólicos com

capacidade total de 6,4 GW, ou seja, quase 42% da capacidade instalada no país;

- os/as respondentes disseram ter no *pipeline* quase 500 projetos, num total de 27,5GW;
- a taxa de conversão média reportada de projetos desenvolvidos pelas empresas respondentes foi de 51%;
- historicamente, o ambiente de contratação regulado (ACR) representou 62% do faturamento médio;
- houve tendência de redução do ACR para menos de 20%, sinalizando aposta no ambiente de contratação livre (ACL);
- o setor eólico representou quase 60% do faturamento, em média, nos últimos três anos dos/as respondentes, e há expectativa de que essa participação continue nos próximos três anos;
- para algumas empresas, o setor representou, em média, 92% do faturamento nos últimos 3 anos, além de tendência de continuidade de até 90% para os próximos 3 anos;
- participaram três respondentes com atuação integrada em desenvolvimento (prospecção de áreas, projeto de engenharia, estudos de viabilidade técnica e econômica (EVTE) e plano de implantação), e um especializado em serviços ambientais;

• as empresas do segmento possuem cerca de 70 empregados/as, em média.

As empresas que participaram da pesquisa declararam atuar em diferentes atividades dentro do segmento de desenvolvimento de projetos, a saber:

- autoprodutor;
- consultoria ambiental;
- EVTE e plano de implantação;
- geração e comercialização de energia;
- gerador + O&M;
- projeto de engenharia, EVTE e plano de implantação;
- prospecção de áreas, projeto de engenharia, EVTE e plano de implantação.

Algumas dessas empresas são bastante especializadas, na medida em que atuam em todas as atividades típicas do segmento; outras atuam em atividades mais dedicadas ou não necessariamente têm a área de desenvolvimento como atividade central. A **Tabela 42** apresenta os principais dados das sete (7) empresas respondentes.

Assim, entendeu-se razoável estabelecer índice de representatividade, que levou em conta a ponderação de fatores entre os dados das empresas da amostra, tais como: (i) percentual do faturamento em relação à média; (ii) número de projetos desenvolvidos em relação ao total; (iii) valor dos projetos em MW, em relação ao total; (iv) valor do *pipeline* de projetos em MW, em relação ao total.

Tabela 42 - Perfil genérico das empresas de desenvolvimento de projetos eólicos

Empresa	Nº de funcionários/as	Faturamento setor eólico	Projetos realizados	Valor acumulado (MW)	Valor no pipeline (MW)
D1	200	100%	40	1.250	15.000
D2	40	57%	20	598	-
D3	7	100%	1	28	-
D4	50	90%	0	-	-
D5	11	100%	4	583	5.000
D6	107	100%	-	-	-
D7	69	100%	15	296	200
Total	484	92%	80	2.754	20.200

Fonte: elaborado pela Cognitio, a partir de análise própria da pesquisa estruturada e qualitativa

Conforme mencionado, após o cálculo de representatividade das empresas do segmento, definiu-se, como primeira regra de corte, o volume em MW de projetos no *pipeline* daquelas empresas, tendo em vista que esse fator demonstra claramente a natureza de atuação empresarial típica e contínua na área de desenvolvimento.

O segundo corte estabelecido foi o número de empregados/as igual ou superior à média da amostra, pois essa quantidade também reflete a complexidade técnica associada e requerida para atuação no

segmento. É provável que empresas com estruturas enxutas não sejam necessariamente empresas típicas do segmento, atuando de forma pontual.

Como resultado desse esforço de combinar representatividade e linha de corte, com base em dados objetivos (existência de *pipeline* e média de empregados/as), restaram duas empresas cujas representatividades somadas são da ordem de 70%. A **Tabela 43**, a seguir, apresenta o valor do índice de empregos-ano/MW para o segmento.

Tabela 43 - Valor do índice de empregos-ano/MW para o elo de desenvolvimento de projetos de parques eólicos no Brasil

Empresa	Número de empregados/as	Valor acumulado (MW)	Peso	Índice de empregos-ano/MW
D1	200	1.250	85%	0,1712
D7	69	296	15%	
Total	269	1.546	100%	

Fonte: elaborado pela Cognitio, a partir de análise própria da pesquisa estruturada e qualitativa.

5.4.2. Fabricação de aerogeradores

O perfil das empresas e sua representatividade podem ser conferidos no Anexo 8.4.2. Foram 33% os/as respondentes da pesquisa que se declararam como empresas envolvidas na fabricação de aerogeradores e, dentre esses/as, metade disse trabalhar em empresas fabricantes OEM, e outros 50% declararam atuar na cadeia de fornecedores.

De forma geral, é importante ressaltar alguns pontos que consideramos relevantes e representativos no processo de estimar o índice de empregos para esse elo da cadeia de valor do setor eólico. São eles:

- quatro (4) dos fabricantes OEM tiveram representantes participando como respondentes na pesquisa estruturada *online* e em entrevista qualitativa;
- cerca de 80% das empresas da cadeia disseram fornecer itens para fabricação da nacelle, e 60%, itens para a fabricação do rotor e torres;
- nos últimos três anos, o setor eólico representou, em média, 28% do faturamento dos fornecedores nacionais de itens para nacelle, rotor e torres, mas a expectativa é que esse valor suba para 36% nos próximos anos e, para esses fornecedores, o grau de nacionalização médio é de 80%;
- cerca de 80% desses fornecedores pretendem exportar⁹⁶ a partir do Brasil, tendo exportado cerca de 8% de sua produção nos últimos dois anos, com intenção de ampliar para até 10% em curto e médio prazo, o que denota a competitividade da indústria nacional intramuros;
- quase 90% dos/as respondentes declararam atuar de 10 a 12 meses na produção para o setor eólico, e pretendem alocar mais de 25% da sua mão de obra no setor;
- os fabricantes típicos de torres eólicas que responderam são 100% dedicados ao setor eólico, incluindo seus funcionários/as, mas exportar não está entre suas metas.

O índice de empregos-ano/MW para o segmento de fabricação deve considerar as especificidades técnicas de cada produto, o padrão organizacional e os bens e serviços (ou soluções comerciais) produzidos pelas empresas envolvidas no segmento de fabricação de aerogeradores, nas suas diferentes partes e respectivas cadeia de fornecedores:

- nacelle;
- rotor, composto por cubo e pás eólicas;
- torres de aço ou de concreto.

⁹⁶ Parte desse movimento pode ser explicado em parte pelo cenário positivo da moeda brasileira em relação do dólar e pela utilização de mecanismos de *drawback* exportação (cuja análise mais detalhada seria necessária, mas que foge ao escopo desse trabalho).

5.4.2.1. Nacele: cálculo do índice de empregos-ano/MW

É importante ressaltar que, em geral, tivemos um baixo quociente de respondentes da cadeia de fornecedores na pesquisa estruturada. Em nossa avaliação, dois aspectos, de algum modo, prejudicaram a participação mais expressiva de empresas. Primeiro, a pesquisa foi levada ao público-alvo durante a pandemia de Covid-19 e, segundo, ocorreu no período em que grande parte das empresas estava mobilizada para atender requisitos de produção

e performance associados ao padrão tecnológico e dimensional dos novos modelos de aerogeradores.

É provável também que, em função de sigilo imposto pelos fabricantes OEM, essas empresas tenham decidido não abrir dados estratégicos da sua capacidade produtiva nesse momento de transição. De qualquer modo, isso não configura um problema de difícil solução, pois é possível utilizar dados de capacidade instalada ou de produção e número de empregados/as dos fabricantes OEM.

Tabela 44 - Valor do índice de empregos-ano/MW para fabricação de nacele no Brasil

Fabricante	Nº de funcionários/as (fabricação) ⁹⁷	Produção anual de referência (MW) ⁹⁸	Índice de empregos-ano/MW
A1	266	300	0,89
A3	600	750	0,80
A4	337	300	1,12
A5	300	300	1,00
			0,9525

Fonte: elaborado pela Cognito, a partir de análise própria da pesquisa estruturada e qualitativa

⁹⁷. Os/as empregados/as que atuam majoritariamente nas áreas de serviços (logística, construção e O&M) não são considerados/as para efeito de cálculo do coeficiente para a fabricação e montagem da nacele.

⁹⁸. O valor da produção anual de referência considerou a média e o valor máximo instalado pelas empresas entre 2014 e 2018.

Na prática, em função das dificuldades de atualização das capacidades dos fornecedores, a maioria dos estudos utiliza os dados básicos dos fabricantes OEM para o cálculo do índice dos empregos-ano/MW. Na medida em que essas empresas funcionam como as "montadoras" das naceles, suas respectivas capacidades instaladas ou de produção, montagem e número total de empregados/as funcionam como uma *proxy* bastante razoável e segura para apuração dos empregos gerados para produção desse item, conforme demonstrado na **Tabela 44**.

As fontes dos dados de emprego são provenientes da RAIS 2018 (como referência inicial), das respostas da pesquisa estruturada, informação direta e/ou checagem com executivos das empresas. Os dados de capacidade e produção máxima foram indicados pelos/as respondentes e checados na base de dados da ABEEólica (posição de 17 de junho de 2020).

Assim, das seis empresas ativas no setor, apenas uma empresa manifestou por *e-mail* que não poderia participar da pesquisa naquele momento, mas se mostrou disposta a participar em anos subsequentes. Além dessa empresa, uma segunda, apesar de não se manifestar de ofício, não forneceu os dados primários na pesquisa estruturada, tampouco em entrevistas ou

por troca de mensagens eletrônicas (*e-mail* ou WhatsApp). Apesar disso, com os dados das outras quatro (4) empresas – todas com registro ou com credenciamento para desenvolvimento das novas máquinas no Finame-BNDES em andamento – foi possível realizar o cálculo de forma segura.

5.4.2.2. Rotor (cubo e pás eólicas): cálculo do índice de empregos-ano/MW

Para o cálculo do índice de empregos para o rotor, houve duas situações distintas, em termos de solução ótima para a definição do índice de forma segura, fidedigna e representativa, tanto para os fabricantes de pás eólicas quanto para os fabricantes envolvidos nas diversas etapas de produção do cubo.

O Brasil já teve quatro fabricantes de pás eólicas: Tecsis, Wobben, Aeris e LM *Wind Power*. A Tecsis, que já foi o maior fabricante do país, tem enfrentado problemas de continuidade de produção, e a Wobben passa por um processo de venda de ativos nessa área. Atualmente, Aeris e LM despontam como as empresas mais representativas.

No caso dessas duas empresas, não obtivemos retorno por meio da pesquisa estruturada e também não houve

Tabela 45 - Valor do índice de empregos-ano/MW para fabricação de pás eólicas

Empresa	Nº de funcionários/as	Pás produzidas ¹⁰⁰	Valor acumulado (MW)	Índice de empregos-ano/MW
P1 ⁹⁹	266	300	0,89	1,04
P2 ¹⁰¹	600	750	0,80	2,27
				1,6511

Fonte: elaborado pela Cognito, a partir de análise própria da pesquisa estruturada e qualitativa

retorno dos executivos nas tentativas de conversa. O presidente de uma das empresas ficou de marcar agenda, mas não confirmou. O executivo da outra empresa, questionado se poderia informar dados de capacidade/produção e empregados/as, respondeu textualmente que *"...estes dados são confidenciais, pois podem revelar o volume de negócios dos nossos clientes"*. Felizmente, ambas as empresas mantêm informações públicas por meio de relatórios anuais de sustentabilidade e, por meio dessas fontes primárias, foi possível definir o índice de forma segura.

Para uma das empresas, utilizou-se relatório das atividades globais por ela publicado. A outra empresa está passando por um processo de abertura na bolsa de valores brasileira (IPO) e, por esse motivo, disponibilizou dados detalhados de produção, capacidade instalada, e número de empregados/as informados no prospecto de registro do IPO no site da Comissão de Valores Mobiliários (CVM). De acordo com informação do registro IPO 2020 (em dados gerais, p. 582), a capacidade da empresa é de 4.000 pás/ano e 5.000 empregados/as. Considerando aerogeradores com potência média de 3,66 MW, o índice é da ordem de 1,25 empregos-ano/MW.

Tabela 46 - Valor do índice de empregos-ano/MW para fabricação do cubo no Brasil

Empresa	Nº de funcionários/as ¹⁰²	Produção anual ¹⁰³	Valor acumulado (MW) ¹⁰⁴	Índice de empregos-ano/MW
C1	115	330	1.650	0,0697
C2	146	270	1.350	0,1084
				0,1646

Fonte: elaborado pela Cognito, a partir de análise própria da pesquisa estruturada e qualitativa

Para o caso do cubo (um dos elementos que compõem o rotor), os dados foram obtidos por meio da pesquisa estruturada e checados por meio de entrevista qualita-

tiva com representantes qualificados das empresas. As atividades desempenhadas pelas empresas são de natureza complementar e representam todas as etapas de

99. Número de funcionários/as e produção de pás obtidos de relatório global da empresa.

100. Produção de pás no ano de 2019. Valor médio da instalação de aerogeradores no Brasil para o período de 2018-2021.

101. Total de empregados/as no ano de 2019.

102. Número de funcionários/as alocados/as para a produção de cubos nas empresas, conforme informação dos executivos.

103. Estimada com base na capacidade de produção semanal informada.

104. Cubos produzidos para máquinas com potência nominal média de 5MW, conforme informação dos/as executivos/as.

agregação de valor da produção, envolvendo fundição do cubo, usinagem, jateamento, metalização e pintura.

Em relação ao processo de fabricação do cubo, os índices gerados pelas empresas C1 e C2 serão adicionados, tendo em vista que as empresas executam serviços distintos e complementares na produção de cubos. Por isso, não faz sentido somar individualmente o número de funcionários/as e dividir pelo valor acumulado, como efetuado para os demais casos. Assim, o índice de empregos para fabricação do rotor, incluindo pás eólicas de cubo, é igual a 1,8156 empregos-ano/MW.

5.4.2.3. Torres eólicas: cálculo do índice de empregos-ano/MW

Os fabricantes típicos de torres eólicas que responderam são 100% dedicados ao setor eólico, incluindo seus/suas funcionários/as. Serão avaliados dois tradicionais fabricantes de torres de aço e, para o caso das torres de concreto, a empresa fabricante possui método patenteado para produção móvel, deslocando suas instalações de acordo com a região em que possuam um maior portfólio de encomendas, o que permite, ao mesmo tempo, minimizar os custos logísticos.

Tabela 47 - Valor do índice de empregos-ano/MW para fabricação de torres de aço e torres de concreto no Brasil

Empresa	Tipo	Total de funcionários/as	Produção anual estimada (MW) ¹⁰⁵	Índice de empregos-ano/MW
TA1	Aço	500	600	0,8333
TA2	Aço	240	600	0,4000
Total Torre de Aço		740	1.200	0,6167
TC3	Concreto	500 ¹⁰⁶	336	1,4881
Média geral				1,0524

Fonte: elaborado pela Cognitio, a partir de análise própria da pesquisa estruturada e qualitativa

Há registros de fábricas de torres de aço sendo montadas ad hoc, junto aos complexos eólicos em construção, mas não foi possível obter informações das empresas que estão adotando essa prática.

Assim, de acordo com os dados obtidos por meio da pesquisa estruturada *online*, das entrevistas qualitativas e da revisão

bibliográfica, definiram-se os índices de empregos-ano/MW para as torres, de forma agregada, conforme a **Tabela 47**.

5.4.3. Logística e transporte de aerogeradores

A obtenção de dados atualizados, representativos e necessários para o cálculo da

105. O valor da produção anual média foi calculada em 50% da capacidade instalada do setor (de 3,5 a 4 GW).

106. <http://atlantenergias.com.br/obras-do-complexo-eolico-lagoa-do-barro-vao-gerar-500-empregos/>.

dinâmica de geração de empregos nas atividades de logística não foi possível. Foram acionados fabricantes OEM – que mantêm serviços contratuais de projetos do tipo *turn-key*, com responsabilidade pela gestão da logística e pelo transporte das partes e peças das plantas fabris até os parques eólicos –, bem como prestadores de serviços de transporte.

Além do formulário na pesquisa estruturada *online*, encaminhado para as empresas do setor, também enviamos questionário específico (em Word) para três empresas que registraram interesse em contribuir com a pesquisa. O modelo para preenchimento dos dados de transporte envolvia nacelle, pás eólicas e seções de torres de aço ou de concreto, conforme exemplo resumido abaixo:

Identificação do Parque	P1	P2	P3
Estado Fabricante			
Estado Destino			
Potência Aerogerador			
Duração média das viagens			
Quantidade de viagens			
Empregados envolvidos (incluindo terceirizados)			

Sugestão: selecionar estado Fabricante BA/CE/SP/SC -> selecionar estado destino RN/BA/PI/CE/RS/PE/PB/MA

Gestão de logística e transporte de aerogeradores

1. Considerando sua experiência na gestão da logística e transporte de aerogeradores, pede-se informar dados de uma ou mais experiências típicas, indicando o estado do fabricante, o estado de destino do aerogerador, a quantidade e a potência nominal da nacelle, conforme o quadro abaixo:

Apesar do nosso esforço, muitos dos pedidos recorrentes não foram atendidos. Decidiu-se então adotar, para este trabalho, o índice produzido por Simas (2012), acrescido de 50% (fator 1,5), tendo em vista, de acordo com as respostas obtidas e confirmadas em pesquisa bibliográfica, a necessidade de ampliar a quantidade de caminhões de oito (8) para doze (12), para o transporte dos novos modelos de aerogeradores. Adicionalmente, tal procedimento também se encontra amparado em outros dois aspectos, além da baixa representatividade dos/as respondentes do segmento na pesquisa:

- (i) aspectos associados à necessidade de escolta da Polícia Rodoviária Federal nas viagens pioneiras e à situação geral da infraestrutura rodoviária brasileira, em especial, pontes inadequadas em relação à geometria e ao peso dos novos equipamentos; e,
- (ii) os conhecidos problemas logísticos do setor devem passar por novo processo de aprendizado, em função do aumento nas dimensões e no peso das partes e peças dos novos modelos de aerogeradores.

Assim, o valor do índice a ser adotado para as atividades de planejamento logístico e transporte é **0,29 empregos-ano/MW (= 0,19 * 1,5)**.

5.4.4. Construção e instalação de parques eólicos

O perfil das empresas e representatividade podem ser conferidos no Anexo 8.4.3.

Observa-se que algumas empresas do setor estão passando por um processo de especialização. Todos os/as respondentes se declararam dedicados ao elo de construção na cadeia de valor eólica e informaram que o faturamento com serviços para o setor deverá crescer de 45% para quase 70% nos próximos três anos.

Pode-se afirmar que as empresas respondentes são especializadas e representativas em relação ao conjunto de atividades, técnicas e cronogramas associados à construção de parques eólicos no Brasil, mas é possível listar outros pontos importantes:

- as empresas respondentes foram responsáveis por construir, aproximadamente, 17 parques eólicos, com 176 aerogeradores e 500 MW de potência nominal instalada;
- as atividades envolveram diversas atividades típicas da área de construção civil, elétrica e de comissionamento;
- quase metade são empresas de engenharia, das áreas de geotecnia, construção civil e elétrica. A outra metade atua somente em geotecnia e construção civil, além de uma pequena parcela da área de serviços de supervisão de qualidade, instalação e comissionamento.

Do ponto de vista quantitativo, os instrumentos de coleta de informações para o segmento de construção civil envolveram a pesquisa estruturada *online* para obtenção de dados gerais sobre o setor, além do uso de modelo específico (em Word), que foi encaminhado por *e-mail* para as construtoras.

A partir dessa prática, recebemos quatro (4) retornos qualificados de empresas com grande representatividade na atividade de construção de parques eólicos no país. O modelo de referência indicava prazos de atividades típicas para construção, instalação e comissionamento de parques/complexos eólicos, conforme esquema de estudo de caso elaborado a partir do *IRENA Project Navigator*, para um parque eólico de 60 MW, com 30 aerogeradores.

O referido modelo consta na seção 3.4.7 deste estudo, e o quadro para preenchimento está informado no **Quadro 14**. As instruções de preenchimento eram as seguintes:

- *Identificação do Parque - (P1, P2 ou P3, ou um complexo eólico);*
- *Valor em MW - (casos reais, não necessariamente o de referência);*
- *Número de aerogeradores;*
- *Tipo de torre (aço, concreto ou híbrida).*

Quadro 14 - Modelo de referência para preenchimento de dados quantitativos da mão de obra no segmento de construção de parques eólicos

Etapa simplificada	Ref. mês início	Ref. Duração em meses	Mês início	Duração média em meses	Empregados/as envolvidos/as
Assinatura contrato	T zero	1	T zero		
Engenharia EPC	1	3			
Entrega do Aerogerador	4	14			
Obras civis	3	13			
Acessos	3	12			
Fundações	3	10			
Subestação do Parque	8	2			
Conexão ao Grid	12	4			
Montagem Aerogerador	13	6			
Serviços Elétricos (BOP)	10	9			
Cabeamento do Parque	14	5			
Subestação do Parque	10	4			
Conexão ao Grid	14	5			
Comissionamento	19	2			

Fonte: elaborado pela Cognitio, para a coleta de dados do segmento de construção/instalação de parques eólicos

A partir das respostas obtidas, foram elaborados os cálculos, considerando a alocação de pessoal para cada etapa, e o tempo necessário para a execução das

atividades, normalizando em termos anuais, e dividido pelo total em MW instalados em cada caso, conforme a **Tabela 48**, que resume os índices para cada respondente.

Tabela 48 - Modelo de referência para preenchimento de dados quantitativos da mão de obra no segmento de construção de parques eólicos

Etapa simplificada	CC1	CC2	CC3	CC4	Índice de empregos-ano/MW
Assinatura contrato	0,0063	-	-	-	0,1278
Engenharia EPC	0,1215	-	-	-	
Entrega do Aerogerador	-	-	-	-	-
Obras civis (média)	2,2303	1,2601	4,9941	-	2,8282
<i>Acessos (pico)</i>	<i>3,6581</i>	-	-	-	<i>3,6581</i>
<i>Fundações</i>	<i>3,1138</i>	-	-	-	<i>3,1138</i>
<i>Subestação do Parque</i>	<i>1,8354</i>	-	-	-	<i>1,8354</i>
<i>Conexão ao Grid</i>	<i>0,3139</i>	-	-	-	<i>0,3139</i>
Montagem Aerogerador	-	-	-	-	-
Serviços Elétricos (média)	1,2822	-	-	-	1,2822
<i>Cabeamento do Parque</i>	<i>0,7974</i>	-	-	-	<i>0,7974</i>
<i>Subestação do Parque (pico)</i>	<i>2,8974</i>	-	-	-	<i>2,8974</i>
<i>Conexão ao Grid</i>	<i>0,1519</i>	-	-	-	<i>0,1519</i>
Comissionamento	-	-	-	-	-
Total					4,2383

Fonte: elaborado pela Cognitio, a partir de análise própria da pesquisa estruturada e qualitativa

Nessa etapa do trabalho, solicitou-se que os/as respondentes indicassem os níveis de qualificação para a execução de obras civis, montagem do aerogerador, serviços elétricos e comissionamento. Infelizmente não foi possível estimar as quantidades de pessoal para a montagem dos aerogeradores. O **Quadro 15** indica esses percentuais.

Assim, trabalhadores/as da construção civil e técnicos/as representam mais de 60% dos/as profissionais envolvidos nas etapas de obras civis, serviços elétricos e comissionamento. Já os/as operadores/as de guindastes e motoristas de caminhões representam em torno de 20%, em geral concentrados na etapa de constru-

ção civil (e provavelmente na montagem dos aerogeradores).

Os/as especialistas em saúde e segurança, e de controle de qualidade, representam quase 10% dos/as profissionais que atuam nas etapas de obras civis, serviços elétricos e comissionamento. Os/as engenheiros/as civis, de produção e supervisores/as de equipe representam cerca de 6% da mão de obra qualificada, com atuação nas obras civis e em comissionamento. Já os/as engenheiros/as elétricos/as e mecânicos/as concentram-se mais nos serviços elétricos, representando aproximadamente 4% da mão de obra nesse segmento.

Quadro 15 - Distribuição de profissionais por etapa na área de construção e instalação de parques eólicos

Ocupações	Obras civis	Montagem Aerogerador	Serviços Elétricos	Comissionamento	Total ocupação
Trabalhadores/as da construção e técnicos/as	58%	-	66%	65%	60%
Operação de guindastes, caminhões etc.	26%	-	9%	0%	22%
Engenheiros/as civis, de produção etc. e supervisores/as de equipe	7%	-	-	22%	6%
Especialistas em saúde e segurança e controle qualidade	8%	-	11%	13%	9%
Engenheiros/as elétricos/as e mecânicos/as	1%	-	14%	0%	4%

Fonte: elaborado pela Cognitio, a partir de análise própria da pesquisa estruturada e qualitativa

Em geral, a maior parte dos empregos são gerados localmente pela construção civil¹⁰⁷. Os serviços de instalação e conexão à rede elétrica, por sua vez, são feitos por técnicos/as e engenheiros/as deslocados/as de outras localizações, como os/as funcionários/as dos fabricantes OEM, empresas especializadas em movimentação de grandes cargas e de empresas de eletricidade.

5.4.5. O&M - operação e manutenção de parques eólicos

O perfil detalhado das empresas pode ser conferido no Anexo 8.4.4. De acordo com os representantes que responderam à pesquisa, essas empresas atendem 182 parques eólicos no Brasil, com quase 6 GW de potência instalada, e mais de 2.000 aerogeradores sob contratos de operação e manutenção. Outros pontos que merecem destaque são:

- metade dos/as respondentes declarou que o setor eólico representa cerca de 60% do faturamento médio, mas com perspectiva de atingir quase 70% nos próximos três anos;
- as/os respondentes atuam nas áreas de treinamento e capacitação, telecomunicações, geradora, OEM ou proprietária de parque eólico;
- o volume em MW e a quantidade de aerogeradores são os principais fatores na composição das equipes de O&M;
- há muitas dúvidas sobre a redução abrupta de pessoal em curto e médio prazo, em decorrência do aumento dos aerogeradores, pois não há experiências suficientes na operação e manutenção dos geradores maiores para identificar mudanças significativas no

¹⁰⁷. <https://www-correio24horas-com-br.cdn.ampproject.org/c/s/www.correio24horas.com.br/amp/nid/bahia-novos-parques-eolicos-geracao-mais-de-9-mil-vagas-de-trabalho/>.

padrão dos empregos no segmento de O&M;

- as empresas do setor ainda estão tentando entender como essa relação vai se estabelecer.

O levantamento de dados e informações na área de O&M envolveu pesquisa estruturada *online*, bem como um instrumento específico para a coleta de dados por especialidades, para operação local e remota, e manutenção, que foi encaminhado por *e-mail* para algumas empresas. Solicitava-se identificar o valor em MW e o número de aerogeradores sob operação ou manutenção da empresa.

Como resultado, recebemos dados de cinco (5) empresas com atuação em dife-

rentes posições no segmento, tais como: treinamento profissional, telecomunicações, geração de energia, fabricante OEM e proprietária de parque eólico. A análise dos dados, contudo, não permitiu uma análise precisa e consistente para definir o índice para a função operação de parques eólicos.

Assim, definimos adotar o índice sugerido pela IRENA (2017), em função do grau de detalhamento indicado naquela referência. O valor também foi ponderado com outros dois estudos utilizados como referência: Simas (2012) e Rutovitz (2015). Para o caso da manutenção, a análise dos dados vis-à-vis ao referencial da literatura técnica nos permitiu definir o índice para manutenção, conforme detalhado na **Tabela 49**.

Tabela 49 - Valor do índice de empregos-ano/MW para manutenção de parques eólicos no Brasil

Empresa	Perfil da empresa	Nº de funcionários/as	Valor (MW)	Índice de empregos-ano/MW
O3	Geradora ¹⁰⁸	12	100	0,1200
O4	OEM ¹⁰⁹	200	2.100	0,0952
Obs.: dado que as empresas atuam em distintas atividades na cadeia de valor, o índice resultante foi obtido pela soma dos índices individuais.				0,1076

Fonte: elaborado pela Cognitio, a partir de análise própria da pesquisa estruturada e qualitativa.

108. Exercício da pesquisa estruturada com valor de referência de parque com 100 MW, 50 aerogeradores.

109. Números reais de empregados e capacidade instalada sob manutenção.

5.4.6. Quadro síntese dos índices de empregos-ano/MW da cadeia de valor eólica no Brasil

Etapa Referência	Simas (2012)	Rutovitz (2015)	Irena (2017)	Cognitio (2020)	Coefficiente Final Empregos-ano/MW(2012)	Racional
Desenvolvimento	-	-	0,25	0,17	0,19	Média ponderada das fontes: Cognitio (7); Irena (3)
Fabricação	3,46	4,70	1,81	3,87	3,87	Média ponderada das fontes: Cognitio (7); Rutovitz (1) e Simas (2) Com ponderação de 90% para as pesquisas da realidade brasileira.
Nacele	0,910	-	0,8860	0,9525	0,95	Novos índices intermediários recalculados pelo fator resultante da razão entre o coeficiente calculado Cognitio-GIZ (igual a 1)
Rotor (pás eólicas e cubo)	1,750	-	0,4340	1,8156	1,82	
Torres (aço e concreto)	0,800	-	0,4340	1,0524	1,05	
Sistema de controle e monitoramento	-	-	0,0540	-	0,05	Índice da Irena (2017) multiplicado pelo fator 1
Logística e transporte	0,19	-	0,083	-	0,29	Índice de Simas multiplicado pelo fator 1,5. Necessidade de mais caminhões (de 8 para 12) para o transporte de novos modelos de aerogeradores. Vide note 4
Construção	7,51	3,20	3,31	5,35	5,36	Média ponderada das fontes: Cognitio (6); Irena (1); Rutovitz (1) e Simas (2)
Contrato + EPC	-	-	-	0,1278	0,13	Sistemática similar à anterior (fator igual a 1,011)
Preparação do terreno e obras civis	-	-	1,5740	2,8282	2,83	Sistemática similar à anterior (fator igual a 1,011)
Montagem dos aerogeradores	-	-	0,9840	-	0,99	Índice da Irena (2017) multiplicado pelo fator 1,017
Cabeamento e conexão à rede	-	-	0,6230	1,2822	1,28	Sistemática similar à anterior (fator igual a 1,011)
Comissionamento	-	-	0,1310	-	0,13	Sistemática similar à anterior (fator igual a 1,011)
Operação e Manutenção (O&M)	0,57	0,30	0,25	0,27	0,36	Média ponderada das fontes: Cognitio (4); Irena (1); Rutovitz (1) e Simas (4). Com ponderação de 80% para as pesquisas da realidade brasileira
Operação (local e remota)	0,220	0	0,1670	-	0,22	Índice da Irena (2017) multiplicado pelo fator 1,3
Manutenção	0,350	-	0,0860	0,1076	0,14	Sistemática similar à anterior (fator igual a 1,3)
Total	11,73	8,20	5,71	9,67	10,08	

Fonte: elaborado pela Cognitio, a partir de análise própria da pesquisa estruturada.

110. Valores médios para aerogeradores com torres de aço ou concreto.

111. Dados normalizados para empregos-ano/MW.

112. Coeficiente da IRENA (2017) foi incorporado ao coeficiente calculado pela Cognitio em função da dificuldade em comparar os dados apresentados pelos/as respondentes do segmento na pesquisa.

113. Definição adotada com base em três aspectos: (i) baixa representatividade de respondentes do segmento na pesquisa; (ii) situação da infraestrutura rodoviária brasileira, em especial pontes inadequadas em relação a geometria e ao peso dos equipamento; e, (iii) os conhecidos problemas logísticos do setor passarão por novo processo de aprendizado em função do aumento nas dimensões e no peso das partes e peças dos novos modelos de aerogeradores.

5.5. Cenários de crescimento dos empregos em curto, médio e longo prazo

5.5.1. Premissas

A estimativa do número de empregos do setor eólico será realizada por meio da utilização dos índices de empregos-ano/MW, a partir das projeções de capacidade da fonte, de acordo com os valores definidos para os anos 2030, 2034 e 2038, a saber:

- **Matriz 1** – ano 2030:
Eólica: PDE 2026 + 18,2 GW;
- **Matriz 2** – ano 2034:
Eólica: Matriz 1 + 14,3 GW;
- **Matriz 3** – ano 2038:
Eólica: Matriz 2 + 9,2 GW.

Esse será o nosso cenário de referência. Também vamos efetuar análises de sensibilidade, associadas com variações na (i) produtividade (tecnologia e trabalho); e no (ii) conteúdo local.

No caso do conteúdo local, as eventuais alterações no índice de nacionalização da cadeia produtiva eólica poderão impactar o quantitativo de mão de obra e do emprego, ao longo do cenário proposto. O aumento decorrente do crescimento das importações de bens intermediários e acabados pode afetar o padrão e a dinâmica de criação de empregos, em especial no elo de fabricação, responsável por mais de um terço dos empregos criados. Eventuais esforços de ampliação do índice de nacionalização, por sua vez, podem aumentar o volume de empregos.

Também é importante avaliar os efeitos e o impacto das mudanças tecnológicas (tamanho crescente dos equipamentos, difusão de tecnologias digitais para monitoramento remoto de aerogeradores e parques eólicos), ao longo do cenário proposto, sobre a produtividade do trabalho, do perfil da mão de obra, e do padrão de criação de emprego, em especial no O&M, cujo impacto poderá ser no sentido de redução.

Para os demais setores, o aumento parece não impactar negativamente. Na pesquisa estruturada, ao contrário, a maioria não aposta em impacto negativo na criação de empregos em decorrência do novo tamanho dos aerogeradores. Isso é exemplar no caso do transporte, onde o número de caminhões necessário cresce mais de 40%.

Do ponto de vista da situação econômica após a crise da Covid-19, análise da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) apresentou cenário de referência, em que sugere uma recuperação gradual, confiança na retomada dos investimentos, em especial na infraestrutura, e perspectiva de retorno das políticas de ajuste fiscal após a pandemia.

O cenário implica um crescimento do investimento em relação ao PIB de, aproximadamente, 14%, 18% e 21%, respectivamente, para 2020, e para os períodos 2021-2025 e 2026-2030. Após previsão de queda de 5% no PIB em 2020, o estudo sugere crescimento de 2,8% e 3,0%, respectivamente, para os períodos 2021-2025 e 2026-2030 (EPE, 2020).

Do ponto de vista do crescimento médio anual do consumo e da geração de ener-

gia para o período de 2020-2030, o cenário de referência da EPE indica, respectivamente, percentuais de 2,7% e 2,6% ao ano (EPE, 2020a). Além disso, a avaliação de longo prazo do PNE 2050 indica que a potência nominal da fonte eólica pode atingir até 151 GW, um valor médio entre a estimativa mais conservadora, em 109 GW, e a mais otimista, de 194 GW até 2050. De acordo com essas estimativas, o valor de 70 GW, indicado neste exercício, se aproxima das estimativas daquele PNE 2050.

Enfim, é importante sinalizar que alguns eventos ao longo do período não serão considerados na estimativa realizada neste esforço:

- apesar da avaliação inicial, a pandemia não afetou seriamente os investimentos no setor eólico, e o consumo de energia no país não foi duramente afetado. Dados apontam que o consumo está em patamar não muito diferente do observado no ano de 2019, conforme já mencionado anteriormente.
- a projeção não levará em conta a eventual inserção de potência nominal por meio de parques eólicos *offshore* ao longo do período indicado. Assim, não será possível estimar as necessidades de mão de obra em termos de quantidade e qualificação, que são bastantes distintas da produção em terra, conforme previamente descrito neste documento. Sabe-se que o padrão de criação de empregos no ambiente *offshore* é praticamente o dobro do *onshore*, e que são muitas as diferenças em termos dos processos produtivos, equipamentos, atividades e qualificação

da mão de obra, em praticamente todas as etapas de cadeia de valor do setor;

- as ocorrências de eventos de descomissionamento, seja por meio de desativação ou repotenciação de aerogeradores, não serão consideradas no período em análise. Primeiramente, pelo fato de o assunto ser pouco explorado nos estudos de referência utilizados. Além disso, estão fora do período do cenário previsto. É provável que o mercado comece a dar seus primeiros passos a partir de 2034, quando cerca de 14 parques eólicos completarão mais de 25 anos de operação. Isso deverá se repetir a cada ano, até 2038. Espera-se que esse cenário mude a partir de 2039, quando quase 80 parques, em média, completarão 25 anos de operação a cada ano e, assim, se tornarão também um mercado de trabalho de alto potencial.

5.5.2. Cenário de referência de crescimento da fonte e dos empregos

A partir dessas premissas, vamos apresentar os dados da projeção de carga ao longo do período e construir as estimativas de criação dos empregos nos patamares indicados pelo cenário de referência para as datas de 2030, 2034 e 2038.

Esse cenário considera a posição inicial da capacidade nominal da fonte eólica instalada no ano de 2016 (10.025 MW), a potência nominal a ser instalada até 2026 (+18.445 MW) e as adições em MW para as Matrizes 1, 2 e 3 do exercício, cujas características estão indicadas na **Tabela 50**.

Tabela 50 - Características do cenário de referência [valores em MW]

Item	Valor de Referência	Potência adicional	Cenário Base	Crescimento Anual Médio	Taxa anual de crescimento
Matriz 1 [2030] PDE 2026	28.470	18.200	46.670	4.550	13,15%
Matriz 2 [2034] Matriz 1	46.670	14.300	60.970	3.575	6,91%
Matriz 3 [2038] Matriz 2	60.970	9.200	70.170	2.300	3,58%
Média 2016-2038					9,25%

Fonte: elaborado pela Cognitio, análise própria do cenário proposto e do PDE 2026 (BRASIL, 2017)

A **Tabela 51** apresenta a inserção de potência nominal anual ao longo do período que constitui o cenário de referência. Tal cenário foi ajustado a partir dos dados atualizados da base de dados da ABEEólica até o ano disponível e extrapolado até 2030, primeiro patamar definido pela Matriz 1. A partir do ano de 2016 será realizada a projeção dos empregos totais e por região, para as três matrizes indicadas.

O cenário de referência vai incluir o emprego direto criado em todas as etapas, de acordo com o padrão e a dinâmica própria de cada uma: desenvolvimento, fabricação, transporte, construção e instalação, operação e manutenção, bem como dos empregos indiretos, da seguinte forma:

- Serão aplicados os índices de empregos gerados por ano, por unidade em MW típicos de forma desagregada (por elo ou etapa) para o cálculo dos empregos diretos;
- Será aplicado o índice de criação de empregos indiretos que, somado aos empregos diretos, vai compor o número total de empregos gerados no período.

A **Tabela 52** apresenta os dados resumidos para as Matrizes do cenário de referência proposto, e a **Figura 45** apresenta a evolução dos empregos ao longo do período. O quadro expandido pode ser visto no Anexo 8.8.

Tabela 51 - Inserção anual de potência nominal em MW do cenário de referência

Itens/Ano	Carga Eólica PDE2026	Acréscimo Anual Previsto PDE2026	Matriz 1 ¹¹⁴	Matriz 2 ¹¹⁵	Matriz 3 ¹¹⁵	Cenário Básico
2016	10.025					10.025
2017	12.843	2.818	2.818			12.843
2018	15.598	2.755	2.755			15.598
2019	16.645	1.048	2.048			17.646
2020	17.645	1.000	2.048			19.694
2021	19.450	1.804	2.617,5			22.312
2022	21.254	1.804	2.617,5			24.929
2023	23.058	1.804	2.617,5			27.547
2024	24.862	1.804	2.617,5			30.164
2025	26.666	1.804	2.617,5			32.782
2026	28.470	1.804	2.617,5			35.399
2027			2.817,5			38.217
2028			2.817,5			41.034
2029			2.817,5			43.852
2030			2.818			46.670
2031				3.575		50.245
2032				3.575		53.820
2033				3.575		57.395
2034				3.575		60.970
2035					2.300	63.270
2036					2.300	65.570
2037					2.300	67.870
2038					2.300	70.170
Totais			36.644,5	14.300	9.200	

Fonte: elaborado pela Cognitio, análise própria do cenário proposto e do PDE 2026 (BRASIL, 2017)

Em termos regionais, o padrão de localização dos empregos também é dependente do elo da cadeia de valor onde eles são criados, conforme a categorização apontada por Eva Llera Sastresa et al. (2010), ou seja, ligadas ao desenvolvimento tecnológico, instalação e O&M.

As atividades de O&M são aquelas que tipicamente ocorrem no local dos parques eólicos, cuja dinâmica é cumulativa a partir da inserção de carga eólica, criando empregos locais estáveis e que requerem uma mão de obra majoritariamente de nível técnico.

114. O valor de acréscimo de carga para a Matriz 1 foi distribuído pela média do período, exceto quando menor que o previsto pelo PDE2026 e, para valores próximos de 1.000 MW somamos outros 1.000 MW.

115. Para as Matrizes 2 e 3 a projeção adotada foi a média simples.

Tabela 52 - Empregos diretos e indiretos do cenário de referência

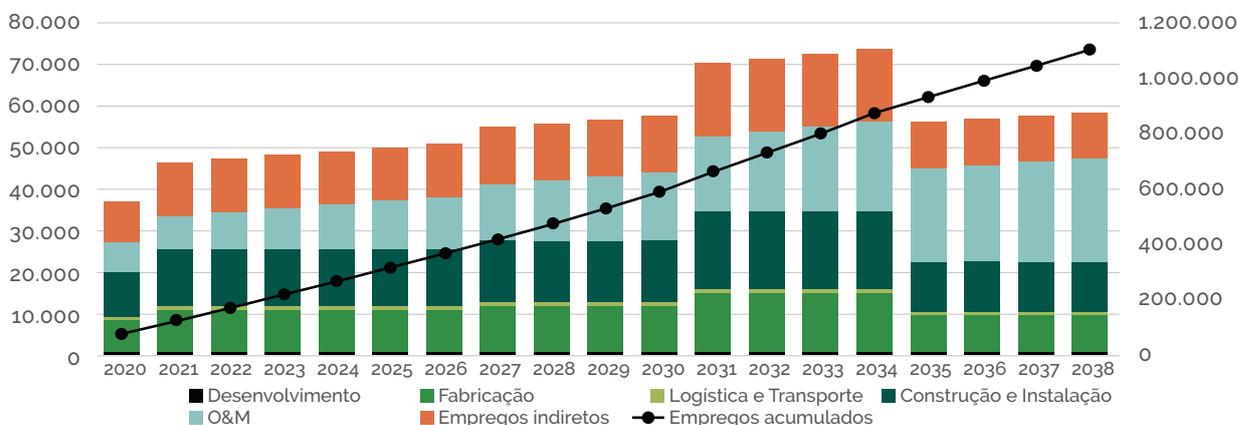
Itens/Ano	2030	2034	2038
Empregos diretos	44.047	56.508	47.402
<i>Desenvolvimento do projeto eólico</i>	535	679	437
<i>Fabricação do aerogerador</i>	10.918	13.851	8.911
<i>Logística e transporte</i>	817	1.037	667
<i>Construção e Instalação</i>	15.114	19.176	12.336
<i>Operação e manutenção (O&M)</i>	16.661	21.766	25.051
Empregos indiretos e induzidos	13.836	17.553	11.293
Total de empregos	57.883	74.061	58.695

Fonte: elaborado pela Cognitio, análise própria do cenário proposto e do PDE 2026 (BRASIL, 2017)

As atividades associadas à instalação dos parques eólicos, que abrangem transporte de partes e peças do aerogerador, obras civis, elétricas, conexão e comissionamento, por sua vez, possuem uma dinâmica de criação de empregos associada com o vo-

lume de carga anual instalado, de natureza temporária. O padrão de emprego envolve atividades coordenadas por técnicos/as de nível superior e técnicos/as de nível médio que, em geral, são deslocados/as de fora do local do empreendimento.

Figura 45 - Evolução dos empregos no cenário de referência



Fonte: elaborado pela Cognitio

Já as atividades de desenvolvimento tecnológico requerem um grau de especialização muito alto, geram empregos estáveis, e ocorrem fora do local da inserção da carga. A dinâmica de criação de empregos também está associada com a adição de potência de fonte eólica. Em geral, envolvem as empresas de desenvolvi-

mento de projetos eólicos e as fabricantes de equipamentos. No caso da fabricação, a maior parte da cadeia de fornecedores está localizada no Sudeste, mas muitos dos fabricantes de pás eólicas, torres e os fabricantes OEM possuem unidades de fabricação e montagem no Nordeste.

Tabela 53 - Empregos diretos por região para o cenário de referência proposto

Elo da Cadeia /Ano	2030	2034	2038
Desenvolvimento	214	272	175
Fabricação	6.660	8.449	5.436
Construção e Instalação	12.374	12.336	12.336
Operação e Manutenção (O&M)	14.607	17.824	21.108
Subtotal Nordeste	33.856	38.881	39.054
Desenvolvimento	214	272	175
Fabricação	3.712	4.709	3.030
Construção e Instalação	0	536	0
Operação e Manutenção (O&M)	11	162	162
Subtotal Sudeste	3.937	5.679	3.367
Desenvolvimento	107	136	87
Fabricação	546	693	446
Construção e Instalação	2.741	6.302	0
Operação e Manutenção (O&M)	2.043	3.781	3.781
Subtotal Sul	5.437	10.911	4.314
Logística e Transporte	817	1.037	667
Total Geral Empregos Diretos	44.047	56.508	47.402

Fonte: elaborado pela Cognitio, análise própria do cenário proposto e do PDE 2026 (BRASIL, 2017)

Em suma, em função dessas diferenças na dinâmica de criação de empregos ao longo da cadeia de valor do setor eólico, a mudança mais significativa que deverá ocorrer em termos regionais, em médio e longo prazo, será uma concentração cada vez maior dos empregos nas atividades de O&M, que deverão requerer um esforço maior de formação, capacitação e treinamento técnico, se comparadas com as

demais áreas. Esses números são fundamentais para o planejamento das organizações envolvidas com formação profissional de nível superior e técnica.

5.5.3. Variações nos empregos frente a mudanças no padrão tecnológico

Para os cálculos da projeção dos empregos para 2030, 2034 e 2038 será aplicado no cenário de referência um "fator de declínio", que reduz percentualmente o índice de emprego em base anual, de modo a refletir os ganhos de produtividade associados com as novas tecnologias. Um fator de 5% foi adotado para o setor eólico *onshore* por Rutovitz et al. (2015), por exemplo, para o período de 2015 a 2030.

Nesse contexto, realizar-se-ão três projeções: na primeira, utilizaremos o mesmo padrão de redução anual do período de 15 anos, adotado pelo estudo de referência e, nas subseqüentes, vamos utilizar 10% e 15%. Assim, o primeiro "fator de declínio" para os próximos dezoito anos será de 6,03%, o que resulta num índice de declínio de 0,326% ao ano; para o segundo e terceiro casos, respectivamente, os índices de declínio serão 0,530% a.a. e 0,780% a.a.

A **Tabela 54** apresenta um resumo do impacto sobre a quantidade de empregos ao longo do período. Os exercícios realizados com os cenários completos podem ser vistos nos Anexos 8.9; 8.10 e 8.11.

Tabela 54 - Quadro-resumo do impacto tecnológico na geração de empregos

Ano	Fator de tecnologia	Empregos diretos		Empregos Acumulados	Diferenças Cenário de Referência	
		Outros	O&M		O&M	Empregos Acumulados
2030	6%	27.385	15.657	582.076	1.005	8.186
	10%	27.385	14.995	576.687	1.666	13.575
	15%	27.385	14.162	569.900	2.499	20.362
2034	6%	34.742	20.454	865.876	1.313	12.974
	10%	34.742	19.590	857.334	2.177	21.516
	15%	34.742	18.501	846.576	3.265	32.273
2038	6%	22.351	23.540	1.089.985	1.511	18.719
	10%	22.351	22.546	1.077.661	2.505	31.043
	15%	22.351	21.293	1.062.139	3.758	46.565

Fonte: elaborado pela Cognitio

- Em termos absolutos, no período de 2030-2038, para uma taxa de declínio de 6,03%, o número de empregos que deixarão de ser criados na área de O&M varia de 1.005 a quase 2.500. No acumulado, de 8.000 a mais de 20.000 empregos deixarão de ser criados;
- Para fator de declínio de 10%, a variação nos empregos no O&M será de 1.313 até quase 3.500 empregos, ao passo que, no acumulado, mais de 10.000, no mínimo, e mais de 30.000, no máximo, deixarão de ser gerados;
- Para fator de declínio de 15%, por sua vez, a variação nos empregos no O&M será de mais de 2.000 a quase 4.000 empregos, ao passo que, no acumulado, deixarão de ser gerados quase 20.000 a 50.000 empregos.

Importante ressaltar que, de acordo com a pesquisa realizada, a maioria dos/as res-

pondentes não concorda que as mudanças tecnológicas associadas ao tamanho dos aerogeradores devem afetar negativamente a dinâmica de criação de empregos. Em grande parte, isso faz sentido de forma exemplar para o caso do transporte, da fabricação e, possivelmente, da construção e instalação, tendo em vista que os volumes crescentes de material e o dimensional dos equipamentos, em maior ou menor grau, demandarão mais ou, no limite, a mesma quantidade de mão de obra.

Alguns especialistas entendem, contudo, que a área de O&M será impactada fortemente pelas mudanças que resultarão em menos aerogeradores por área nos parques eólicos e, particularmente, um dos/as respondentes da pesquisa com atuação na área, em parceria com um grande fabricante OEM no Brasil, mencionou que a empresa está envolvida na avaliação dessa questão. Assim, o fator foi aplicado somente para a área de O&M.

5.5.4. Variações nos empregos frente a mudanças nos índices de nacionalização

A produção e montagem de aerogeradores foi um dos mais bem-sucedidos casos de política de conteúdo local no Brasil e, em maior ou menor grau, o ritmo de nacionalização dos equipamentos aumentou na medida do crescimento do próprio mercado de geração de energia por meio da fonte eólica.

As diferenças, em termos de custo e de escala econômica, em comparação com fornecedores internacionais, ou até mesmo a ausência de produção nacional, foram superadas pelo engenhoso mecanismo de financiamento dos parques eólicos, por meio das exigências de nacionalização dos equipamentos. A grande participação do BNDES no financiamento do setor é um indicador claro desse ponto.

Está em curso, como já exposto, o novo regulamento de credenciamento do Finame-BNDES, cujo prazo final será no início de 2022. Assim, no curto prazo, não há indícios de que esse processo de nacionalização seja interrompido, pois há consenso entre investidores, fabricantes e integrantes da cadeia produtiva de bens e serviços sobre a importância do modelo de financiamento associado com os critérios de nacionalização. É um jogo do tipo ganha-ganha para todos os agentes econômicos do setor.

Dada a importância desse assunto em médio e longo prazo, contudo, também

será aplicado ao cenário de referência um exercício com variações nos índices de nacionalização para identificar os impactos nos empregos para 2030, 2034 e 2038.

Eventuais ajustes poderão ampliar ou reduzir os empregos no setor, em especial no segmento de fabricação, tendo em vista que os produtos/serviços dos demais segmentos são *non-tradeables*, como os serviços de transporte, construção e O&M.

Conforme discutido anteriormente, há espaços para ampliação da nacionalização de componentes, o que poderá ocorrer no período da nova regra Finame BNDES, se forem superadas questões de custo, escala e preço, como é o caso do sistema de *yaw*, eixo principal e gerador.

Mas há probabilidade de redução no índice de nacionalização que, de acordo com a regra Finame BNDES, até 31/12/2021, forjados e chapas de aço podem variar até, respectivamente, 25% e 50%. O caso do preço do aço no Brasil, frente ao mercado internacional, é um assunto de repercussão geral na economia, além de um quase monopólio de aço para fundidos e aço-silício. Provavelmente, cientes dessa questão, BNDES e demais agentes definiram a regra a partir desse contexto.

No caso das pás eólicas, a mesma regra atribui o valor mínimo em peso variando até 25%. Há também um quase monopólio na oferta interna de resinas e tecidos de fibra de vidro para as pás eólicas. Ademais, cabe ressaltar que o parágrafo quinto (§5), repetido ao longo do texto do regulamento,

permite troca da nacionalização do fundido do cubo por outro componente constante nas tabelas eletivas do documento.

Considerando esses aspectos para os principais componentes do aerogerador, elaboraram-se três cenários ou casos – cujo quadro-resumo encontra-se na sequência – com o seguinte racional, em termos da capacidade produtiva nacional de fabricação de aerogeradores e eventual impacto nos empregos:

- **Caso 1** – cenário pessimista, com perda estimada de 50%;
- **Caso 2** – cenário possível, com perda estimada de 12,5%;

- **Caso 3** – cenário otimista, com ampliação de 6,25%.

Tabela 55 - Quadro-resumo dos parâmetros de variações no índice de nacionalização

Parte do Aerogerador	Valor atual CL	Variação no índice de nacionalização		
		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Nacele ¹¹⁶	80%	-50,0%	-12,5%	+6,25%
Torre ¹¹⁷	80%	-50,0%	-12,5%	+6,25%
Rotor ¹¹⁸	77,5%	-50,0%	-12,5%	+6,25%

Fonte: elaborado pela Cognito

Os exercícios realizados com os cenários completos podem ser vistos nos Anexos 8.12, 8.13 e 8.14. A **Tabela 56** apresenta um resumo do impacto sobre a quantidade de empregos ao longo do período.

116. Análise da pesquisa e estimativa da Cognito.

117. Torres de aço e de acordo com resposta na pesquisa.

118. Estimativa da Cognito para as pás (75%) e cubo de acordo com respostas da pesquisa (80%).

Tabela 56 - Quadro-resumo do impacto de variações no índice de nacionalização na geração de empregos

Período	Parte do aerogerador	Caso 1	Caso 2	Caso 3
2030	Nacele	1.418	355	177
	Torre	1.483	371	185
	Rotor (pá eólica e cubo)	2.558	640	320
	Subtotal 2030	-5.459	-1.365	682
2034	Nacele	1.799	450	225
	Torre	1.881	470	235
	Rotor (pá eólica e cubo)	3.245	811	406
	Subtotal 2034	-6.926	-1.731	866
2038	Nacele	1.157	289	145
	Torre	1.210	303	151
	Rotor (pá eólica e cubo)	2.088	522	261
	Subtotal 2038	-4.456	-1.114	557
Total Acumulado 2019-2038		-105.718	-26.430	13.215

Fonte: elaborado pela Cognito

- Em termos acumulados, no período de 2019-2038, para o caso 1-pessimista, podem ser perdidos mais de 100 mil empregos no acumulado, com perdas anuais de mais de 5.000, em 2030; quase 7.000, em 2034, e quase 5.000 empregos, em 2038;
- Para o caso 2-possível, a redução é cerca de 25% menor, com perda acumulada no período de mais de 25.000 empregos, e perdas anuais de quase 1.500 em 2030; quase 2.000, em 2034, e cerca de 1.000 empregos, em 2038;
- Para o caso 3-otimista, contudo, a criação de empregos acumulados no período será de quase 15.000, com ganhos anuais de cerca de 700, em 2030; quase 1.000, em 2034; e cerca de 600 empregos, em 2038.

6. Conclusões e Recomendações

O setor eólico no Brasil é relativamente novo, quando comparado aos setores tradicionais que compõem a atividade econômica associada à matriz energética e à geração de energia elétrica no país, como o setor de petróleo, de biomassa, carvão e recursos hídricos, se considerarmos a mudança estrutural ocorrida a partir do ano de 2009.

Nesse pouco tempo, contudo, o setor passou de opção subsidiada para a fonte de geração de energia elétrica mais competitiva do país e, além disso, adquiriu uma importância crescente também na geração de empregos qualificados em atividades industriais, como fabricação de aerogeradores e atividades de operação e manutenção e, ainda, em serviços altamente especializados nas áreas de desenvolvimento e de instalação de projetos eólicos.

O perfil do emprego no setor eólico é majoritariamente técnico, e as competências variam em cada segmento da cadeia de valor. Quase 60% dos empregos do setor possuem formação em nível médio, dada a importância do ensino técnico profissionalizante para a força de trabalho do setor. Há, ainda, uma parcela relevante de empregados/as com nível superior, com destaque para os/as engenheiros/as. A participação das mulhe-

res, da ordem de 20%, conforme a pesquisa, tende a crescer. Diz-se no mercado que, atualmente, a cada 10 empregos no setor, três (3) são ocupados por mulheres.

De acordo com a pesquisa, serão gerados 10,08 empregos-ano/MW diretos ao longo de toda a cadeia de valor eólica, cuja ocupação anual vai depender do volume de energia eólica adicionada anualmente para as atividades de desenvolvimento, fabricação, construção e instalação de parques eólicos, ao passo que a criação de empregos no segmento de O&M cresce a partir do valor acumulado de carga ao longo do tempo.

Esse padrão, contudo, será desafiado em médio e longo prazo pelos avanços tecnológicos em curso e, ainda, em relação a eventuais variações do grau de nacionalização ao longo do tempo. No caso dos fatores tecnológicos, será preciso avaliar os limites do crescimento nos tamanhos dos aerogeradores, em função da mudança de patamar dos problemas logísticos para instalação dos parques eólicos *onshore*.

Será necessário avaliar se o atual padrão tecnológico para a produção *onshore* já atingiu seu limite, em termos dimensionais e de peso, e o quanto isso poderá afetar

as decisões de localização das plantas de produção de grandes partes do aerogerador. A concentração dos parques eólicos no Nordeste, onde está quase 90% da capacidade do país no presente e, provavelmente, continuará no futuro, dada a qualidade do recurso eólico na região, foi um fator essencial para a localização preferencial do parque fabril de aerogeradores, pás eólicas e torres.

Há ainda, no Brasil, um espaço de inserção de carga *onshore* significativo, em função da competitividade da fonte, mas é provável que a inserção de energia eólica *offshore* possa ser uma opção em médio e longo prazo, em função da possibilidade de utilização de máquinas maiores, sem as limitações da logística *onshore*.

Evidentemente que isso também deverá passar pela adequação da logística *offshore*, mas a percepção da indústria é que a trajetória industrial derivada da liderança brasileira na exploração e produção de petróleo *offshore* pode ser um ativo importante para essa transição.

O grau de nacionalização também é um item importante a ser avaliado, pois variações muito acentuadas poderão resultar numa perda considerável de empregos qualificados na indústria, conforme demonstrado. Esse é um ponto que está aquém do controle dos agentes econômicos da cadeia e reside no campo das políticas públicas, em especial no que se refere ao financiamento, uma vez que o mercado livre no país parece se consolidar como opção de modelo para o investimen-

to privado, além do modelo de leilões, que contribuiu para consolidar o setor.

Ao longo do período em análise, chegou-se a uma quantidade expressiva de empregos acumulados. Importante ressaltar que os valores de carga utilizados na elaboração deste exercício não são muito diferentes dos valores que vêm sendo discutidos na atual consulta pública para o PNE 2050, em que se estima uma carga total de cerca de 100GW até 2050.

Serão mais de 1 milhão de empregos na cadeia de valor, com mais de 75% de empregos diretos. Ao longo do período da análise, o Nordeste concentrará, em média, cerca de 85% dos empregos em O&M, além de uma participação crescente na fabricação, de cerca de 60%.

O desafio de treinar toda essa mão de obra técnica ainda vai esbarrar na crescente sofisticação do setor, por meio do uso intenso de tecnologias típicas da indústria 4.0, como tecnologias de IoT, computação em nuvem, *Big Data Analytics*, gêmeos digitais, realidade mista (virtual/aumentada) etc. O padrão de competências será ainda mais alto para as ocupações da função O&M, de modo que novos conteúdos e atualizações serão necessários nos processos de formação e retreinamento da mão de obra para essa área de atuação.

Além disso, uma das competências mais valorizadas pelos/as respondentes da pesquisa diz respeito a uma "atitude voltada para a solução de problemas", com destaque também para capacidade de comuni-

cação, iniciativa, criatividade, conhecimento técnico, gestão de projetos e colaboração virtual. Ou seja, as chamadas competências socioemocionais ou *soft skills* também são importantes aspectos para o treinamento da mão de obra do setor.

A padronização do ensino técnico e o treinamento foram indicados como importantes para a grande maioria dos/as respondentes, e a ênfase em desenvolvimento de habilidades práticas requeridas pelo setor eólico foi um dos itens mais frequentes, além de gestão de projetos, aspectos técnicos, de engenharia, de saúde e segurança. Os aspectos técnicos e de segurança, por exemplo, obtiveram grande peso nas atividades de O&M, dadas as características específicas dessas atividades, envolvendo trabalho em altura, espaço confinado e a combinação de conhecimentos e competências técnicas nas áreas de mecânica, hidráulica e elétrica. Na construção, a gestão de projetos obteve mais destaque.

A melhoria da mão de obra potencial e futura do setor passa também pela formação de alianças entre a indústria eólica e instituições de treinamento técnico, mais investimentos em centros de formação técnica especializados nos níveis nacional e regional, e o aumento de professores/as instrutores/as com experiência direta no setor eólico. Em função desse conjunto de condicionantes e, considerando os limites das estimativas, por meio de índices empregos-ano/MW e da matriz insumo-produto, entendemos oportuno e conveniente levar para apreciação de

organizações públicas e privadas, interessadas no desenvolvimento do setor, as seguintes recomendações:

- elaborar apresentação institucional do trabalho e da pesquisa realizada;
- promover *webinar* com as empresas respondentes para apresentar e promover a discussão dos resultados da pesquisa com representantes selecionados de todos os elos da cadeia de valor, dada a diversidade e as distintas necessidades de cada segmento;
- promover programa de aproximação do setor produtivo com as organizações de ensino técnico e superior, buscando intensificar o intercâmbio entre profissionais do setor e os futuros/as profissionais, além de identificar possibilidade de *funding* público e privado para a instalação de centros de capacitação e treinamento para o setor eólico;
- avaliar elaboração de estudo para identificar e caracterizar o conjunto de ocupações e competências técnicas da mão de obra necessária da cadeia de valor eólica *offshore*;
- avaliar elaboração de estudo sobre o impacto na criação de empregos e o impacto econômico a partir da inserção de energia *offshore*, em médio e longo prazo no Brasil, considerando prazo mínimo de 10 a 12 anos, e um índice de nacionalização inicial de 25%;
- criar um observatório do setor eólico, envolvendo a manutenção e atualização contínua de base de dados das empre-

sas, do grau de alocação da produção para o setor eólico, dos empregos por segmento da cadeia, empregos totais, massa salarial, formação educacional, gênero, perfil profissional, localização, variação de preços de insumos estratégicos para o setor, novas tecnologias, variações nos empregos decorrentes das novas tecnologias e comércio exterior;

- dentre os produtos desse observatório estão a criação de uma base de dados consistente, com dados oficiais de empregos (RAIS), investimento e produção (ANEEL, CCEE e associações setoriais), comércio exterior (Camex), realização de pesquisa quadrimestral, produção de boletins de conjuntura (em períodos a definir) e publicações consolidadas (anual ou bianual).

7. Referências Bibliográficas

ABDI. **Mapeamento da Cadeia Produtiva do Setor Eólico no Brasil**. Brasília: ABDI, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/3mOt3Gm>>. Acesso em: 4 Mai 2020.

ABDI. **Atualização do Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil**. Brasília: ABDI - FGV Projetos, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/3octeSf>>. Acesso em: 4 Mai 2020.

ABDI. **Carreiras Eólica**. sitesinteligencia, 2018a. Disponível em: <<http://sitesinteligencia.abdi.com.br/sites/carreiras-eolica/>>. Acesso em: 11 Mai 2020.

ACKERMANN, T. **Wind Power in Power Systems**. London: John Wiley & Sons, Ltd, 2005.

AMARANTE, O. A. C. D. et al. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília: BRASIL-Ministério de Minas e Energia, 2001.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 414/2010**. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, 9 Set 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/3j5t6eQ>>. Acesso em: 16 mai 2020.

ARAÚJO, B. C.; CAVALCANTE, L. R.; ALVES, P. **Variáveis proxy para os gastos empresariais em inovação com base no pessoal ocupado técnico-científico disponível**. Radar: Tecnologia, Produção e Comércio Exterior, Brasília, Dez 2009. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/radar/091221_radar05_cap3.pdf>. Acesso em: 10 Set 2020.

ARAÚJO, B. P. D.; WILLCOX, L. D. **Reflexões críticas sobre a experiência brasileira de política industrial no setor eólico**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, v. 47, Mar 2018. p. 163-220. Disponível em: <<https://bit.ly/30sC5Q3>>. Acesso em: 22 Jun 2020.

AWEA. **U.S. Offshore Wind Power Economic Impact Assessment**. American Wind Energy Association, 2020. Disponível em: <https://supportoffshorewind.org/wp-content/uploads/sites/6/2020/03/AWEA_Offshore-Wind-Economic-ImpactsV3.pdf>. Acesso em: 14 Ago 2020.

BATISTA, A. R. D. A. **Um Guia Prático para Inferir a Matriz Insumo-Produto Brasileira a partir do Sistema de Contas Nacionais desde 2010**. Munich Personal RePEc Archive - Paper No. 97943, São Paulo, 3 Jan 2020. Disponível em: <<https://mpra.ub.uni-muenchen.de/97943/>>. Acesso em: 12 Mai 2020.

BLANCO, I. et al. Technology. **Wind Energy - The Facts - Part I**, Mar 2009. Disponível em: <<https://www.wind-energy-the-facts.org/images/chapter1.pdf>>. Acesso em: 29 Jun 2020.

BLANCO, I. et al. **The Economics of Wind Power**. Wind Energy - The Facts - Part III, Mar 2009. Disponível em: <<https://www.wind-energy-the-facts.org/images/chapter3.pdf>>. Acesso em: 11 Mai 2020.

BNDES. **Crêterios e Requisitos Específicos para o credenciamento de aerogeradores no âmbito do Credenciamento Finame - CFI do Sistema BNDES**, Rio de Janeiro, 10 Out 2019. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/5172afb2-8a0f-43b5-91f2-e7002796ge0b/Normativo+Aerogeradores+_SITE.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mTkY6pn>. Acesso em: 1 Set 2020.

BOHR, K. **Case Study for the IRENA Project Navigator 60 MW Wind Project**. IRENA Project Navigator, [2020?]. Disponível em: <<https://navigator.irena.org/inside/pn/learn/Pages/search.aspx>>. Acesso em: 7 Jun 2020.

BRASIL. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026: Ministério de Minas e Energia**. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>>. Acesso em: 03 Mai 2020.

BRASIL. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029: Ministério de Minas e Energia**. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>>. Acesso em: 3 Mai 2020.

BRASIL. **Roadmap Eólica Offshore Brasil: perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima**. Rio de Janeiro: EPE, 2020a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_versao_R2.pdf>. Acesso em: 20 Jul 2020.

BUSINESS WIRE. **Insights on the Global Wind Turbine Gearbox Market 2020-2024 | COVID-19 Analysis, Drivers, Restraints, Opportunities and Threats** | Technavio. <https://www.businesswire.com/>, London, 14 Ago 2020. Disponível em: <<https://bwnews.pr/35UugWG>>. Acesso em: 20 Set 2020.

CAMBRIDGE ANALYTICS. **Future UK Employment in the Offshore Wind Industry**. University of Hull / Aura, Jun 2017. Disponível em: <<https://aurawindenergy.com/uploads/files/Cambride-Economics-Future-UK-Employment-in-Offshore-Wind-June-2017.pdf>>. Acesso em: 11 Mai 2020.

CAMERON, L.; ZWAAN, B. V. D. **Employment factors for wind and solar energy technologies: A literature review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45, 2015. 160-172. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115000118>>. Acesso em: 6 Mai 2020.

CIVITARESE, C. H. **Avaliação de Impacto do Leilão Específico para Contratação de Energia Eólica: Uma Análise Utilizando Método de Controle Sintético**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2019. Disponível em: <<http://www.mestrado.profissional.gov.br/sites/images/mestrado/turma3/cristiano-hauck-civitarese.pdf>>. Acesso em: 20 Jul 2020.

CRESESB. **Energia eólica: princípios e tecnologias**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf>. Acesso em: 15 jul 2020.

CVM. **Minuta do prospecto preliminar da oferta pública de distribuição primária e secundária de ações ordinárias de emissão da Aeris**, São Paulo, 2020. Disponível em: <http://sistemas.cvm.gov.br/dados/ofeanal/RJ-2020-03693/20200826_Minuta%20do%20Prospecto%20Preliminar.pdf>. Acesso em: 10 Set 2020.

DALTON, G. J.; LEWIS, T. **Metrics for measuring job creation by renewable energy technologies, using Ireland as a case study**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, n. 4, May 2011. 2123-2133. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111000396>>. Acesso em: 6 Mai 2020.

Damen Delivers Offshore Cable Layer to Van Oord in Only 15 Months. Damen.com, 2015. Disponível em: <https://www.damen.com/news/2015/01/damen_delivers_offshore_cable_layer_to_van_oord_in_only_15_months>. Acesso em: 24 Ago 2020.

DEDECCA, J. G.; HAKVOORT, R. A.; ORTT, J. R. **Market strategies for offshore wind in Europe: A development and diffusion perspective**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016. 286-296. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.007>>. Acesso em: 14 Ago 2020.

ECOTEC. **Renewable Energy Sector in the EU: its Employment and Export Potential A Final Report to DG Environment**, 2002. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/enveco/eco_industry/pdf/ecotec_renewable_energy.pdf>. Acesso em: 22 Jun 2020.

EPE. **Participação de Empreendimentos Eólicos nos Leilões de Energia no Brasil: Evolução dos Projetos Cadastrados e suas Características Técnicas**. Nota Técnica No. 041/2018-r0, Rio de Janeiro, 19 Jun 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-394/NT_EPE-DEE-NT-041_2018-r0.pdf>. Acesso em: 11 Mai 2020.

EPE. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 - Premissas econômicas e demográficas**. Rio de Janeiro: Empresa de Planejamento Energético, 2020.

EPE. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 - Demanda de Eletricidade**. Rio de Janeiro: Empresa de Planejamento Energético, 2020a.

EPRI. **The Job Impacts of Renewable Generation: A Literature Review**. Electric Power Research Institute, Inc, Palo Alto, Dec 2013. Disponível em: <<https://www.epri.com/#/pages/product/3002002331/>>. Acesso em: 8 Mai 2020.

EUROPEAN COMISSION. **Skill Wind: Maintenance**. SGS-BIC-ANEV-AEE. [S.l.]. 2015.

EWEA. **Wind at Work: Wind energy and job creation in the EU**. European Wind Energy Association, Jan 2009. Disponível em: <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Wind_at_work.pdf>. Acesso em: 11 Mai 2020.

FITCH-ROY, O. **Workers wanted: The EU wind energy sector skills gap**. European Wind Energy Technology Platform, Aug 2013. Disponível em: <www.windplatform.eu/report/workers-wanted>. Acesso em: 22 Jun 2020.

GE **Obtém Certificação Finame para Turbina Eólica Cypress**. <https://www.osetoelettrico.com.br>. o setor elétrico, 2020. Disponível em: <<https://www.osetoelettrico.com.br/ge-obtem-certificacao-finame-para-turbina-eolica-cypress/>>. Acesso em: 5 Set 2020.

GIZ. **Uma parceria próspera**. Profissionais para Energias do Futuro, Brasília, Ago 2018.

GL GARRAD HASSAN. **A Guide to UK Offshore Wind Operations and Maintenance**. Scottish Enterprise and The Crown Estate. [S.l.]. 2013.

GOITIA, V. **Eólica - Matriz consolida avanço como fonte renovável**. Valor Setorial Energia, Rio de Janeiro, Abr 2020.

GRIJÓ, E.; BÊRNI, D. D. A. **Metodologia Completa para a Estimativa de Matrizes de Insumo-Produto**. Teoria e Evidência Econômica, Passo Fundo, Mai 2006. v. 14, n.26, p. 9-42. Disponível em: <http://cepeac.upf.br/download/rev_n26_2006_art1.pdf>. Acesso em: 12 Mai 2020.

GUILHOTO, J. J. M. **Input-Output Analysis: Theory and Foundations**. Munich Personal RePEc Archive - Paper No. 32566, São Paulo, 5 Aug 2011. Disponível em: <<https://mpra.ub.uni-muenchen.de/32566/>>. Acesso em: 12 Mai 2020.

GWEC. **Global Wind Market Development - Supply Side Data 2019**. Brussels, 25 May 2020.

GWEC. **Global Wind Market Development: Supply Side Data 2019**, 25 May 2020.

GWEC. **Global Wind Report 2019**. Brussels: GWEC, 2020a.

GWO. **Basic Safety Training Standard**. GWO Training Standard, Copenhagen, May 2020. Disponível em: <<https://www.globalwindsafety.org/standards/basic-safety-training-standard>>. Acesso em: 6 Ago 2020.

GWO-GWEC. **Powering the Future: Global Offshore Wind Workforce Outlook 2020-2024**. [S.l.]: [s.n.], 2020. Disponível em: <<https://gwec.net/powering-the-future-report/>>. Acesso em: 24 Ago 2020.

HARDCASTLE, A.; WATERMAN-HOEY, S.; KUNKLE, R. **Renewable Energy Industry Trends and Workforce Development in Washington State**. Washington State University Extension Energy Program, Olympia, 30 Jun 2009. Disponível em: <http://www.energy.wsu.edu/Documents/Final_RE_Report_200906.pdf>. Acesso em: 11 Mai 2020.

HENEGHAN, B. **Life-cycle of an Onshore Wind Farm**. IWEA-Ionic Consulting, Mar 2019. Disponível em: <<https://www.iwea.com/images/files/iwea-onshore-wind-farm-report.pdf>>. Acesso em: 8 Mai 2020.

IEA. **Technical Report: Results of IEA Wind TCP Workshop on a Grand Vision for Wind Energy Technology**. IEA Wind TCP Task 11, Apr 2019. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72437.pdf>>. Acesso em: 12 Mai 2020.

IEDI. **A experiência recente do Brasil com políticas de conteúdo nacional**. Carta IEDI n. 866, São Paulo, Jun 2018.

IEDI. **Por uma indústria padrão mundial**. Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, São Paulo, Out 2019. Disponível em: <https://iedi.org.br/media/site/artigos/20191016_industria_padrao_mundial.pdf>. Acesso em: 22 Jun 2020.

ILO. **Skills and Occupational Needs in Renewable Energy**. Geneva: International Labor Organization, 2011. Disponível em: <https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---ifp_skills/documents/publication/wcms_166823.pdf#:~:text=Skills%20and%20Occupational%20Needs%20in%20Renewable%20Energy%03%2074.,the%20turbines%2C%20and%20their%20connection%20to%20the%20grid.>. Acesso em: 3 Jul 2020.

ILO. **International Standard Classification of Occupations: ISCO-08**. Geneva: International Labour Organization, 2012. Disponível em: <https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---d-comm/---publ/documents/publication/wcms_172572.pdf>. Acesso em: 4 Jul 2020.

IRENA. **Renewable Energy Jobs: Status, Prospects & Policies**. IRENA Working Paper, 2012. Disponível em: <<https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2012/RenewableEnergyJobs.pdf>>.

IRENA. **Wind power - Renewable energy technologies: cost analysis series.** IRENA Working Paper, Abu Dhabi, Volume 1: power sector Issue 5/5, Jun 2012. Disponível em: <www.irena.org/Publications>. Acesso em: 18 Jul 2020.

IRENA. **Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series: Wind Power.** IRENA Working Paper, Abu Dhabi, Jun 2012a. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2012/Jun/Renewable-Energy-Cost-Analysis---Wind-Power>>. Acesso em: 20 Jun 2020.

IRENA. **Resource Your Source For Renewable Energy Information: Data Methodology.** International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 18 May 2015. Disponível em: <<http://dashboard.irena.org/download/Methodology.pdf>>. Acesso em: 12 Mai 2020.

IRENA. **Renewable energy benefits: Leveraging local capacity for onshore wind.** International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi., 2017. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2017/Jun/Renewable-Energy-Benefits-Leveraging-Local-Capacity-for-Onshore-Wind>>. Acesso em: 8 Mai 2020.

IRENA. **Corporate Sourcing of Renewables: Market and Industry Trends – REmade Index 2018.** International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi. 2018.

IRENA. **Renewable Power Generation Costs in 2017.** Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2018. Disponível em: <www.irena.org/publications>. Acesso em: 20 Jul 2020.

IRENA. **Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2019.** International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jun/IRENA_RE_Jobs_2019-report.pdf>. Acesso em: 8 Mai 2020.

IRENA. **Renewable Power Generation Costs in 2019.** Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2020. Acesso em: 25 Jul 2020.

IRENA. **Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050.** Abu Dhabi: IRENA, 2020a. Disponível em: <www.irena.org/publications>. Acesso em: 18 Ago 2020.

IRENA. **Renewable Capacity Statistics 2020.** Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2020c. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020>>. Acesso em: 1 Set 2020.

IRENA/OECD-IEA/REN21. **Renewable Energy Policies in a Time of Transition.** Abu Dhabi: IRENA/OECD-IEA/REN21, 2018. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2018/Apr/Renewable-energy-policies-in-a-time-of-transition>>. Acesso em: 30 Jul 2020.

IRENA-GWEC. **30 Years of Policies for Wind Energy: Lessons from 12 Wind Energy Markets**, 2012. Disponível em: <https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_gwec_windreport_full.pdf>. Acesso em: 22 Jun 2020.

JENNICHES, S. **Assessing the regional economic impacts of renewable energy sources – A literature review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.008>>. Acesso em: 7 Aug 2020.

KISHORE, R. A.; MARIN, A.; PRIYA, S. **Efficient Direct-Drive Small-Scale Low-Speed Wind Turbine**. Energy Harvesting and Systems, 2014. 27-43. Disponível em: <<https://www.degruyter.com/view/journals/ehs/1/1-2/article-p27.xml>>. Acesso em: 15 Jul 2020.

KNOPKI, R. H.; OLIVEIRA, R. C. D. **Itinerários formativos em energias renováveis e eficiência energética**. 1ª. ed. Brasília: SETEC/MEC: IF Goiano, 2018.

LACAL-ARANTEGUI, R. **Globalization in the wind energy industry: contribution and economic impact of European companies**. Renewable Energy, p. 612-628, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.087>>. Acesso em: 14 Ago 2020.

LACTEC; SCHUBERT, C. **Manual de Avaliação Técnico-Econômica de Empreendimentos Eólico-Elétricos**. Curitiba: COPEL Geração, 2007. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/waltersanchez/INTRO%20E%20EOLICA/Manual%20de%20Avaliacao%20Tecnico%20Economica%20de%20Empreendimentos%20Eolio%20Eletricos.pdf/at_download/file>. Acesso em: 19 Jul 2020.

LAZARD. **Lazard's levelized cost of energy analysis – version 13.0**, Nov 2019. Disponível em: <<https://www.lazard.com/media/451086/lazards-levelized-cost-of-energy-version-130-vf.pdf>>. Acesso em: 5 Ago 2020.

LLERA SASTRESA, E. et al. **Local impact of renewables on employment: Assessment methodology and case study**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, n. 2, 2010. 679-690. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002482>>. Acesso em: 6 Mai 2020.

LOSEKANN, L.; HALLACK, M. **Novas energias renováveis no Brasil: desafios e oportunidades**. In: NEGRI, O. J. A. D.; ARAÚJO, B. C.; BACELETTE, R. IPEA Desafios da nação: artigos de apoio. Brasília: IPEA, v. 2, 2018. p. 631-655. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/180327_desafios_da_nacao_apoio_vol2.pdf>. Acesso em: 10 Jul 2020.

MATHEW, S. **Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics**. Berlin: Springer-Verlag, 2006. Disponível em: <https://www.dolcera.com/wiki/images/Wind_power_energy.pdf>. Acesso em: 6 Jul 2020.

MCGOVERN, G. **The Windskill Initiative: A Systematic Approach to Wind Energy Qualifications**. [S.l.]: IEE - Intelligent Energy Europe, 2009. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/>>. Acesso em: 25 Ago 2020.

MEC/SETEC. **Catálogo Nacional de Cursos Técnicos - versão em atualização**. 4ª. ed. Brasília: MEC, 2020.

MILBORROW, D. **Big turbines push down O&M costs**. Wind Power Monthly, 1 May 2020. Disponível em: <<https://www.windpowermonthly.com/article/1682020/big-turbines-push-down-o-m-costs>>. Acesso em: 6 Ago 2020.

NACELLE-INNOVATIVE OUTCOMES. **Nacelle-Innovative Outcomes: Direction and Rate of Technological Change**. Energy I-SPARK, [2020?]. Disponível em: <<https://ei-spark.lbl.gov/generation/onshore-wind/turb/nacelle/innov/>>. Acesso em: 19 Jul 2020.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **America's Energy Future: Technology and Transformation**. Washington, DC: The National Academies Press, 2009. 736 p. Disponível em: <<http://nap.edu/12091>>. Acesso em: 18 Jun 2020.

PRASABER. **Catálogo Nacional de Cursos Técnicos 2020 – Guia completo**. <https://www.pravaler.com.br/>, 26 Mar 2020. Disponível em: <<https://www.pravaler.com.br/catalogo-nacional-de-cursos-tecnicos-2020-guia-completo/>>. Acesso em: 21 Set 2020.

RAMOS, M. N.; ARAI, D. **Inovação: agenda para a educação**, 3 dez. 2015. Disponível em: <https://www.institutoayrtonsenna.org.br/pt-br/conteudos/Inovao_agenda_para_a_educacao.html>. Acesso em: 23 out. 2019.

RENEWABLEUK. **Working for a Green Britain & Northern Ireland 2013–23: Employment in the UK Wind & Marine Energy Industries**, Sep 2013. Disponível em: <<https://cdn.ymaws.com/www.renewableuk.com/resource/resmgr/publications/reports/working-for-a-greener-britai.pdf>>. Acesso em: 24 Jun 2020.

RENEWABLEUK. **Your career in offshore wind**, London, 19 Jun 2018. Disponível em: <https://cdn.ymaws.com/www.renewableuk.com/resource/resmgr/publications/your_career_in_offshore_wind.pdf>. Acesso em: 14 Ago 2020.

RODRIGUES, S. et al. **A Multi-Objective Optimization Framework for Offshore Wind Farm Layouts and Electric Infrastructures**. Energies, 9, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/298910102_A_Multi-Objective_Optimization_Framework_for_Offshore_Wind_Farm_Layouts_and_Electric_Infrastructures/link/570a800b08ae2eb9421fc1ea/download>. Acesso em: 19 Jul 2020.

ROTTA, F. **Ventos que trazem empregos**. abdi.com.br, Brasília, 28 Mar 2018b. Disponível em: <<https://www.abdi.com.br/postagem/ventos-que-trazem-empregos>>. Acesso em: 11 Mai 2020.

RUTOVITZ, J. . D. E. D. J. **Calculating global energy sector jobs: 2015 methodology update**. Sydney: Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney, 2015.

RUTOVITZ, J.; ATHERTON, A. **Energy sector jobs to 2030: a global analysis. Prepared for Greenpeace International by the Institute for Sustainable Futures**. Sydney: University of Technology, 2009. Disponível em: <<https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/35047/1/rutovitzatherton2009green-jobs.pdf>>. Acesso em: 3 Jul 2020.

SERRANO-GONZÁLEZ, J.; LACAL-ARÁNTEGUI, R. **Technological evolution of onshore wind turbines: a market-based analysis**. Wind Energy, 25 Feb 2016. 19:2171–2187. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/we.1974>>. Acesso em: 19 jul 2020.

SGRE. **Annual Report 2019**. [S.l.]: [s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.siemensgamesa.com/-/media/siemensgamesa/downloads/en/>>. Acesso em: 5 Ago 2020.

SGRE. **Annual Report 2019**, 2020. Disponível em: <<https://www.siemensgamesa.com/-/media/siemensgamesa/downloads/en/>>. Acesso em: 25 Ago 2020.

SHELTON, C. **New GustoMSC jack-up for wind turbines**, 2017. Disponível em: <<https://www.khl.com/international-cranes-and-specialized-transport/new-gustomsc-jack-up-for-wind-turbines/128276.article>>. Acesso em: 24 Ago 2020.

SIEMENS. **A clean energy solution – from cradle to grave - Environmental Product Declaration**. SIEMENS AG. Hamburg. [2020?].

SIMAS, M. S. **Energia Eólica e Desenvolvimento Sustentável no Brasil: Estimativa de Geração de Empregos por meio de uma Matriz de Insumo-Produto Ampliada**. São Paulo: EP/FEA/IEE/IF USP, 2012.

SIMAS, M.; PACCA, S. **Socio-economic Benefits of Wind Power in Brazil**. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Volume 1, Issue 1, 2013. pp. 27-40. Disponível em: <<http://www.sdewes.org/jsdewes/pi2013.01.0003>>. Acesso em: 25 Jun 2020.

SIMAS, M.; PACCA, S. **Assessing employment in renewable energy technologies: A case study for wind power in Brazil**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 31, 2014. pp. 83-90. Disponível em: <[10.1016/j.rser.2013.11.046](https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.046)>. Acesso em: 12 Mai 2020.

SOARES, A. G. B.; SILVA, J. W. M. D.; GONZÁLEZ, M. O. A. **Proposta de aplicação dos princípios lean e ágil na construção de parques eólicos onshore: um estudo de caso**, 2019. Disponível em: <<https://www.brazilwindpower.com.br/content/dam/Informa/brazil-windpower/pt/2020/ebook/AnuarioTrabalhosTecnicosBWP2019.pdf>>. Acesso em: 24 Jun 2020.

US-DOE. **20% Wind Energy by 2030**, Jul 2008. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/41869.pdf>>. Acesso em: 15 Jun 2020.

VESTAS. **Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V117-4.2 MW Wind Plant**. Vestas Wind Systems A/S, Hedeager 42, Aarhus N, 8200, Denmark., 1º Nov 2019. Disponível em: <https://www.vestas.com/~/_media/vestas/about/sustainability/pdfs/lca%20of%20electricity%20production%20from%20an%20onshore%20v11742mw%20wind%20plantfinal.pdf>. Acesso em: 31 Jul 2020.

VESTAS. **Annual Report 2019, 2020**. Disponível em: <https://www.vestas.com/~/_media/vestas/investor/investor%20pdf/financial%20reports/2019/q4/200205_01_annual_report_2019.pdf>. Acesso em: 25 Jul 2020.

WINERGY. **100GW - More than just a number**, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2ZUvXj1>>. Acesso em: 10 Set 2020.

WINERGY. **Wnergy Gearbox Pool**, Mar 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/3kulVMg>>. Acesso em: 19 Set 2020.

WISER, R.; BOLINGER, M. 2018 **Wind Technologies Market Report**. U.S. Department of Energy, Oak Ridge, 2018. Disponível em: <<http://www.osti.gov/scitech>>. Acesso em: 13 Mai 2020.

Wobben Encerra a Produção de Pás Eólicas em Sorocaba. Wobben encerra a produção de pás eólicas em Sorocaba. Jornal Cruzeiro do Sul, Sorocaba, 2 Out 2019. Disponível em: <<https://www.jornalcruzeiro.com.br/sorocaba/wobben-encerra-a-producao-de-pas-eolicas-em-sorocaba/>>. Acesso em: 12 Set 2020.

8. Anexos

8.1. Áreas de competências na indústria eólica

Pesquisa acadêmica, projeto e P&D

- Cargas e aerodinâmica
- Consultoria
- Elétrica/rede (incluindo *software*)
- Tecnologia de aerogeradores

Engenharia de Produção

- Engenharia elétrica/de energia
- Controle de qualidade
- Diagnóstico
- Fabricação de metal
- Usinagem
- Montagem mecânica e elétrica
- Testes e ensaios técnicos

Desenvolvimento de negócios

- Vendas diretas
- Comercialização
- Comunicações

Gerenciamento de projetos, desenvolvimento de projetos e habilidades multidisciplinares

- Gerenciamento de projeto
- Avaliação de recursos energéticos
- Planejamento espacial/consentimento
- Análise de política/regulamentação
- Desenvolvimento e gerenciamento de projetos
- Especialistas jurídicos
- Comunicação

Finanças

- Financiamento de energia eólica
- Financiamento de projetos
- Finanças corporativas

Engenharia de projetos (construção e O&M)

- Engenharia elétrica/de energia
- Engenharia Civil
- Engenharia Mecânica
- Comissionamento
- Manutenção

Ensino e formação profissional

- Serviço e manutenção
- Instalação e comissionamento
- Introdução à energia eólica
- Segurança no parque eólico
- Combate e prevenção de incêndios
- Escalada em torre
- Resgate
- Primeiros socorros

8.2. Ocupações no setor eólico e grau de qualificação

Desenvolvimento do projeto	Fabricação	Construção	O&M	Operações de Apoio
<ul style="list-style-type: none"> - Engenheiros/as de projeto (A) - Especialistas em avaliação de impacto ambiental (A, M) - Especialistas em economia, finanças e risco (A) - Cientistas em clima (A) - Especialistas em impacto social (A) - Advogados/as: contratos de venda/compra de energia, conexão à rede, financiamento, licença de construção (A) - Planejadores/as (permitem monitoramento, alteração e aplicação) (A) - Consultor/a de desenvolvimento fundiário (A) - Negociador/a de uso fundiário (A) - Defesa de interesses (A) - Mediador/a (A) - Representantes de ONGs ambientais e sociais (A, M) - Relações públicas (A) - Profissionais de compras (A, M) - Especialista em avaliação de recursos eólicos (A) - Geógrafos/as (A) 	<ul style="list-style-type: none"> - Engenheiros/as de P&D: projetos elétrico, mecânico, ambiental, computação e energia eólica (A) - Engenheiros/as de <i>software</i> (A, M) - Projetista de cabeça de série: teste de protótipo (A, M) - Mecânica industrial (M) - Engenheiros/as de produção (A) - Técnicos/as de produção (M) - Operários/as de produção (B) - Especialistas em garantia de qualidade de produção (A, M) - Certificadores/as (A) - Profissionais de logística (A, M) - Operadores/as logísticos (B) - Transportadores/as de equipamentos (B) - Profissionais de compras (A, M) - Especialistas em comercialização (A, M) - Pessoal de vendas (A, M) 	<ul style="list-style-type: none"> - Gerentes de projeto (A) - Engenheiros/as elétricos/as, civis e marítimos/as (A) - Instaladores/as de aerogeradores (M) - Eletricistas de construção (M) - Técnico/a em eletricidade (M) - Trabalhador/a da construção civil (M, B) - Inspectores/as de controle de qualidade (M) - Técnicos/as de instrumentação e controle (M) - Desenvolvedores/as de negócios (A) - Engenheiro/a de comissionamento elétrico (A) - Trabalhadores/as de transporte (B) 	<ul style="list-style-type: none"> - Técnico/a eólico, mecânico/a, montador/a de máquinas, instalador/técnico/a em mecatrônica eólica (M, alguns A) - Especialistas em O&M (M) - Técnico/a em eletricidade (M) - Serviço de mecatrônica eólica (M) - Eletricistas de campo (M) 	<ul style="list-style-type: none"> - Formuladores/as de políticas e funcionários/as de agências do governo (A, M) - Empregados/as de associações empresariais e de sociedades profissionais (A, M, B) - Professores/as e instrutores/as (A) - Gerenciamento (A, M) - Administração (A, M, B) - Editores/as e pesquisadores/as científicos (A, M) - Representantes de seguradoras (A, M) - Profissionais de TI (A, M) - Profissionais de recursos humanos (A) - Outros/as profissionais financeiros/as: contadores/as, auditores/as e banqueiros/as (A) - Consultores/as de saúde e segurança (A, M)

A = Alta qualificação - profissional / gerencial

M = Média qualificação - técnico / ofício especializado / supervisão

B = Baixa qualificação - semiqualficado e não qualificado

Fonte: adaptado a partir de (ILO, 2011)

8.3. Níveis de competência e ocupações típicas no setor eólico – exemplos do RH da Vestas

Responsabilidade	Formação	Ocupação	Área/grau de formação	Experiência
Gerência	Superior	Engenheiro/a - Gerente SCADA	Engenharia	Em cargo similar no setor eólico ou indústrias compatíveis (transporte, aeroespacial, telecomunicações, TI, água e controle de resíduos)
		Gerente de projeto	Graduação/ mestrado em engenharia, administração, finanças ou similar	De 3-5 anos de experiência em gestão de grandes projetos de construção; uso de ferramentas de gestão de projetos (PMI, Prince2, Manufatura Enxuta, Six Sigma)
	Técnica ou Superior	Gerente de projeto de serviços	Técnica/graduação superior	Na indústria pesada; em gerenciamento de projetos; em operações e serviços no setor eólico
Liderança de equipe	Superior	Engenheiro/a da qualidade sênior	Graduação ou especialização em engenharia elétrica, mecânica ou hidráulica	Mínimo 5 anos de experiência de trabalho em controle de qualidade em fábrica (Six Sigma etc.)
		Supervisor/a de produção de turno	Graduação ou superior	Mais de três anos de experiência em gestão de manufatura e familiaridade com máquinas de usinagem
	Técnico ou Superior	Supervisor/a de instalação	Graduação em engenharia mecânica ou elétrica (ou compreensão)	Mínimo de 3 anos em liderança de equipes multiculturais
Profissional	Superior	Coordenador/a de projeto	Graduação em ciências, engenharia ou similar	Diversos anos em posição com responsabilidade similar
		Engenheiro/a SCADA II - sênior	Engenharia	Em energia eólica; servidores e certificação Microsoft; fundamentos de rede de computadores e <i>hardware</i> de automação de rede; fibra ótica; terminação e teste de equipamentos
	Técnico ou Superior	Supervisor/a de instalação	Graduação em mecânica ou elétrica (ou compreensão/ experiência)	Mínimo de 3 anos em liderança de equipes multicultural
Trabalho qualificado ou especializado	Técnica	Técnico/a de mecatrônica	Tecnólogo/a em engenharia elétrica; técnico/a em eletrônica, mecatrônica, eletricista ou eletricista qualificado/a	Não requerida
		Técnico/a em SCADA	Eletrônica, mecatrônica, eletricidade industrial	Configuração de redes de computadores; em suporte técnico; automação, protocolos de comunicação e <i>hardware</i> de automação industrial
	Técnico ou Superior	Técnico/a de serviço - eletrônica	Tecnólogo/a na área de engenharia elétrica como técnico/a em eletrônica, mecatrônica, eletricista ou eletricista qualificado/a	Não requerida

Fonte: elaborado pela Cognito a partir de <https://careers.vestas.com/>, acesso em 26/08/2022

8.4. Racional da Survey e da estimativa de empregos

1. Dividir os/as respondentes de acordo com sua posição na cadeia de valor, a saber:

- i. Desenvolvedor/a de projetos eólicos (+ investidores/as, empreendedores/as e geradores/as)
- ii. Fabricação do aerogerador (OEM, nacelle, rotor, torre e cadeia de fornecedores)
- iii. Logística, transporte e instalação - prestadores de serviços
- iv. Construção/instalação descomissionamento de parques eólicos
- v. Operação e Manutenção de parques eólicos
- vi. Ensino/capacitação/treinamento/P&D

2. Em relação à parte de ensino e capacitação, avaliar a melhor abordagem com a GLZ junto ao Senai, escolas técnicas federais e Secretaria de Ensino Técnico do MEC;

3. De forma geral, em cada elo da cadeia de valor, queremos identificar:

- a. Serviços oferecidos pela empresa e por terceiros;
- b. Portfólio de projetos eólicos;
- c. Empregos diretos;
- d. Perfil dos atuais empregados (formação, gênero, faixa etária, faixa salarial, carreiras, áreas funcionais etc.)
- e. Eventos que geram necessidade de contratação; dificuldades na contratação; perfis desejados etc.)
- f. Papel das instituições de ensino/treinamento, sugestão de melhorias e de políticas etc.

g. Tendências e impactos na geração de empregos (tecnologias 4.0, conteúdo local, eólica *offshore* etc.)

4. No caso do elo fabricação do aerogerador, além dos itens gerais, teremos uma abordagem específica de acordo com as seguintes categorias:

- i. Fabricante de aerogerador - OEM
- ii. Fabricação de pás
- iii. Fabricação de torres
- iv. Fabricação de subcomponentes da nacelle, rotor e torre

5. Sabe-se que os fabricantes de aerogeradores (OEM) são os principais agentes da cadeia de valor e detêm a maior parte da tecnologia, das informações técnicas relativas à manufatura, logística e o transporte das peças, instalação, operação e manutenção.

6. Nesse sentido, para esse grupo de respondentes entendeu-se oportuno, direcionar perguntas específicas por áreas distintas:

- a. Estratégia de negócios (pessoas, tecnologia, manufatura e serviços);
- b. Pessoas, organização e treinamento;
- c. Gestão de compras e desenvolvimento de fornecedores
- d. Serviços de logística, transporte e instalação;
- e. Serviços específicos de O&M.

7. Do mesmo modo, foram elaboradas questões específicas para fabricantes de pás eólicas, torres e para a cadeia de fornecedores;

8. Na parte de construção, pretende-se pesquisar as maiores empresas do setor;

9. Na parte de O&M espera-se obter grande parte do diagnóstico por meio das respostas dos executivos dos fabricantes OEM;

10. Dados oficiais por meio do acesso de bases da RAIS.

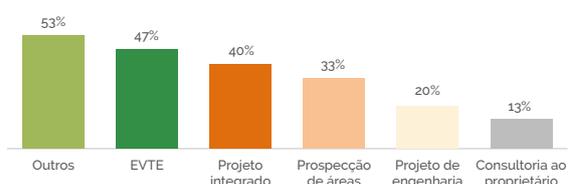
11. Para os empregos indiretos vamos adotar os índices técnicos da tese de mestrado na USP da Moana Simas, de 2012, mas atualizados com dados da Matriz I-O de 2015.

8.5. Perfil das empresas e achados da pesquisa

8.5.1. Desenvolvimento de projetos eólicos

Quase 40% dos/as respondentes da pesquisa realizada se declararam como empresas de desenvolvimento de projetos eólicos. Dentre esses, mais da metade (53%) disseram que os serviços executados para o setor eólico representaram sua principal atividade, e os principais serviços mencionados pelos/as respondentes estão indicados na **Figura 46**.

Figura 46 - Serviços de desenvolvimento para o setor eólico



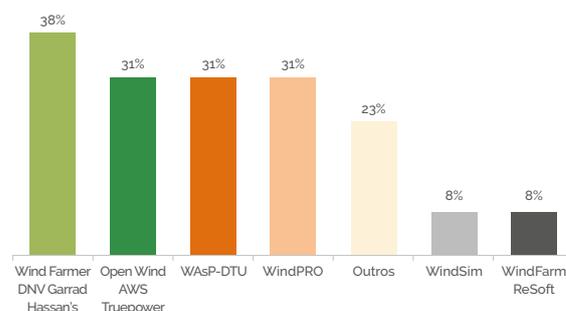
Outros pontos importantes observados são os seguintes:

- todos os/as respondentes que se identificaram como geradores/as, proprietários/as e investidores/as em parques eólicos disseram possuir contratos estendidos de O&M com o fabricante (OEM);
- mas 30% deles também disseram manter contrato com empresa especializada em O&M, cerca de 25% mantêm equipe de gestão própria e cerca de 10% também possuem equipe técnica e de gestão própria para O&M;
- o setor eólico representou quase 60% do faturamento em média nos últimos três anos dos/as respondentes e essa participação deverá continuar para os próximos três anos, conforme expectativas dos/as respondentes;
- os desenvolvedores que responderam à pesquisa foram responsáveis pela instalação de 73 projetos eólicos com capacidade total de 6,4 GW, ou seja, quase 42% da capacidade instalada no país;
- os/as respondentes disseram ter quase 500 projetos no *pipeline* num total de 27,5GW;
- a taxa de conversão média reportada de projetos desenvolvidos pelas empresas respondentes foi de 51%;
- mais de 60% dos projetos foram para o ambiente regulado nos últimos anos;

- a tendência, contudo, é que apenas 14% dos novos projetos sejam endereçados para o ambiente regulado, o que reforça as expectativas de crescimento da contratação de energia eólica no Brasil no mercado livre;
- os/as respondentes indicaram empregar 68g funcionários/as em caráter permanente, o que resultaria de um índice de empregos-ano/MW de 0,11, ligeiramente menor que o índice reportado pela IRENA (2017), uma das referências básicas desse trabalho;
- mais de dois terços dos/as respondentes, quando perguntados sobre a facilidade/dificuldade no processo de contratação de pessoal, declararam como difícil ou muito difícil a contratação de diretores/as, técnicos/as de nível superior, médio ou operacional;
- mais de dois terços relataram que é fácil ou muito fácil a contratação de pessoal administrativo ou na área de pessoas e organização;
- o perfil técnico é mais importante nos níveis operacional e de técnicos/as de nível superior e médio;
- o perfil prático é mais desejado para as funções administrativas e de recursos humanos;
- o perfil generalista é mais importante para as funções de gestão e diretoria;

Os principais *softwares* para o desenvolvimento de projetos mencionados podem ser observados na **Figura 47**.

Figura 47 - Principais softwares de projetos de parques eólicos em uso no Brasil



Outros: ferramenta interna de propriedade intelectual própria; Automalogica

Em relação às principais ocupações, sobre quadros técnicos permanentes e sobre aqueles que, eventualmente podem ser terceirizados, verificou-se que os profissionais das áreas de finanças e economia, de assuntos fundiários, jurídicos, regulação de energia e sistema tributário e em energia eólica são ocupações típicas nos quadros próprios de pessoal das empresas da área.

Cerca de 30%, em média, das empresas respondentes admitem que podem terceirizar engenheiros/as e especialistas em saúde e segurança e meio ambiente e, por sua vez, os/as especialistas em logística, geotecnia e arqueologia são ocupações que são frequentemente terceirizadas.

Os principais eventos que geram a necessidade de contratação nessa área

estão associados com possibilidade de desenvolvimento de projetos em outras áreas de energia renovável, ampliação

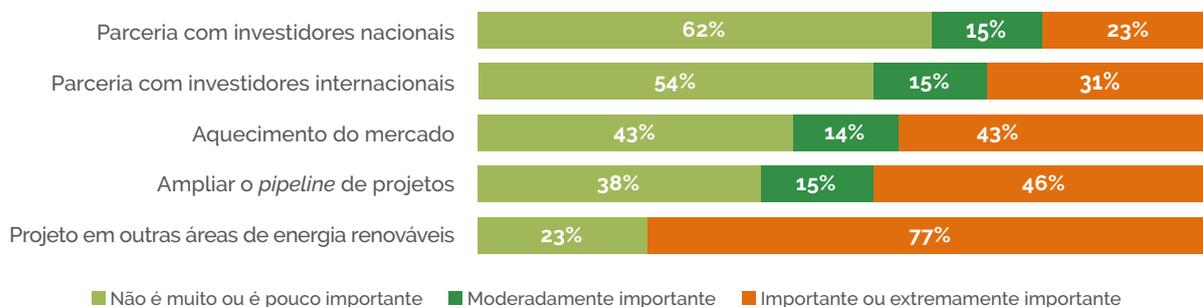
do *pipeline* de projetos e aquecimento do mercado, de forma geral, conforme pode ser visto na **Figura 48**.

Tabela 57 - Principais ocupações na área de desenvolvimento de projetos eólicos

Ocupações típicas em desenvolvimento de projetos	Quadro próprio ou raramente terceirizado	Frequentemente ou ocasionalmente terceirizado
Especialistas em economia e finanças	92%	8%
Especialistas em assuntos fundiários, jurídicos, regulação de energia e sistema tributário	86%	14%
Especialistas em energia eólica	86%	14%
Engenheiros/as elétricos, civis, mecânicos/as e outras especialidades da engenharia	73%	27%
Especialistas em saúde e segurança	79%	21%
Especialistas em meio ambiente	64%	36%
Especialistas em logística	33%	67%
Especialistas em geotecnia	15%	85%

Fonte: pesquisa GIZ-Cognitio

Figura 48 - Gatilhos para a contratação de pessoal na área de desenvolvimento de projetos eólicos



Fonte: pesquisa GIZ-Cognitio

Dentre outros achados da pesquisa para a o segmento de desenvolvimento:

- sobre as competências e qualificações mais importantes para os negócios na contratação de novos funcionários/as, uma "atitude voltada para a solução de problemas" foi considerada fundamental para 100% dos/as respondentes;

- Para mais de dois terços também são importantes a capacidade de comunicação, iniciativa, criatividade, conhecimento técnico, fluência em idiomas e competência em projetos e colaboração virtual;
- credenciais técnicas acadêmicas (STEM *skills*), compreensão de processos de P&D&I e experiência comercial foram

citadas como apenas moderadamente importantes;

- sobre barreiras para a contratação de pessoal qualificado, a oferta insuficiente de candidatos/as qualificados/as pelas instituições de formação superior e de formação técnica foram indicadas como as principais preocupações dos/as respondentes;
- ainda, com pontuação menor, foi mencionado que as instituições locais de formação superior e de formação técnica estão parcialmente qualificadas para atender o setor;
- Dentre as medidas mais importantes para melhorar as competências dos potenciais e futuros/as candidatos/as a emprego permanente no segmento, todos os/as respondentes foram unânimes em relação à necessidade de "mais investimentos em centros de formação técnica especializados nos níveis nacional e regional" e a "formação de alianças entre a indústria eólica e instituições de treinamento técnico";
- A maior parte dos/as respondentes julga importante a padronização do ensino técnico e do treinamento no país e entende que é necessária "mais ênfase em desenvolvimento de habilidades práticas requeridas pelo setor eólico" seguido de "mais ênfase em aspectos técnicos e de engenharia".

8.5.2. Fabricação

Foram 33% os/as respondentes da pesquisa que declararam como empresas envolvidas na fabricação de aerogeradores

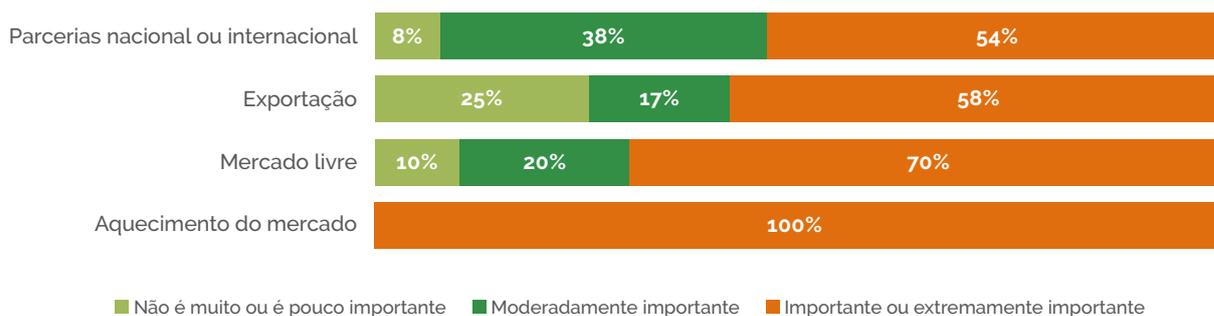
e, dentre esses, metade disse trabalhar em empresas fabricantes OEM e outros 50% da cadeia de fornecedores. Outros pontos importantes observados são os seguintes:

- cerca de 80% das empresas da cadeia disseram fornecer itens para fabricação da nacelle e 60% itens para a fabricação do rotor e torres;
- todos os fabricantes OEM possuem estratégia explícita para a área de O&M, mas não possuem para exportação de aerogeradores a partir do Brasil;
- nos últimos três anos, o setor eólico representou, em média, 28% do faturamento dos fornecedores nacionais de itens para nacelle, rotor e torres, mas a expectativa é que esse valor suba para 36% nos próximos anos e, para esses fornecedores, o grau de nacionalização médio é de 80%;
- cerca de 80% desses fornecedores pretendem exportar a partir do Brasil, tendo exportado cerca de 8% de sua produção nos últimos dois anos, com intenção de ampliar para até 10% em curto e médio prazo, o que denota a competitividade da indústria nacional intramuros;
- a exportação foi citada por quase 60% como um dos principais eventos que geram a necessidade de contratação de pessoal, mas aquecimento do mercado e mercado livre obtiveram muita concordância, conforme pode ser visto na **Figura 49**.
- para alguns produtos informados há cerca de 50% de chances com risco de

substituição por produtos importados, para os quais o preço foi indicado como causa principal para 100% dos/as respondentes, a matéria-prima para 75%

(principalmente ferro e aço) e, para 25%, as questões associadas a problemas de escala econômica;

Figura 49 - Gatilhos para a contratação de pessoal na área de fabricação (OEM, fornecedores de nacelle e torres)



Fonte: pesquisa GIZ-Cognitio

- em média, cerca de 20% dos funcionários/as desses fornecedores estão alocados para produção ao setor eólico, mas a mediana é 10%;
- quase 90% dos/as respondentes declararam atuar de 10 a 12 meses de forma dedicada à produção para o setor eólico e pretendem alocar mais de 25% da sua mão de obra ocupada com o setor;
- os fabricantes típicos de torres eólicas que responderam são 100% dedicados ao setor eólico, incluindo seus funcionários/as, mas exportar não está no alvo destes fabricantes;
- sobre contratação de pessoal qualificado, a falta de *funding* para P&D e pesquisa técnico-científica foi indicada como a principal barreira para as empresas fabricantes de torres de aço, o que, provavelmente, reflete os desafios técnicos associados com torres cada vez mais altas e pesadas;

- a oferta insuficiente de candidatos/as qualificados/as pelas instituições de formação superior também foi citada como a segunda mais importante barreira.

8.5.3. Construção e instalação

O total de respondentes se declarou totalmente dedicado ao elo de construção da cadeia de valor eólica e que o setor passará a ocupar uma parcela significativa do faturamento das empresas, de 45% para quase 70%, conforme pode ser visto na **Figura 50**.

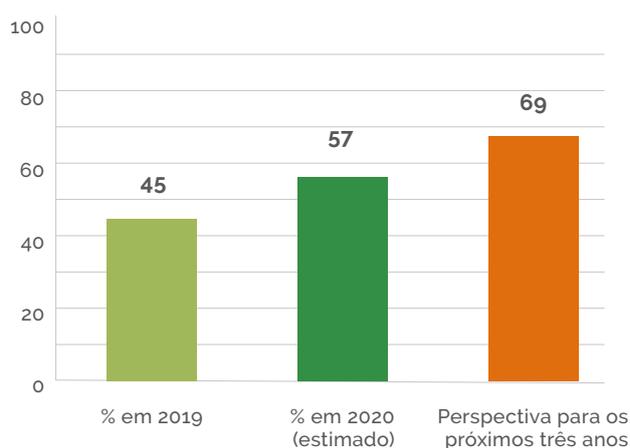
Pode-se afirmar que as empresas respondentes são especializadas e representativas em relação ao conjunto de atividades, técnicas e cronogramas associadas à construção de parques eólicos no Brasil. Outros pontos importantes observados são os seguintes:

- os casos relatados pelos/as respondentes em termos da quantidade de mão de obra utilizada nas obras de construção de

cerca de 17 parques eólicos e um total de 176 aerogeradores e 500 MW de potência instalada;

- as atividades envolveram engenharia (EPC), obras civis relacionadas com a construção de acessos, fundações, subestação do parque e conexão ao grid; serviços elétricos relacionados com cabeamento, subestação e conexão à rede elétrica e comissionamento;
- Quase metade das empresas se declararam como empresa de engenharia com atuação em geotecnia, construção civil e elétrica, e a outra metade como empresa de engenharia com atuação somente em geotecnia e construção civil, além de uma pequena parcela que atua na área de serviços de supervisão de qualidade, instalação e comissionamento;

Figura 50 - Histórico e expectativa de participação do setor eólico no faturamento total das empresas de construção de parques eólicos



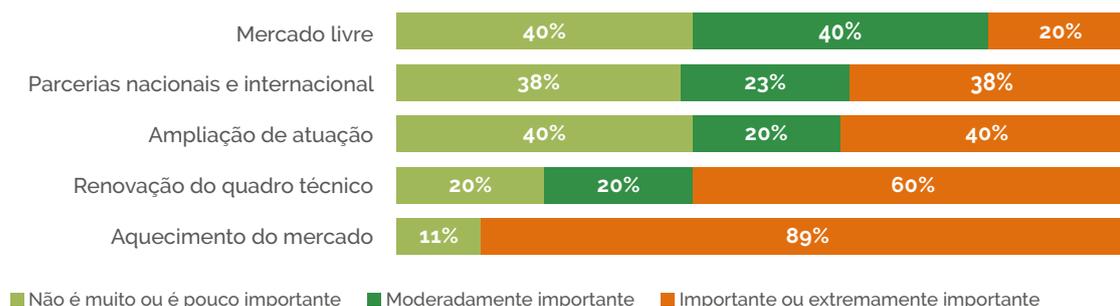
Fonte: pesquisa GIZ-Cognitio

- Os principais eventos que geram a necessidade de contratação nessa área estão associados com aquecimento do mercado, necessidade de renovação do quadro técnico e ampliação de área de atuação e, de forma moderada e importante, destacam-se o mercado livre e a possibilidade de parcerias nacional e internacional, conforme pode ser visto na **Figura 51**;
- mais de 80% dos/as respondentes declararam como difícil ou muito difícil a contratação de diretores/as e técnicos/as de nível superior;
- dois terços relataram que é fácil ou muito fácil a contratação de técnicos/as de nível médio e operacional, e a contratação de pessoal administrativo ou na área de pessoas e organização foi relatada como difícil ou muito difícil por 60%;
- o perfil técnico é, respectivamente, mais importante nas carreiras técnicas de nível superior (75%) e diretoria/gestão e técnica de nível médio (50%);
- o perfil prático é mais desejado para as funções administrativas e operacionais;
- o perfil generalista é mais importante para a função de recursos humanas;
- sobre as competências e qualificações mais importantes para os negócios na contratação de novos funcionários/as, uma "atitude voltada para a solução de problemas", capacidade de comunica-

ção, iniciativa, criatividade, conhecimento técnico e experiência comercial foram consideradas como fundamentais para 100% dos/as respondentes;

• Para 75% também são importantes as credenciais técnicas acadêmicas (STEM *skills*) e a competência em projetos e colaboração virtual;

Figura 51 - Gatilhos para a contratação de pessoal na área de construção e instalação e O&M de parques eólicos



Fonte: pesquisa GIZ-Cognitio

• sobre barreiras para a contratação de pessoal qualificado, a oferta insuficiente de candidatos/as qualificados/as pelas instituições de formação superior e de formação técnica, além de falta de *funding* para P&D e pesquisa técnico-científica foram indicadas como as principais preocupações dos/as respondentes;

e os fornecedores de treinamento técnico, tecnológico e vocacional" e "aumentar o número de professores/instrutores com experiência direta no setor eólico".

8.5.4. O&M – Operação e Manutenção

Metade dos/as respondentes se declarou dedicado ao elo de O&M no setor eólico, com o setor representando cerca de 60% do faturamento médio dessas empresas, com perspectiva de atingir quase 70% nos próximos três anos. Outros pontos importantes observados são os seguintes:

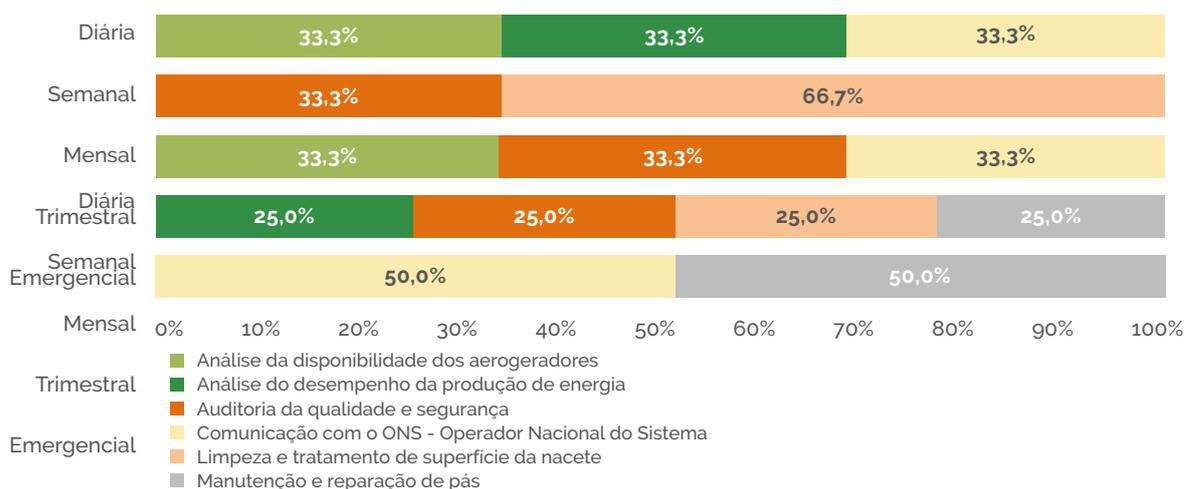
• A maior parte dos/as respondentes julga importante a padronização do ensino técnico e do treinamento no país, com destaque para *"mais ênfase em desenvolvimento e gestão de projeto"*, o que parece razoável em função da complexidade e das características específicas da atividade;

• as empresas respondentes são especializadas e representativas em relação às atividades de O&M do setor eólico, tendo em vista que atendem 182 parques eólicos no Brasil, com quase 6 GW e mais de 2.000 aerogeradores sob contratos de operação e manutenção;

• sobre políticas de educação e treinamento, as políticas com igual peso são: *"promover a transferência de conhecimento entre o setor eólico e instituições acadêmicas"*, *"promover a transferência de conhecimento entre a indústria eólica*

- além disso, possuem diferentes perfis de atuação, tais como empresas de treinamento e capacitação, telecomunicações, geradora, OEM e proprietária de parque eólico, ou seja, compondo distintos grupos de interesse e atuando de forma integrada para o perfeito funcionamento dos ativos sob operação e manutenção;
- a contratação de pessoal nas posições de diretoria e gestão foi indicada por 100% dos/as respondentes como difícil ou muito difícil;
- mais de dois terços relataram que também é difícil ou muito difícil a contratação de técnicos/as de nível médio e operacional;
- a contratação de pessoal administrativo é reconhecida por 100% dos/as respondentes como fácil ou muito fácil, e mais de dois terços também consideram isso em relação aos técnicos/as de nível superior e de recursos humanos;
- o perfil técnico é, respectivamente, mais importante nas carreiras técnicas de nível superior e médio (100%);
- a carreira operacional requer um perfil misto com metade técnico e metade prático;
- o perfil generalista é mais importante para diretoria/gestão e recursos humanos (75%), complementado, respectivamente, com perfis técnico e prático;
- sobre os serviços que ocorrem com mais frequência (rotinas diária, semanal, mensal, trimestral e emergencial), as respostas estão indicadas na **Figura 52**.

Figura 52 - Atividades de O&M mais frequentes na rotina de um parque eólico

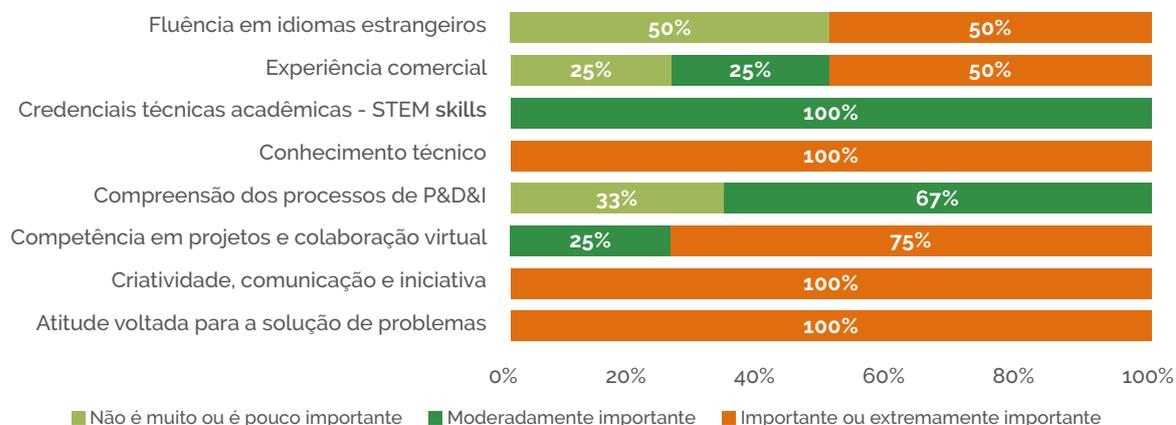


Fonte: pesquisa GIZ-Cognitio

Para 100% dos/as respondentes as competências mais importantes são “*atitude voltada para a solução de problemas*”; conhecimento técnico capacidade de co-

municação, iniciativa, criatividade; e, competência em projetos e colaboração virtual, conforme pode ser visto na **Figura 53**.

Figura 53 - Competências mais importantes para as atividades de O&M



Fonte: pesquisa GIZ-Cognitio

- sobre barreiras à contratação de pessoal qualificado, as instituições locais de formação superior e de formação técnica, segundo os/as respondentes, estão parcialmente qualificadas para atender as necessidades da atividade de O&M;
 - Dentre as medidas mais importantes para melhorar as competências dos/as potenciais e futuros/as candidatos/as a emprego permanente no segmento de O&M estão a *“formação de alianças entre a indústria eólica e instituições de treinamento técnico”* e *“mais investimentos em centros de formação técnica especializados nos níveis nacional e regional”*;
 - A maior parte dos/as respondentes julga importante a padronização do ensino técnico e do treinamento no país, com destaque para *“mais ênfase no desenvolvimento de habilidades práticas requeridas pelo setor eólico”* e *“mais ênfase em aspectos de saúde e segurança”*, o que parece razoável em função da complexidade e das características específicas da atividade, como trabalho em altura, espaço confinado e a combinação de conhecimentos e competências técnicas nas área de mecânica, hidráulica e elétrica;
- Alguns depoimentos apontam visões e recomendações de iniciativas para a melhoria na formação dos futuros profissionais na área

Box 1 - Registros de respondentes sobre especificidades de atuação na área de desenvolvimento de projetos

Desenvolvimento de projetos de parques eólicos

"Acho que é fundamental profissionais com a condição de avaliação sistêmica. Os profissionais de todas as áreas envolvidas precisam entender que não existe uma área sem a outra. O projeto é composto de estudos ambientais, arqueológicos, técnicos etc., e uma parte não existe sobre a outra. Essa importância tem que estar clara para todos os envolvidos".

"O potencial de energia eólica brasileiro ainda foi pouco explorado e o número de profissionais qualificados nesta tecnologia é muito limitado, podendo representar um gargalo para seu crescimento. Acredito que a aproximação da indústria com as instituições de ensino é fundamental para qualificação da mão de obra que será necessária para melhor exploração deste potencial eólico. As empresas do Setor Elétrico são obrigadas a investir em projetos de P&D. A indústria e a ABEEólica poderiam propor projetos voltados para o setor elétrico, a serem financiados pelas empresas".

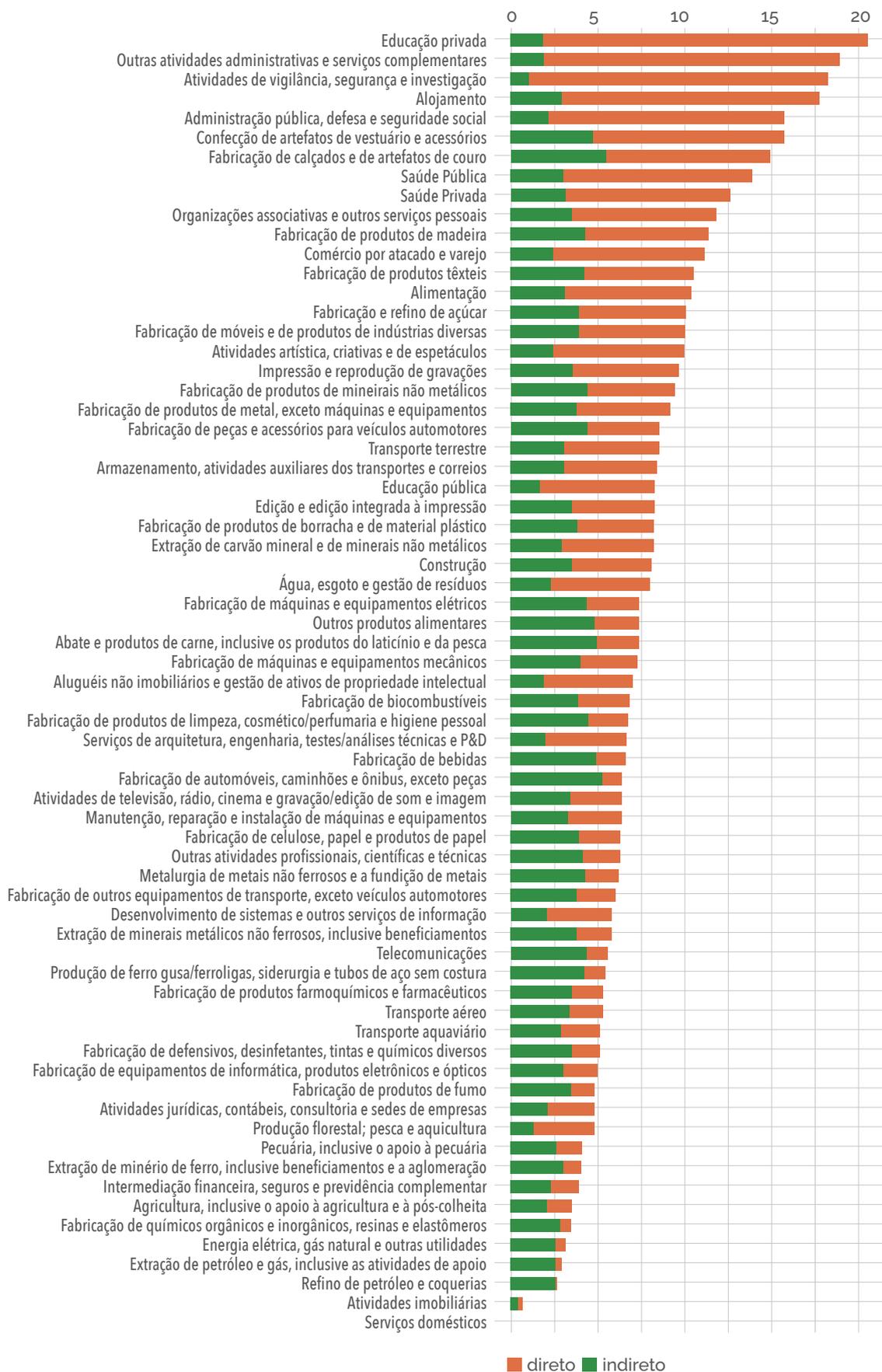
Fabricação de torres

"Estamos tentando desenvolver projeto de torres. Os mecanismos de incentivo existem mais até chegar a conseguir é muito complicado".

Construção e instalação de parques eólicos

"De extrema importância uma pesquisa como essa, pois fomentará toda a cadeia desse segmento. Sobretudo auxiliará uma visão mais ampla do setor".

Fonte: pesquisa GIZ-Cognitio



■ direto ■ indireto

8.7. Quadro dos multiplicadores de empregos diretos, indiretos e totais por milhão de R\$ de vendas, matriz insumo-produto 2015

Setor	Multiplicador direto	Multiplicador indireto	Total
191 - Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e pós-colheita	1,43	2,04	3,47
192 - Pecuária, inclusive apoio à pecuária	1,47	2,6	4,07
280 - Produção florestal; pesca e aquicultura	3,47	1,27	4,74
580 - Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos	5,52	2,95	8,2
680 - Extração de petróleo e gás; inclusive as atividades de apoio	0,37	2,55	2,91
791 - Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração	1,01	3,03	4,04
792 - Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos	1,93	3,84	5,77
1091 - Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	2,39	4,92	7,31
1092 - Fabricação e refino de açúcar	6,14	3,92	10,06
1093 - Outros produtos alimentares	2,55	4,77	7,32
1100 - Fabricação de bebidas	1,71	4,92	6,63
1200 - Fabricação de produtos do fumo	1,31	3,51	4,82
1300 - Fabricação de produtos têxteis	6,22	4,25	10,46
1400 - Confeção de artefatos do vestuário e acessórios	10,99	4,71	15,71
1500 - Fabricação de calçados e de artefatos de couro	9,43	5,5	14,94
1600 - Fabricação de produtos de madeira	7,11	4,21	11,31
1700 - Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	2,29	3,97	6,26
1800 - Impressão e reprodução de gravações	6,15	3,54	9,69
1991 - Refino de petróleo e coquerias	0,1	2,59	2,69

Fonte: elaborado pela Cognitio a partir de análise própria da RAIS de empresas do setor e da MIP 2015

8.8. Empregos diretos e indiretos do cenário de referência proposto

Item / Ano	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Capacidade instalada total (MW)	17646	19694	22312	24929	27547	30164	32782	35399	38217	41034	43852	46670	50245	53820	57395	60970	63270	65570	67870	70170
Capacidade instalada anual (MW)	2.048	2.048	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.817,5	2.817,5	2.817,5	2.818	3.575	3.575	3.575	3.575	2.300	2.300	2.300	2.300
Empregos Diretos	26.202	26.933	33.402	34.337	35.271	36.206	37.140	38.074	41.024	42.030	43.036	44.047	52.679	53.956	55.232	56.508	44.939	45.760	46.581	47.402
Desenvolvimento de projeto eólico	389	389	497	497	497	497	497	497	535	535	535	535	679	679	679	679	437	437	437	437
Fabricação de aerogerador	7935	7935	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.916	10.916	10.916	10.918	13.851	13.851	13.851	13.851	8.911	8.911	8.911	8.911
<i>Nacele</i>	1.951	1.951	2.493	2.493	2.493	2.493	2.493	2.493	2.684	2.684	2.684	2.684	3.405	3.405	3.405	3.405	2.191	2.191	2.191	2.191
<i>Rotor (pás eólicas e cubo)</i>	3.718	3.718	4.752	4.752	4.752	4.752	4.752	4.752	5.115	5.115	5.115	5.116	6.491	6.491	6.491	6.491	4.176	4.176	4.176	4.176
<i>Torres (aços e concreto)</i>	2.155	2.155	2.755	2.755	2.755	2.755	2.755	2.755	2.965	2.965	2.965	2.966	3.762	3.762	3.762	3.762	2.420	2.420	2.420	2.420
<i>Sistema de controle e monitoramento</i>	111	111	141	141	141	141	141	141	152	152	152	152	193	193	193	193	124	124	124	124
Logística e Transporte	594	594	759	759	759	759	759	759	817	817	817	817	1.037	1.037	1.037	1.037	667	667	667	667
Construção e Instalação	10.984	10.984	14.039	14.039	14.039	14.039	14.039	14.039	15.112	15.112	15.112	15.114	19.175	19.175	19.175	19.175	12.336	12.336	12.336	12.336
<i>Construção + EPC</i>	262	262	335	335	335	335	335	335	361	361	361	361	458	458	458	458	294	294	294	294
<i>Preparação do terreno e obras civis</i>	5.804	5.804	7.417	7.417	7.417	7.417	7.417	7.417	7.984	7.984	7.984	7.986	10.131	10.131	10.131	10.131	6.518	6.518	6.518	6.518
<i>Montagem de aerogeradores</i>	2.019	2.019	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	2.778	2.778	2.778	2.778	3.525	3.525	3.525	3.525	2.268	2.268	2.268	2.268
<i>Cabeamento e conexão à rede</i>	2.631	2.631	3.363	3.363	3.363	3.363	3.363	3.363	3.620	3.620	3.620	3.621	4.593	4.593	4.593	4.593	2.955	2.955	2.955	2.955
<i>Comissionamento</i>	268	268	343	343	343	343	343	343	369	369	369	369	468	468	468	468	301	301	301	301
Operação e Manutenção (O&M)	6.300	7.031	7.965	8.900	9.834	10.769	11.703	12.638	13.643	14.649	15.655	16.661	17.938	19.214	20.490	21.766	22.588	23.409	24.230	25.051
Operação (local e remota)	3.831	4.276	4.844	5.412	5.980	6.549	7.117	7.685	8.297	8.908	9.520	10.132	10.908	11.684	12.460	13.236	13.736	14.235	14.734	15.234
Manutenção	2.469	2.755	3.121	3.488	3.854	4.220	4.586	4.952	5.347	5.741	6.135	6.529	7.029	7.530	8.030	8.530	9.173	9.173	9.495	9.817
Empregos indiretos e induzidos	10.056	10.056	12.852	12.852	12.852	12.852	12.852	12.852	13.834	13.834	13.834	13.836	17.553	17.553	17.553	17.553	11.293	11.293	11.293	11.293
Total de empregos	36.258	36.989	46.254	47.189	48.123	49.057	49.992	50.926	54.858	55.864	56.870	57.883	70.233	71.509	72.785	74.061	56.232	57.053	57.874	58.695
Empregos acumulados	36.258	73.247	119.501	166.689	214.812	263.870	313.862	364.788	419.646	475.509	532.379	590.262	660.494	732.003	804.788	878.850	935.082	992.135	1.050.009	1.108.704

8.9. Fator 6,03% - Impacto tecnológico na geração de empregos no setor eólico

Item / Ano	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Capacidade instalada total (MW)	17646	19694	22312	24929	27547	30164	32782	35399	38217	41034	43852	46670	50245	53820	57395	60970	63270	65570	67870	70170
Capacidade instalada anual (MW)	2.048	2.048	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.817,5	2.817,5	2.817,5	2.818	3.575	3.575	3.575	3.575	2.300	2.300	2.300	2.300
Empregos Diretos	25.822	26.509	32.922	33.800	34.678	35.556	36.434	37.312	40.201	41.146	42.092	43.042	51.598	52.797	53.996	55.196	43.557	44.348	45.120	45.892
Desenvolvimento de projeto eólico	389	389	497	497	497	497	497	497	535	535	535	535	679	679	679	679	437	437	437	437
Fabricação de aerogerador	7935	7935	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.916	10.916	10.916	10.918	13.851	13.851	13.851	13.851	8.911	8.911	8.911	8.911
<i>Nacele</i>	1.951	1.951	2.493	2.493	2.493	2.493	2.493	2.493	2.684	2.684	2.684	2.684	3.405	3.405	3.405	3.405	2.191	2.191	2.191	2.191
<i>Rotor (pás eólicas e cubo)</i>	3.718	3.718	4.752	4.752	4.752	4.752	4.752	4.752	5.115	5.115	5.115	5.116	6.491	6.491	6.491	6.491	4.176	4.176	4.176	4.176
<i>Torres (aços e concreto)</i>	2.155	2.155	2.755	2.755	2.755	2.755	2.755	2.755	2.965	2.965	2.965	2.966	3.762	3.762	3.762	3.762	2.420	2.420	2.420	2.420
<i>Sistema de controle e monitoramento</i>	111	111	141	141	141	141	141	141	152	152	152	152	193	193	193	193	124	124	124	124
Logística e Transporte	594	594	759	759	759	759	759	759	817	817	817	817	1.037	1.037	1.037	1.037	667	667	667	667
Construção e Instalação	10.984	10.984	14.039	14.039	14.039	14.039	14.039	14.039	15.112	15.112	15.112	15.114	19.175	19.175	19.175	19.175	12.336	12.336	12.336	12.336
<i>Construção + EPC</i>	262	262	335	335	335	335	335	335	361	361	361	361	458	458	458	458	294	294	294	294
<i>Preparação do terreno e obras civis</i>	5.804	5.804	7.417	7.417	7.417	7.417	7.417	7.417	7.984	7.984	7.984	7.986	10.131	10.131	10.131	10.131	6.518	6.518	6.518	6.518
<i>Montagem de aerogeradores</i>	2.019	2.019	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	2.778	2.778	2.778	2.778	3.525	3.525	3.525	3.525	2.268	2.268	2.268	2.268
<i>Cabeamento e conexão à rede</i>	2.631	2.631	3.363	3.363	3.363	3.363	3.363	3.363	3.620	3.620	3.620	3.621	4.593	4.593	4.593	4.593	2.955	2.955	2.955	2.955
<i>Comissionamento</i>	268	268	343	343	343	343	343	343	369	369	369	369	468	468	468	468	301	301	301	301
Operação e Manutenção (O&M)	5.920	6.607	7.485	8.363	9.241	10.119	10.997	11.876	12.812	13.766	14.711	15.657	16.856	18.005	19.255	20.454	21.225	21.997	22.796	23.540
Operação (local e remota)	3.600	4.018	4.552	5.086	5.620	6.154	6.688	7.222	7.797	8.371	8.946	9.521	10.250	10.980	11.709	12.438	12.908	13.377	13.846	14.315
Manutenção	2.320	2.589	2.933	3.277	3.621	3.966	4.310	4.654	5.024	5.395	5.765	6.136	6.606	7.076	7.546	8.016	8.318	8.620	8.923	9.225
Empregos indiretos e induzidos	10.056	10.056	12.852	12.852	12.852	12.852	12.852	12.852	13.834	13.834	13.834	13.836	17.553	17.553	17.553	17.553	11.293	11.293	11.293	11.293
Total de empregos	35.878	36.565	45.774	46.652	47.530	48.408	49.286	50.164	54.035	54.980	55.926	56.878	69.151	70.350	71.550	72.749	54.870	55.641	56.413	57.185
Empregos acumulados	35.878	72.443	118.217	164.869	212.399	260.807	310.093	360.257	414.292	469.272	525.198	582.076	651.227	721.577	793.127	865.876	920.746	976.387	1.032.800	1.089.985

8.10. Fator 10% - Impacto tecnológico na geração de empregos no setor eólico

Item / Ano	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Capacidade instalada total (MW)	17646	19694	22312	24929	27547	30164	32782	35399	38217	41034	43852	46670	50245	53820	57395	60970	63270	65570	67870	70170
Capacidade instalada anual (MW)	2.048	2.048	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.817,5	2.817,5	2.817,5	2.818	3.575	3.575	3.575	3.575	2.300	2.300	2.300	2.300
Empregos Diretos	25.72	26.230	32.606	33.447	34.288	35.129	35.970	36.811	39.660	40.565	41.470	42.380	50.886	52.034	53.183	54.332	42.680	43.419	44.158	44.897
Desenvolvimento de projeto eólico	389	389	497	497	497	497	497	497	535	535	535	535	679	679	679	679	437	437	437	437
Fabricação de aerogerador	7935	7935	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.916	10.916	10.916	10.918	13.851	13.851	13.851	13.851	8.911	8.911	8.911	8.911
Nacele	1.951	1.951	2.493	2.493	2.493	2.493	2.493	2.493	2.684	2.684	2.684	2.684	3.405	3.405	3.405	3.405	2.191	2.191	2.191	2.191
Rotor (pás eólicas e cubo)	3.718	3.718	4.752	4.752	4.752	4.752	4.752	4.752	5.115	5.115	5.115	5.116	6.491	6.491	6.491	6.491	4.176	4.176	4.176	4.176
Torres (aços e concreto)	2.155	2.155	2.755	2.755	2.755	2.755	2.755	2.755	2.965	2.965	2.965	2.966	3.762	3.762	3.762	3.762	2.420	2.420	2.420	2.420
Sistema de controle e monitoramento	111	111	141	141	141	141	141	141	152	152	152	152	193	193	193	193	124	124	124	124
Logística e Transporte	594	594	759	759	759	759	759	759	817	817	817	817	1.037	1.037	1.037	1.037	667	667	667	667
Construção e Instalação	10.984	10.984	14.039	14.039	14.039	14.039	14.039	14.039	15.112	15.112	15.112	15.114	19.175	19.175	19.175	19.175	12.336	12.336	12.336	12.336
Construção + EPC	262	262	335	335	335	335	335	335	361	361	361	361	458	458	458	458	294	294	294	294
Preparação do terreno e obras civis	5.804	5.804	7.417	7.417	7.417	7.417	7.417	7.417	7.984	7.984	7.984	7.986	10.131	10.131	10.131	10.131	6.518	6.518	6.518	6.518
Montagem de aerogeradores	2.019	2.019	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	2.778	2.778	2.778	2.778	3.525	3.525	3.525	3.525	2.268	2.268	2.268	2.268
Cabeamento e conexão à rede	2.631	2.631	3.363	3.363	3.363	3.363	3.363	3.363	3.620	3.620	3.620	3.621	4.593	4.593	4.593	4.593	2.955	2.955	2.955	2.955
Comissionamento	268	268	343	343	343	343	343	343	369	369	369	369	468	468	468	468	301	301	301	301
Operação e Manutenção (O&M)	5.670	6.328	7.169	8.010	8.851	9.692	10.533	11.374	12.279	13.184	14.090	14.995	16.144	17.292	18.441	19.590	20.329	21.068	21.807	22.546
Operação (local e remota)	3.448	3.448	4.359	4.871	5.382	5.894	6.405	6.917	7.467	8.018	8.568	9.119	9.817	10.516	11.214	11.913	12.362	12.812	13.261	13.710
Manutenção	2.222	2.480	2.809	3.139	3.468	3.798	4.128	4.457	4.812	5.167	5.522	5.876	6.327	6.777	7.227	7.677	7.967	8.256	8.546	8.835
Empregos indiretos e induzidos	10.056	10.056	12.852	12.852	12.852	12.852	12.852	12.852	13.834	13.834	13.834	13.836	17.553	17.553	17.553	17.553	11.293	11.293	11.293	11.293
Total de empregos	35.628	36.286	45.458	46.299	47.140	47.981	48.822	49.663	53.493	54.399	55.304	56.217	68.439	69.587	70.736	71.885	53.973	54.712	55.451	56.190
Empregos acumulados	35.628	71.914	117.371	163.670	210.809	258.790	307.611	357.274	410.768	465.166	520.470	576.687	645.126	714.743	785.449	857.334	911.307	966.019	1.021.471	1.077.661

8.11. Fator 15% - Impacto tecnológico na geração de empregos no setor eólico

Item / Ano	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Capacidade instalada total (MW)	17646	19694	22312	24929	27547	30164	32782	35399	38217	41034	43852	46670	50245	53820	57395	60970	63270	65570	67870	70170
Capacidade instalada anual (MW)	2.048	2.048	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.817,5	2.817,5	2.817,5	2.818	3.575	3.575	3.575	3.575	2.300	2.300	2.300	2.300
Empregos Diretos	25.257	25.879	32.207	33.002	33.796	34.590	35.384	36.179	38.977	39.832	40.687	41.547	49.989	51.074	52.158	53.243	41.551	42.249	42.947	43.645
Desenvolvimento de projeto eólico	389	389	497	497	497	497	497	497	535	535	535	535	679	679	679	679	437	437	437	437
Fabricação de aerogerador	7935	7935	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.141	10.916	10.916	10.916	10.918	13.851	13.851	13.851	13.851	8.911	8.911	8.911	8.911
Nacele	1.951	1.951	2.493	2.493	2.493	2.493	2.493	2.493	2.684	2.684	2.684	2.684	3.405	3.405	3.405	3.405	2.191	2.191	2.191	2.191
Rotor (pás eólicas e cubo)	3.718	3.718	4.752	4.752	4.752	4.752	4.752	4.752	5.115	5.115	5.115	5.116	6.491	6.491	6.491	6.491	4.176	4.176	4.176	4.176
Torres (aços e concreto)	2.155	2.155	2.755	2.755	2.755	2.755	2.755	2.755	2.965	2.965	2.965	2.966	3.762	3.762	3.762	3.762	2.420	2.420	2.420	2.420
Sistema de controle e monitoramento	111	111	141	141	141	141	141	141	152	152	152	152	193	193	193	193	124	124	124	124
Logística e Transporte	594	594	759	759	759	759	759	759	817	817	817	817	1.037	1.037	1.037	1.037	667	667	667	667
Construção e Instalação	10.984	10.984	14.039	14.039	14.039	14.039	14.039	14.039	15.112	15.112	15.112	15.114	19.175	19.175	19.175	19.175	12.336	12.336	12.336	12.336
Construção + EPC	262	262	335	335	335	335	335	335	361	361	361	361	458	458	458	458	294	294	294	294
Preparação do terreno e obras civis	5.804	5.804	7.417	7.417	7.417	7.417	7.417	7.417	7.984	7.984	7.984	7.986	10.131	10.131	10.131	10.131	6.518	6.518	6.518	6.518
Montagem de aerogeradores	2.019	2.019	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	2.778	2.778	2.778	2.778	3.525	3.525	3.525	3.525	2.268	2.268	2.268	2.268
Cabeamento e conexão à rede	2.631	2.631	3.363	3.363	3.363	3.363	3.363	3.363	3.620	3.620	3.620	3.621	4.593	4.593	4.593	4.593	2.955	2.955	2.955	2.955
Comissionamento	268	268	343	343	343	343	343	343	369	369	369	369	468	468	468	468	301	301	301	301
Operação e Manutenção (O&M)	5.355	5.976	6.771	7.565	8.359	9.153	9.948	10.742	11.597	12.452	13.307	14.162	15.247	16.332	17.417	18.501	19.199	19.897	20.595	21.293
Operação (local e remota)	3.256	3.634	4.117	4.600	5.083	5.566	6.049	6.532	7.052	7.572	8.092	8.612	9.272	9.932	10.591	11.251	11.675	12.100	12.524	12.949
Manutenção	2.098	2.342	2.653	2.965	3.276	3.587	3.898	4.210	4.545	4.880	5.215	5.550	5.975	6.400	6.825	7.250	7.524	7.797	8.071	8.344
Empregos indiretos e induzidos	10.056	10.056	12.852	12.852	12.852	12.852	12.852	12.852	13.834	13.834	13.834	13.836	17.553	17.553	17.553	17.553	11.293	11.293	11.293	11.293
Total de empregos	35.313	35.934	45.059	45.854	46.648	47.442	48.236	49.031	52.811	53.666	54.521	55.384	67.542	68.627	69.712	70.796	52.844	53.542	54.240	54.938
Empregos acumulados	35.313	71.247	116.306	162.160	208.808	256.250	304.486	353.517	406.328	459.995	514.516	569.900	637.442	706.068	775.780	846.576	899.420	952.962	1.007.201	1.062.139

8.12. Caso 1-pessimista: redução em 50% no índice de nacionalização e impacto nos empregos do setor eólico

Item / Ano	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Capacidade instalada total (MW)	17646	19694	22.312	24.929	27.547	30.164	32.782	35.399	38.217	41.034	43.852	46.670	50.245	53.820	57.395	60.970	63.270	65.570	67.870	70.170
Capacidade instalada anual (MW)	2.048	2.048	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.817,5	2.817,5	2.817,5	2.818	3.575	3.575	3.575	3.575	2.300	2.300	2.300	2.300
Empregos Diretos	22.235	22.966	28.331	29.266	30.200	31.135	32.069	33.004	35.566	36.572	37.577	38.587	45.754	47.030	48.306	49.583	40.483	41.304	42.125	42.947
Desenvolvimento de projeto eólico	389	389	497	497	497	497	497	497	535	535	535	535	679	679	679	679	437	437	437	437
Fabricação de aerogerador	3.967	3.967	5.071	5.071	5.071	5.071	5.071	5.071	5.458	5.458	5.458	5.459	6.926	6.926	6.926	6.926	4.456	4.456	4.456	4.456
<i>Nacele</i>	975	975	1.247	1.247	1.247	1.247	1.247	1.247	1.342	1.342	1.342	1.342	1.703	1.703	1.703	1.703	1.095	1.095	1.095	1.095
<i>Rotor (pás eólicas e cubo)</i>	1.859	1.859	2.376	2.376	2.376	2.376	2.376	2.376	2.558	2.558	2.558	2.558	3.245	3.245	3.245	3.245	2.088	2.088	2.088	2.088
<i>Torres (aços e concreto)</i>	1.078	1.078	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.483	1.483	1.483	1.483	1.881	1.881	1.881	1.881	1.210	1.210	1.210	1.210
<i>Sistema de controle e monitoramento</i>	55	55	71	71	71	71	71	71	76	76	76	76	97	97	97	97	62	62	62	62
Logística e Transporte	594	594	759	759	759	759	759	759	817	817	817	817	1.037	1.037	1.037	1.037	667	667	667	667
Construção e Instalação	10.984	10.984	14.039	14.039	14.039	14.039	14.039	14.039	15.112	15.112	15.112	15.114	19.175	19.175	19.175	19.175	12.336	12.336	12.336	12.336
<i>Construção + EPC</i>	262	262	335	335	335	335	335	335	361	361	361	361	458	458	458	458	294	294	294	294
<i>Preparação do terreno e obras civis</i>	5.804	5.804	7.417	7.417	7.417	7.417	7.417	7.417	7.984	7.984	7.984	7.986	10.131	10.131	10.131	10.131	6.518	6.518	6.518	6.518
<i>Montagem de aerogeradores</i>	2.019	2.019	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	2.778	2.778	2.778	2.778	3.525	3.525	3.525	3.525	2.268	2.268	2.268	2.268
<i>Cabeamento e conexão à rede</i>	2.631	2.631	3.363	3.363	3.363	3.363	3.363	3.363	3.620	3.620	3.620	3.621	4.593	4.593	4.593	4.593	2.955	2.955	2.955	2.955
<i>Comissionamento</i>	268	268	343	343	343	343	343	343	369	369	369	369	468	468	468	468	301	301	301	301
Operação e Manutenção (O&M)	6.300	7.031	7.965	8.900	9.834	10.769	11.703	12.638	13.643	14.649	15.655	16.661	17.938	19.214	20.490	21.766	22.588	23.409	24.230	25.051
Operação (local e remota)	3.831	4.276	4.844	5.412	5.980	6.549	7.117	7.685	8.297	8.908	9.520	10.132	10.908	11.684	12.460	13.236	13.736	14.235	14.734	15.234
Manutenção	2.469	2.755	3.121	3.488	3.854	4.220	4.586	4.952	5.347	5.741	6.135	6.529	7.029	7.530	8.030	8.530	8.852	9.173	9.495	9.817
Empregos indiretos e induzidos	10.056	10.056	12.852	12.852	12.852	12.852	12.852	12.852	13.834	13.834	13.834	13.836	17.553	17.553	17.553	17.553	11.293	11.293	11.293	11.293
Total de empregos	32.290	33.021	41.183	42.118	43.052	43.987	44.921	45.856	49.400	50.405	51.411	52.424	63.307	64.583	65.860	67.136	51.776	52.597	53.418	54.240
Empregos acumulados	32.290	65.312	106.495	148.613	191.665	235.662	280.573	326.429	375.828	426.234	477.645	530.069	593.376	657.959	723.819	790.954	842.731	895.328	948.746	1.002.986

8.13. Caso 2-possível: redução em 12,5% no índice de nacionalização e impacto nos empregos do setor eólico

Item / Ano	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Capacidade instalada total (MW)	17646	19694	22.312	24.929	27.547	30.164	32.782	35.399	38.217	41.034	43.852	46.670	50.245	53.820	57.395	60.970	63.270	65.570	67.870	70.170
Capacidade instalada anual (MW)	2.048	2.048	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.817,5	2.817,5	2.817,5	2.818	3.575	3.575	3.575	3.575	2.300	2.300	2.300	2.300
Empregos Diretos	26.698	27.429	34.036	34.970	35.905	36.839	37.774	38.708	41.706	42.712	43.718	44.729	53.545	54.821	56.098	57.374	45.496	46.317	47.138	47.959
Desenvolvimento de projeto eólico	389	389	497	497	497	497	497	497	535	535	535	535	679	679	679	679	437	437	437	437
Fabricação de aerogerador	6.943	6.943	8.874	8.874	8.874	8.874	8.874	8.874	9.552	9.552	9.552	9.554	12.120	12.120	12.120	12.120	7.797	7.797	7.797	7.797
<i>Nacele</i>	1.707	1.707	2.182	2.182	2.182	2.182	2.182	2.182	2.348	2.348	2.348	2.349	2.980	2.980	2.980	2.980	1.917	1.917	1.917	1.917
<i>Rotor (pás eólicas e cubo)</i>	3.254	3.254	4.158	4.158	4.158	4.158	4.158	4.158	4.476	4.476	4.476	4.477	5.679	5.679	5.679	5.679	3.654	3.654	3.654	3.654
<i>Torres (aços e concreto)</i>	1.886	1.886	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.410	2.594	2.594	2.594	2.595	3.292	3.292	3.292	3.292	2.118	2.118	2.118	2.118
<i>Sistema de controle e monitoramento</i>	97	97	124	124	124	124	124	124	133	133	133	133	169	169	169	169	109	109	109	109
Logística e Transporte	594	594	759	759	759	759	759	759	817	817	817	817	1.037	1.037	1.037	1.037	667	667	667	667
Construção e Instalação	10.984	10.984	14.039	14.039	14.039	14.039	14.039	14.039	15.112	15.112	15.112	15.114	19.175	19.175	19.175	19.175	12.336	12.336	12.336	12.336
<i>Construção + EPC</i>	262	262	335	335	335	335	335	335	361	361	361	361	458	458	458	458	294	294	294	294
<i>Preparação do terreno e obras civis</i>	5.804	5.804	7.417	7.417	7.417	7.417	7.417	7.417	7.984	7.984	7.984	7.986	10.131	10.131	10.131	10.131	6.518	6.518	6.518	6.518
<i>Montagem de aerogeradores</i>	2.019	2.019	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	2.778	2.778	2.778	2.778	3.525	3.525	3.525	3.525	2.268	2.268	2.268	2.268
<i>Cabeamento e conexão à rede</i>	2.631	2.631	3.363	3.363	3.363	3.363	3.363	3.363	3.620	3.620	3.620	3.621	4.593	4.593	4.593	4.593	2.955	2.955	2.955	2.955
<i>Comissionamento</i>	268	268	343	343	343	343	343	343	369	369	369	369	468	468	468	468	301	301	301	301
Operação e Manutenção (O&M)	6.300	7.031	7.965	8.900	9.834	10.769	11.703	12.638	13.643	14.649	15.655	16.661	17.938	19.214	20.490	21.766	22.588	23.409	24.230	25.051
Operação (local e remota)	3.831	4.276	4.844	5.412	5.980	6.549	7.117	7.685	8.297	8.908	9.520	10.132	10.908	11.684	12.460	13.236	13.736	14.235	14.734	15.234
Manutenção	2.469	2.755	3.121	3.488	3.854	4.220	4.586	4.952	5.347	5.741	6.135	6.529	7.029	7.530	8.030	8.530	8.852	9.173	9.495	9.817
Empregos indiretos e induzidos	10.056	10.056	12.852	12.852	12.852	12.852	12.852	12.852	13.834	13.834	13.834	13.836	17.553	17.553	17.553	17.553	11.293	11.293	11.293	11.293
Total de empregos	35.266	35.997	44.986	45.921	46.855	47.790	48.724	49.659	53.493	54.499	55.505	56.518	68.501	69.777	71.054	72.330	55.118	55.939	56.760	57.581
Empregos acumulados	35.266	71.263	116.249	162.170	209.026	256.815	305.539	355.198	408.691	463.191	518.696	575.214	643.745	713.492	784.546	856.876	911.994	967.933	1.024.693	1.082.274

8.14. Caso 3-otimista: ampliação em 6,25% no índice de nacionalização e impacto nos empregos do setor eólico

Item / Ano	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Capacidade instalada total (MW)	17.646	19.694	22.312	24.929	27.547	30.164	32.782	35.399	38.217	41.034	43.852	46.670	50.245	53.820	57.395	60.970	63.270	65.570	67.870	70.170
Capacidade instalada anual (MW)	2.048	2.048	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.617,5	2.817,5	2.817,5	2.817,5	2.818	3.575	3.575	3.575	3.575	2.300	2.300	2.300	2.300
Empregos Diretos	26.698	27.429	34.036	34.970	35.905	36.839	37.774	38.708	41.706	42.712	43.718	44.729	53.545	54.821	56.098	57.374	45.496	46.317	47.138	47.959
Desenvolvimento de projeto eólico	389	389	497	497	497	497	497	497	535	535	535	535	679	679	679	679	437	437	437	437
Fabricação de aerogerador	8.431	8.431	10.775	10.775	10.775	10.775	10.775	10.775	11.599	11.599	11.599	11.601	14.717	14.717	14.717	14.717	9.468	9.468	9.468	9.468
Nacele	2.073	2.073	2.649	2.649	2.649	2.649	2.649	2.649	2.851	2.851	2.851	2.852	3.618	3.618	3.618	3.618	2.328	2.328	2.328	2.328
Rotor (pás eólicas e cubo)	3.951	3.951	5.049	5.049	5.049	5.049	5.049	5.049	5.435	5.435	5.435	5.436	6.896	6.896	6.896	6.896	4.437	4.437	4.437	4.437
Torres (aços e concreto)	2.290	2.290	2.927	2.927	2.927	2.927	2.927	2.927	3.150	3.150	3.150	3.151	3.997	3.997	3.997	3.997	2.572	2.572	2.572	2.572
Sistema de controle e monitoramento	118	118	150	150	150	150	150	150	162	162	162	162	205	205	205	205	132	132	132	132
Logística e Transporte	594	594	759	759	759	759	759	759	817	817	817	817	1.037	1.037	1.037	1.037	667	667	667	667
Construção e Instalação	10.984	10.984	14.039	14.039	14.039	14.039	14.039	14.039	15.112	15.112	15.112	15.114	19.175	19.175	19.175	19.175	12.336	12.336	12.336	12.336
Construção + EPC	262	262	335	335	335	335	335	335	361	361	361	361	458	458	458	458	294	294	294	294
Preparação do terreno e obras civis	5.804	5.804	7.417	7.417	7.417	7.417	7.417	7.417	7.984	7.984	7.984	7.986	10.131	10.131	10.131	10.131	6.518	6.518	6.518	6.518
Montagem de aerogeradores	2.019	2.019	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	2.778	2.778	2.778	2.778	3.525	3.525	3.525	3.525	2.268	2.268	2.268	2.268
Cabeamento e conexão à rede	2.631	2.631	3.363	3.363	3.363	3.363	3.363	3.363	3.620	3.620	3.620	3.621	4.593	4.593	4.593	4.593	2.955	2.955	2.955	2.955
Comissionamento	268	268	343	343	343	343	343	343	369	369	369	369	468	468	468	468	301	301	301	301
Operação e Manutenção (O&M)	6.300	7.031	7.965	8.900	9.834	10.769	11.703	12.638	13.643	14.649	15.655	16.661	17.938	19.214	20.490	21.766	22.588	23.409	24.230	25.051
Operação (local e remota)	3.831	4.276	4.844	5.412	5.980	6.549	7.117	7.685	8.297	8.908	9.520	10.132	10.908	11.684	12.460	13.236	13.736	14.235	14.734	15.234
Manutenção	2.469	2.755	3.121	3.488	3.854	4.220	4.586	4.952	5.347	5.741	6.135	6.529	7.029	7.530	8.030	8.530	8.852	9.173	9.495	9.817
Empregos indiretos e induzidos	10.056	10.056	12.852	12.852	12.852	12.852	12.852	12.852	13.834	13.834	13.834	13.836	17.553	17.553	17.553	17.553	11.293	11.293	11.293	11.293
Total de empregos	36.754	37.486	46.888	47.822	48.757	49.691	50.626	51.560	55.540	56.546	57.552	58.565	71.098	72.375	73.651	74.927	56.789	57.610	58.431	59.252
Empregos acumulados	36.754	74.239	121.127	168.949	217.706	267.397	318.023	369.583	425.123	481.669	539.221	597.786	668.884	741.259	814.910	889.837	946.626	1.004.236	1.062.667	1.121.919

8.14. Tipos de informação sobre carreiras no setor eólico e fontes da pesquisa.

Tipo de Informação	Fontes / Estratégias
Título da profissão / ocupação e título alternativo	Adaptação dos títulos do mapa americano, procurando seguir a CBO, e com revisão por empresas do setor
Nível (avançado, médio ou entrada)	Com base no mapa americano e respeitando o nível de formação/ experiência requerido para aquela ocupação pela CBO
Ocupações similares	São apresentadas ocupações similares conforme a CBO
Descrição principal	Adaptação da descrição no mapa americano, com base no mapeamento da cadeia produtiva da ABDI, pesquisas secundárias, descrições da CBO, e revisão das empresas
Descrição complementar – perfil geral	É a descrição mais geral para a ocupação conforme CBO - Descrição Sumária
Descrição complementar – Condições gerais de exercício	É a descrição das condições gerais de exercício para a ocupação conforme CBO - Condições gerais de exercício.
Nível de educação / treinamento mínimo requerido	É a descrição do nível mínimo requerido para a ocupação conforme CBO - Formação e experiência
Nível de educação / treinamento desejado	Informado pelas empresas
Experiência (anos)	Informado pelas empresas ou com base no mapa americano
Média salarial FIPE	Salário médio inicial calculado com base em contratações realizadas em 2017 para CBO específica; informação obtida no <i>site</i> da FIPE (http://www.salarios.org.br/#/salariometro).
Faixa salarial empresas do setor	Faixa salarial com base no salário bruto médio mensal informados pelas empresas do setor eólico
Competências pessoais	São as competências pessoais para a ocupação conforme CBO (GACS / Atividades / Z / Demonstrar Competências Pessoais)
Competências adicionais	São competências adicionais específicas da atividade/ocupação no contexto do setor eólico
Progressão / transição de carreira	Com base no mapa americano e nas contribuições das empresas do setor eólico, são listados movimentos de possíveis progressões na carreira para cada ocupação e o que seria necessário para este avanço

CRIAÇÃO DE EMPREGOS DO SETOR SOLAR BRASILEIRO

Estimativas em curto, médio e longo prazo



Por meio da

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

**Profissionais
do Futuro**

**energia
do futuro**

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO

