

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS - CCSA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA - PIMES  
DOUTORADO EM ECONOMIA

**Frederico de Moraes Bezerra**

# **Energias Renováveis e Empregos: Três análises sobre efeitos e integração de políticas**

Recife-PE

2022

Frederico de Moraes Bezerra

**Energias Renováveis e Empregos: Três análises sobre  
efeitos e integração de políticas**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia do Departamento de Economia da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Economia.

*Linha de pesquisa:*  
Teoria Econômica

Orientador

Francisco de Sousa Ramos

Recife-PE

2022

Catálogo na Fonte  
Bibliotecária Ângela de Fátima Correia Simões, CRB4-773

B574e Bezerra, Frederico de Moraes  
Energias renováveis e empregos: três análises sobre efeitos e integração de políticas / Frederico de Moraes Bezerra. – 2022.  
96 folhas: il. 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Sousa Ramos.  
Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal de Pernambuco, CCSA, 2022.  
Inclui referências.

1. Energia renovável. 2. Empregos – oportunidades de emprego. 3. Energia sustentável. I. Ramos, Francisco de Sousa (Orientador). II. Título.

336 CDD (22. ed.) UFPE (CSA 2022 – 028)

**FREDERICO DE MORAES BEZERRA**

**ENERGIAS RENOVÁVEIS E EMPREGOS: TRÊS ANÁLISES SOBRE  
EFEITOS E INTEGRAÇÃO DE POLÍTICAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia do Departamento de Economia da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Economia.

Aprovado em 10/03/2022

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Francisco de Sousa Ramos (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. João Policarpo Rodrigues Lima (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Paulo Glicio da Rocha (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>o</sup>. Dra. Silvinha Pinto Vasconcelos (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Eduardo de Aguiar Sodre (Examinador Externo)  
Universidade de Pernambuco

Este trabalho é dedicado à minha amada esposa Joanna Barros Lira Alvares de Albuquerque Bezerra e à minha amada filha Ellis de Moraes Bezerra Lira.

# Agradecimentos

Ao eterno Deus seja a honra e a glória, por Cristo Jesus. À compreensão e estímulos bem presentes da minha esposa e da pequena princesinha Lilis. Aos meus pais, que exemplificaram-me sobre a prática da persistência. Também a todos que contribuíram para que o trabalho fosse concluído, em especial, ao professor Francisco de Souza Ramos, ao qual reitero minha gratidão.

À Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, os meus sinceros agradecimentos, especialmente aos colegas da CGCP/DPLAN Renato Vaz, Paula Aragão, Isis Guimarães, Danilo Cesar, Teresa Barbosa, Aildo Sabino, Joyce Queiroz e Elba Pereira.

Agradeço ainda ao programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Pernambuco, por oferecer um curso alinhado ao desenvolvimento científico brasileiro.

*“Mas a vereda dos justos é como a luz da aurora,  
que vai brilhando mais e mais até ser dia perfeito“*

Provérbios 4, 18

## RESUMO

A corrida mundial pelo *net zero*, reforçada na COP26, inseriu o mercado de energias renováveis em um dos mais promissores a atrair investimentos até 2050. Para alguns países em desenvolvimento com vocação para energias renováveis, este volume de recursos pode gerar um impulso ao desenvolvimento socio-econômico local. Para alcançar este objetivo, torna-se relevante a consideração de aspectos sociais nas políticas energéticas. Dentre os temas sociais, as dinâmicas de empregos têm chamado grande atenção de formuladores de política e da academia, tanto pelas perdas potenciais de empregos de fontes de combustíveis fósseis como pelo incremento através das fontes sustentáveis. Esta tese busca preencher parte do espaço existente na literatura empírica que analisa a relação entre energias renováveis e empregos. Para isso, serão realizadas três ensaios sobre o tema aplicado ao Brasil. O primeiro ensaio objetiva avaliar a contribuição de plantas de geração eólica para criação de empregos em nível local no semiárido brasileiro. O segundo propõe uma metodologia de planejamento da expansão da geração brasileira considerando a criação de empregos entre as diferentes tecnologias de geração. O terceiro ensaio utiliza dados primários de plantas de geração de energia eólica e solar fotovoltaica existentes no Brasil para estimar multiplicadores de empregos nacionais das fontes de geração.

*Palavras-chave:* Energias Renováveis, Empregos, Planejamento Sustentável.

## ABSTRACT

The global race for net zero, reinforced at COP26, has made the renewable energy market one of the most promising to attract investment by 2050. For some developing countries with a vocation for renewable energies, this volume of resources can generate a boost to the local socio-economic development, being strengthened with the consideration of social aspects in energy policies. Among the social issues in the hole of energy sector, job dynamics have drawn great attention from policymakers and academia, both due to potential job losses from fossil fuel sources and the increase through sustainable sources. This thesis seeks to fill part of the existing space in the empirical literature that analyzes the relationship between renewable energies and jobs. For this, three essays will be carried out. The first essay aims to evaluate the contribution of wind generation plants to job creation at a local level in the Brazilian semiarid region. The second proposes a methodology for planning the expansion of the Brazilian generation considering the creation of jobs among the different generation technologies. The third essay uses primary data from existing wind and solar photovoltaic power plants in Brazil to estimate national employment multipliers from generation sources.

*Keywords:* Renewable Energy, Job creation, Sustainable Planning.

# Lista de Figuras

Figura. 1:	Capacidade Instalada de Geração Eólica (MW) (IRENA, 2020a) . . . . .	21
Figura. 2:	IDHM dos municípios pertencentes ao Semiárido brasileiro . . . . .	21
Figura. 3:	Investimentos em geração eólica financiado pelo BNDES - Brasil e Nordeste - 2006-2019 (dados primários do BNDES) . . . . .	23
Figura. 4:	Resultado do Método para Empregos . . . . .	30
Figura. 5:	Resultado do Método para Empregos . . . . .	30
Figura. 6:	Resultado do Método para Renda . . . . .	32
Figura. 7:	Resultado do Método para Renda . . . . .	32
Figura. 8:	Teste de Robustez - Parazinho RN . . . . .	34
Figura. 9:	Teste de Robustez - João Câmara RN . . . . .	35
Figura. 10:	Teste de Robustez - Igaporã BA . . . . .	36
Figura. 11:	Teste de Robustez - Guanambi BA . . . . .	37
Figura. 12:	Expansão Projetada PDE 2030 (EPE) . . . . .	41
Figura. 13:	Resultados da Expansão na Capacidade Instalada (MW) por fonte de geração (horizonte 2030) . . . . .	54
Figura. 14:	Matriz Elétrica em 2030 para cada modelo simulado . . . . .	55
Figura. 15:	Expansão da Capacidade Instalada (MW) das fontes Solar e Eólica para cada modelo . . . . .	56
Figura. 16:	Criação de postos de trabalho - horizonte 2030 . . . . .	57
Figura. 17:	Custo Global da Expansão - MM R\$ e R\$/MWh . . . . .	58
Figura. 18:	Evolução da geração eólica e solar . . . . .	61
Figura. 19:	Volume contratado e preço médio dos últimos três leilões de energia nova . . . . .	62
Figura. 20:	Fluxograma com aplicação das metodologias . . . . .	65
Figura. 21:	Aplicação da visão de insumo-produto . . . . .	66
Figura. 22:	Fatores de Emprego Diretos para Energia Eólica e Solar - Base de dados do FDNE . . . . .	71
Figura. 23:	Projeção de Empregos de O&M e C&I - Total . . . . .	77
Figura. 24:	Resultados outros municípios - Empregos . . . . .	89

Figura. 25:	Resultados outros municípios - Renda . . . . .	89
Figura. 26:	Testes de Placebo para Empregos . . . . .	90
Figura. 27:	Testes de Placebo para Renda . . . . .	91

# Lista de Tabelas

Tabela. 1:	Municípios de tratamento: População estimada, Índice Gini e IDHM . . . . .	28
Tabela. 2:	P-valor para Empregos . . . . .	31
Tabela. 3:	P-valor para renda . . . . .	33
Tabela. 4:	Fatores de Emprego considerados, valores referenciados por Rutowitz (RUTOVITZ; DOMINISH; DOWNES, 2015) . . . . .	51
Tabela. 5:	Insumos para construção e instalação de gerador eólico de 1 MW (IRENA, 2017a) . . . . .	69
Tabela. 6:	Insumos para construção e instalação de gerador solar fotovoltaico de 1 MW (IRENA, 2017b) . . . . .	70
Tabela. 7:	Energia Eólica - Revisão de literatura para Índices de Emprego Direto . . . . .	73
Tabela. 8:	Energia Solar Fotovoltaica - Revisão da literatura para Índices de Emprego Direto . . . . .	74
Tabela. 9:	Fator de Empregos Indireto - Eólica . . . . .	75
Tabela. 10:	Fator de Empregos Indireto - Solar Fotovoltaica . . . . .	75
Tabela. 11:	Novos Empregos até 2030 - Solar e Eólica . . . . .	78
Tabela. 12:	Preditores de Empregos antes da intervenção - Parazinho RN . .	92
Tabela. 13:	Preditores de Empregos antes da intervenção - João Câmara RN	92
Tabela. 14:	Preditores de Empregos antes da intervenção - Igaporã BA . . .	93
Tabela. 15:	Preditores de Empregos antes da intervenção - Guanambi BA . .	93
Tabela. 16:	Dados das usinas consideradas - Eólica . . . . .	94
Tabela. 17:	Dados das usinas consideradas - Solar Fotovoltaica . . . . .	94
Tabela. 18:	Dados das indústrias de insumos - Eólica . . . . .	95
Tabela. 19:	Dados das indústrias de insumos - Solar Fotovoltaica . . . . .	95
Tabela. 20:	Dados das usinas consideradas - Eólica . . . . .	96
Tabela. 21:	Dados das usinas consideradas - Solar Fotovoltaica . . . . .	96

# Lista de abreviaturas e siglas

IRENA - Agência Internacional de Energias Renováveis

IEA - Agência Internacional de Energia

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

EPE - Empresa de Planejamento Energético

PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

RAIS - Relação Anual de Informações Sociais

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

TCU - Tribunal de Contas da União

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

FNE - Fundo Constitucional do Nordeste

FDNE - Fundo do Desenvolvimento do Nordeste

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

IFEG - Índice de Fator de Empregos Global

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>16</b>
1.1	Organização do trabalho . . . . .	17
<b>2</b>	<b>Os ventos que geram energia também geram empregos localmente?</b>	<b>19</b>
2.1	Introdução . . . . .	19
2.2	Metodologia . . . . .	23
2.2.1	O método de Controle Sintético . . . . .	23
2.2.2	Dados . . . . .	26
2.2.3	Aplicação do método . . . . .	26
2.2.4	Escolha dos municípios . . . . .	27
2.3	Resultados . . . . .	29
2.3.1	Empregos . . . . .	29
2.3.1.1	Testes placebo para emprego . . . . .	31
2.3.2	Renda média . . . . .	32
2.3.2.1	Testes placebo para renda . . . . .	33
2.4	Teste de robustez . . . . .	33
2.5	Conclusão do Capítulo . . . . .	37
<b>3</b>	<b>Uma metodologia para considerar criação de trabalho nos modelos de planejamento de expansão da geração: O caso brasileiro</b>	<b>39</b>
3.1	Introdução . . . . .	39
3.2	Breve Histórico sobre o Planejamento de Expansão da Geração . . . . .	42
3.2.1	Primeiros Modelos de Planejamento de Expansão da Geração . . . . .	42

3.2.2	Modelos de Planejamento de Expansão da Geração no Brasil . . . . .	43
3.3	Modelo de Decisão de Investimentos - MDI . . . . .	44
3.3.1	Função Objetivo . . . . .	45
3.3.2	Restrições . . . . .	48
3.4	Modelagem proposta: MDI-Emprego . . . . .	50
3.4.1	Índice de Fator de Empregos Global - IFEG . . . . .	51
3.4.2	Restrição de Empregos de Operação . . . . .	52
3.4.3	Restrição de Empregos de Expansão . . . . .	52
3.5	Resultados . . . . .	53
3.5.1	Capacidades Instaladas de Expansão 2030 . . . . .	53
3.5.2	MDI Empregos: Fonte Solar e Eólica . . . . .	55
3.5.3	Impacto nos Empregos . . . . .	56
3.5.4	Custo Global da Expansão em cada cenário . . . . .	57
3.6	Conclusão do Capítulo . . . . .	58
<b>4</b>	<b>Empregos Sustentáveis: Multiplicadores de emprego de energia eólica e solar fotovoltaica no Brasil</b>	<b>60</b>
4.1	Introdução . . . . .	60
4.2	Metodologia . . . . .	64
4.2.1	Empregos Diretos . . . . .	66
4.2.2	Empregos Indiretos . . . . .	67
4.2.2.1	Cadeia de Insumos da Energia Eólica . . . . .	69
4.2.2.2	Cadeia de Insumos da Energia Solar Fotovoltaica . . . . .	69
4.3	Dados . . . . .	70
4.4	Resultados . . . . .	71
4.4.1	Índice de Empregos Diretos . . . . .	71
4.4.2	Índice de Empregos Indiretos . . . . .	75

4.4.3	Projeção de Empregos . . . . .	76
4.5	Conclusão do Capítulo . . . . .	78
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>81</b>
	<b>Referências</b>	<b>84</b>

# 1 Introdução

A vigésima sexta Conferência do Clima das Nações Unidas<sup>1</sup>, realizada em Novembro de 2021, reforçou a corrida pelo *net zero*, onde serão zeradas as emissões líquidas de dióxido de carbono até 2050. Grande parte do esforço mundial pelo *net zero* perpassa pelo setor energético, através do incremento das fontes de geração renovável. Não seria diferente dado que o setor energético é responsável por quase três quartos das emissões de gases poluentes, o que contribuiu para elevar a temperatura média global em 1,1°C acima do período pré-industrial (IEA, 2021). A última revisão anual da Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA), em 2020, tem demonstrado avanços no incremento das renováveis no contexto mundial, quase 90% das novas capacidades instaladas mundiais foram de fontes renováveis, frente a 12% em 2001 (IRENA, 2020a). O forte crescimento se manteve mesmo em um ano de choque sócio-econômico global, com a pandemia do COVID-19. Até 2050, 26% da geração energética mundial será renovável, com um mercado de aproximadamente 1 trilhão de dólares americanos (IEA, 2021).

Para alguns países em desenvolvimento com vocação para energias renováveis, como Brasil, África do Sul e Índia, este mercado pode ajudar a minimizar históricas desigualdades socioeconômicas (IRENA, 2017b). Neste sentido, formuladores de política pública destes países enfrentam o grande desafio de aliar a política energética ao desenvolvimento sócio-econômico local. Dentre os impactos sociais, as dinâmicas de empregos tem chamado grande atenção desde o início do século (CAMERON; ZWAAN, 2015), tanto pelas perdas potenciais de empregos das unidades geração baseada em combustíveis fósseis, como pelo incremento de postos de trabalho com as novas plantas renováveis (IRENA, 2021).

O crescimento de mais de 20% da indústria renovável no Brasil na última década revela a importância de avaliar a relação deste setor com o mercado de trabalho. Mais recentemente, as fontes eólica e solar fotovoltaica ganharam ainda mais participação nos leilões de energia nova promovidos pelo governo federal<sup>2</sup>. Nos últimos três leilões realizados entre

---

<sup>1</sup><https://ukcop26.org/>

<sup>2</sup>Os leilões promovidos pelo governo federal brasileiro, através do Ministério de Minas e Energia, se

2020 e 2021, as duas fontes juntas representaram 43% do volume contratado<sup>3</sup>. Além disso, os impactos econômicos e sociais da pandemia do COVID-19 tem reforçado a necessidade de políticas mais precisas de estímulo ao mercado de trabalho brasileiro. O Brasil possui, atualmente, 14 milhões de desempregados, segundo dados oficiais do IBGE<sup>4</sup>. Para atenuar os efeitos da crise, o governo brasileiro criou nos últimos dois anos, um conjunto de programas de estímulo ao crédito e de manutenção e criação de empregos<sup>5</sup>. Considerando o crescimento projetado da indústria renovável brasileira e o contexto atual do mercado de trabalho pós pandemia, torna-se relevante avaliar as contribuições do setor sob a ótica dos empregos.

Esta tese busca preencher parte deste espaço existente na literatura empírica que analisa a relação entre energias renováveis e empregos. Para isso, serão realizadas três aplicações deste tema ao contexto brasileiro.

## 1.1 Organização do trabalho

Esta tese está dividida em 4 capítulos, cada um contendo sua própria conclusão. Além deste primeiro introdutório, os capítulos que seguem serão divididos por tema.

O Capítulo 2 objetiva avaliar a contribuição de plantas de geração eólica para criação de empregos em nível local no semiárido brasileiro. O método de controle sintético é aplicado a dados municipais para avaliar o efeito no emprego e renda para vinte e um municípios alvos de crédito subsidiado para geração eólica. Os resultados indicam que não houve efeito significativo entre o investimento no parque de geração e o aumento do emprego e da renda em nível local, o que corrobora com os resultados da literatura internacional de menor intensidade de mão de obra da fonte eólica frente as demais fontes renováveis. Em um dos municípios analisados, Parazinho-RN, que recebeu quase 1,5 bilhões de reais em investimentos do BNDES entre 2011 a 2016 (equivalente a 60 vezes o seu PIB anual), a quantidade de postos de trabalho gerados pós investimento foi, em média, 7% menor do que no seu grupo sintético.

---

destinam a contratação de energia para o Ambiente Regulado, de acordo com a Lei 10.848/2002.

<sup>3</sup>Dados obtidos em <http://www.ccee.org.br>.

<sup>4</sup>[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

<sup>5</sup>Desde 2020, foram investidos 62,4 bilhões de reais no Programa Nacional de Apoio a Microempresa e Empresas de Pequeno Porte (PRONAMPE). Também foi criado em 2020 o Programa Emergencial de Acesso ao Crédito (PEAC), equivalente a 92 bilhões de reais. Para reduzir o nível de desemprego, foi criado o Programa Emergencial de Suporte ao Emprego. Para mais informações consulte: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/noticias/2021/outubro/medidas-de-estimulo-a-economia-executadas-pelo-governo-atingem-r-1-169-trilhao>

O Capítulo 3 propõe uma metodologia de planejamento da expansão da geração brasileira considerando a criação de empregos entre as tecnologias de geração. No capítulo, é proposta uma versão modificada do modelo de planejamento de longo prazo brasileiro MDI (Modelo de Decisão de Investimentos), nomeada MDI-Emprego, que inclui como restrição da otimização a contribuição das fontes de geração para criação de empregos. No cenário base, o modelo modificado projeta um aumento de 4000 postos de trabalho no setor energético em relação à matriz planejada pelo modelo original até 2030. No cenário mais otimista, houve um incremento no mesmo horizonte de mais de 100.000 postos de trabalho em relação ao estimado no modelo original. Ao mesmo tempo, o resultado no modelo modificado aumenta a diversificação da expansão entre as renováveis e mantém os parâmetros de risco do modelo original. Houve um aumento em até 6% na participação da fonte solar fotovoltaica na matriz futura e uma redução equivalente a 2% na participação da fonte eólica, menos mão de obra intensiva.

O Capítulo 4 utiliza dados primários de plantas de geração de energia eólica e solar fotovoltaica existentes no Brasil para estimar multiplicadores de empregos nacionais das fontes de geração. Os dados de projetos cadastrados no Fundo do Desenvolvimento do Nordeste (FDNE) foram utilizados para estimar multiplicadores de emprego direto das fontes eólica e solar fotovoltaica. Foi usada matriz de insumo-produto (IBGE, 2015) para estimar os efeitos indiretos. Os resultados médios dos multiplicadores de emprego brasileiros confirmam tendência apontada pela literatura internacional de maior intensidade de mão de obra da fonte solar fotovoltaica quando comparado com a eólica. Considerando apenas as duas fontes renováveis, serão gerados 378 mil novos empregos no Brasil até 2030. Deste total, aproximadamente 13 mil são permanentes e mais de 350 mil provisórios, durante a fase de Construção e Instalação das usinas.

## 2 Os ventos que geram energia também geram empregos localmente?

### Capítulo 2

#### 2.1 Introdução

No início dos anos 2000 o Brasil passou por um forte racionamento de energia, impactando sua economia e o bem-estar dos cidadãos. Recentemente, devido à problemas hídricos, surge expectativa de nova crise. De fato, o alinhamento de baixa hidrologia com o aumento previsto do consumo de energia na recuperação pós-pandemia COVID-19 potencializa esta expectativa. Como um alento, nos últimos vinte anos a expansão da capacidade de geração brasileira tem acompanhado a tendência mundial de incremento de energias renováveis (solar e eólica) e de redução proporcional das fontes convencionais de geração, notadamente térmica e hidroelétrica (SILVA; NETO; SEIFERT, 2016).

A indústria de geração de energia renovável é, globalmente, uma importante atividade econômica, tendo movimentado aproximadamente 322 bilhões de dólares em 2018, gerando, no mesmo ano, 11 milhões de postos de trabalho (International Renewable Energy Agency - IRENA<sup>1</sup>). Ressalte-se que, relativamente à geração de empregos pelas fontes renováveis, os trabalhos acadêmicos em nível mundial mostram diferentes contribuições. Do ponto de vista global, a fonte solar fotovoltaica, por exemplo, durante o período de construção da usina, apresenta um fator de 13 empregos-ano/MW instalado<sup>2</sup>, enquanto que a

---

<sup>1</sup><https://www.irena.org/benefits>

<sup>2</sup>Calculado com base nos dados de número de postos de trabalho abertos para cada MW instalado em Construção, Operação e Manutenção da unidade de geração. Para mais detalhe metodológico, ver Rutovitz et al. (2015).

fonte eólica apresenta 3,2 empregos-ano/MW instalado (RUTOVITZ; DOMINISH; DOWNES, 2015). Há certo consenso na literatura internacional quanto a maior contribuição da fonte solar fotovoltaica, PCH e biomassa para geração de emprego quando comparados à fonte eólica, conforme Wei, Patadia e Kammen (2010), Pai et al. (2020), Dell’Anna (2021). Portanto, a estratégia de expansão de um parque de geração pode contribuir mais ou menos para criação de emprego e renda local, dependendo da fonte de energia considerada.

Entre os escassos trabalhos desenvolvidos sobre esta questão de geração de empregos, cite-se o de Simas e Pacca (2013), em 2013, que realizou entrevistas com 18 agentes do setor<sup>3</sup>, identificando um fator de 11,7 emprego-ano/MW instalado, diferindo do apresentado pela literatura internacional, de 2 a 7 emprego-ano/MW instalado (RUTOVITZ; DOMINISH; DOWNES, 2015). Santos et al. (2018) analisa os empregos criados pela geração renovável no Brasil usando matriz insumo-produto, constatando que o seu grande aumento ocorreu no Sudeste do país, região onde se localiza a maior parte da indústria de equipamentos associados. Estes trabalhos mostram algum impacto na geração de empregos pelo setor de energia eólica, porém sempre ligados a toda a cadeia de produção das torres e equipamentos associados, normalmente distantes das unidades de geração. Ademais, conforme observado, estes resultados superam os apresentados pela literatura internacional. Portanto, é interessante analisar, com base em dados desagregados a nível municipal, qual o real impacto local no emprego e renda com a implantação de unidades de geração.

Uma análise do desenvolvimento do parque eólico no Brasil evidencia um crescimento da capacidade instalada desde 2010 (Figura 1), com uma aceleração a partir de 2014 (aproximadamente 300%).

Para a região nordeste do Brasil, com baixa disponibilidade hídrica para construção de novas hidroelétricas com reservatório, a expansão da oferta de geração se deu, em grande parte, através da fonte eólica, que aumentou em 8 vezes sua capacidade instalada na região em menos de uma década (2010-2020). Esta é a segunda região mais populosa do país, com 27,66% da população total, ocupando 18,25% do território nacional (IBGE, 2017). Parte significativa da região é ocupada pelo Semiárido, que abrange oito dos nove estados e 1.262 municípios, com baixo índice pluviométrico e um histórico de dificuldades econômico-sociais provocadas por períodos de seca. Em 2017, 10% da população brasileira residia no Semiárido (TCU, 2017). Segundo dados do último censo realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), deste total de municípios, 60,1%

---

<sup>3</sup>Representantes de empresas brasileiras e multinacionais presentes no território brasileiro, distribuídos nas atividades de fabricação de aerogeradores, transporte de equipamentos, construção civil e montagem de parques eólicos, operação e manutenção das usinas, desenvolvimento de projetos e órgãos ambientais de licenciamento.

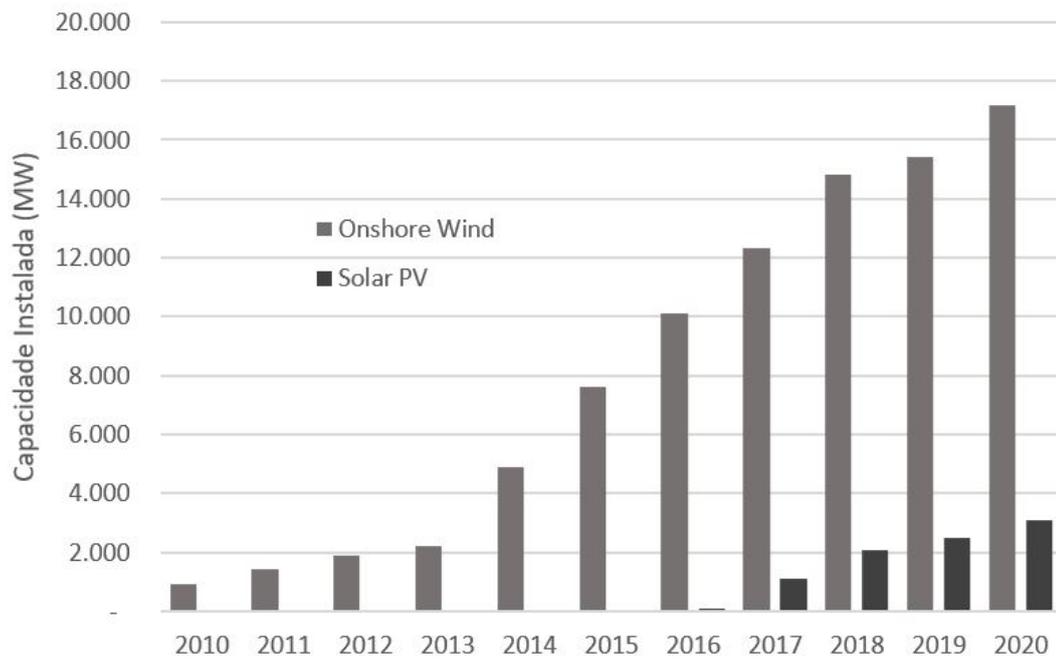


Figura 1: Capacidade Instalada de Geração Eólica (MW) (IRENA, 2020a)

apresentaram Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) entre baixo e muito baixo<sup>4</sup>(Figura 2).

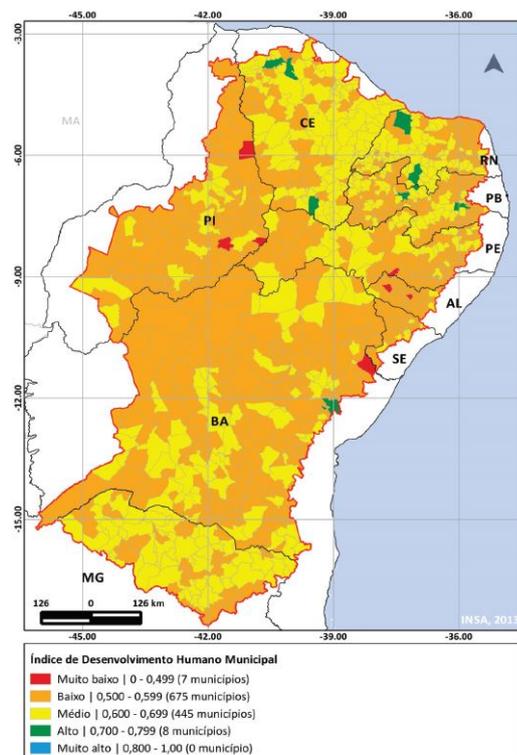


Figura 2: IDHM dos municípios pertencentes ao Semiárido brasileiro

<sup>4</sup>O IDHM é classificado como muito baixo quando dentro da faixa (0 - 0,499). O índice é classificado como baixo quando dentro da faixa (0,5 - 0,599)

A região possui, em contraste com a seca e a pobreza, grande potencial para aproveitamento de energias renováveis, com índice de irradiação solar normal direta (DNI) de  $5,2 \text{ kWh/m}^2$ , a maior entre as macrorregiões do Brasil<sup>5</sup>, e velocidade média dos ventos na costa, a 100 metros, acima de  $8 \text{ m/s}$  (a média nacional na costa é inferior à  $5 \text{ m/s}$ )<sup>6</sup>. Estes potenciais se traduziram, nos últimos vinte anos, em vultosos investimentos para o aproveitamento destas fontes, com os investimentos mais especificamente direcionados para a geração eólica centralizada. Ressalte-se que grande parte destes investimentos são realizados com recursos subsidiados, tanto pelo BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social) como com recursos provenientes de fundos nacionais para o desenvolvimento regional, entre eles o Fundo Constitucional do Nordeste (FNE) e o Fundo de Desenvolvimento do Nordeste (FDNE). Além dos subsídios no *fundring*, os empreendimentos são alvos de políticas públicas de incentivos fiscais e de subsídios *feed-in* nas tarifas de distribuição e transmissão<sup>7</sup>. De 2006 a 2019 o BNDES financiou aproximadamente 38 bilhões de reais em empreendimentos de energia eólica<sup>8</sup> (Figura 3). Entretanto, passados dezessete anos desde o novo marco regulatório do setor, com institucionalização dos leilões de energia, ainda remanescem divergências quanto a contribuição destes investimentos para a geração de emprego e renda dos municípios receptores dos recursos (NOBRE et al., 2019), especialmente aqueles investimentos subsidiados com recursos do BNDES ou de fundos de desenvolvimento regional.

A região nordeste apresentou no primeiro semestre de 2021 a maior taxa de desemprego entre as macrorregiões brasileiras (18,6% de taxa de desocupação, segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD-Contínua, IBGE<sup>9</sup>)). A renda média do trabalho (principal) no Nordeste foi 40% inferior à renda média do trabalho do sudeste no mesmo período (PNAD-Contínua, IBGE). Estes e outros dados mostram a necessidade de políticas públicas de desenvolvimento para esta região, notadamente em infraestrutura. Transcorre daí o fato que a instalação de plantas de geração eólica no nordeste brasileiro, especialmente no semiárido, é recorrentemente anunciada como um vetor para aumento de emprego e renda local (ABEEOLICA, 2021).

<sup>5</sup> dados extraídos do Global Atlas Solar <https://globalsolaratlas.info/>

<sup>6</sup> dados extraídos do Global Wind Atlas <https://globalwindatlas.info/>

<sup>7</sup> Conforme Res. ANEEL 745/2016 são aplicados descontos nas Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) que variam até 50% para empreendimentos com capacidade de geração até 30 MW. Está em avaliação no Congresso Nacional a revisão destes subsídios para empreendimentos de geração.

<sup>8</sup> Dados abertos BNDES, em <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/consultas-operacoes-bndes/>

<sup>9</sup> A PNAD contínua é divulgada trimestralmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9173-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-trimestral.html?#t=series-historicasutm\\_source=landingutm\\_medium=explicitutm\\_campaign=desemprego](https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9173-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-trimestral.html?#t=series-historicasutm_source=landingutm_medium=explicitutm_campaign=desemprego)

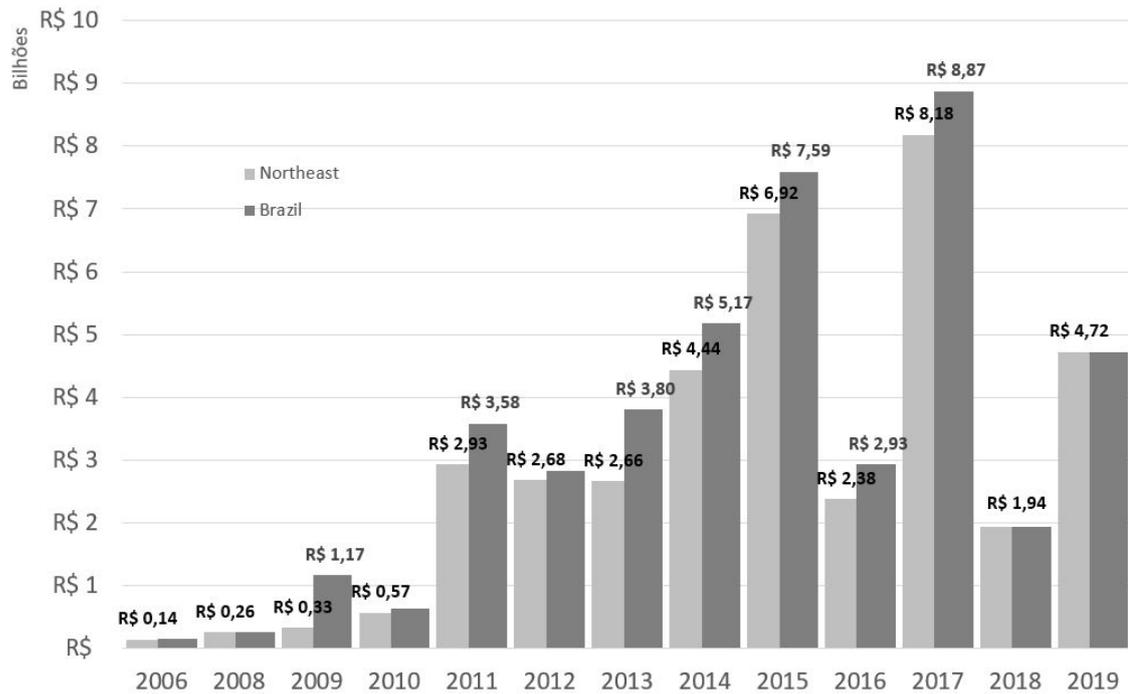


Figura 3: Investimentos em geração eólica financiado pelo BNDES - Brasil e Nordeste - 2006-2019 (dados primários do BNDES)

Portanto, tendo em vista a vulnerabilidade sócio-econômica da região e o crescimento da sua geração eólica, o objetivo deste capítulo é de analisar qual a efetiva contribuição para o aumento do emprego e renda dos municípios do semiárido nordestino, decorrente dos investimentos subsidiados do BNDES entre 2010 e 2014.

A técnica utilizada será a de Controle Sintético (ABADIE; GARDEAZABAL, 2003), que permite comparar o município analisado (em tratamento) com um município hipotético, construído matematicamente a partir de um conjunto de municípios que melhor se assemelham ao analisado (os municípios de controle).

## 2.2 Metodologia

### 2.2.1 O método de Controle Sintético

O método de controle sintético tenta resolver o problema do contrafactual, comparando a tendência na região atingida pelo choque ou pela política com a tendência em uma região sintética composta a partir de diversas regiões observada, conforme Abadie e Gardeazabal (2003), Abadie, Diamond e Hainmueller (2010) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2015). Na definição destes autores, a unidade de controle sintético é uma média ponderada das unidades de controle disponíveis que melhor aproxima as características,

inclusive de tendência, da variável tratada antes do tratamento. Desta forma, esta técnica utiliza como contrafactual para o período após o choque, pós-intervenção, os resultados ponderados dos municípios que mais se assemelham ao de tratamento antes do choque. Assim, diferente dos métodos econométricos usuais, como o estimador Dif-Dif, no Controle Sintético não há uma comparação direta com um grupo de controle, mas com a média ponderada das variáveis do grupo de controle, reduzindo a suposição de paralelismo entre o contrafactual e o controle.

Formalmente, seja uma amostra de  $J + 1$  unidades, indexada por  $j$ . Considere-se, ademais,  $J=1$  o caso de interesse (*Treatment Unit*) e  $J=2$  até  $J= J+1$  as potenciais unidades de comparação (*Donor Pool*). Denote-se  $Y_{jt}^N$  os valores da variável de interesse para a unidade  $j$  no período  $t$ , caso a unidade não tivesse sido submetida à intervenção, e  $Y_{jt}^I$  como os valores da unidade considerando o choque ou a intervenção. Seja  $T = T_0 + T_1$ , onde  $T_0$  representa o período de pré-intervenção, e  $T_1$  o período pós intervenção. O controle sintético pode ser representado por um vetor de pesos  $W = (w_2, \dots, w_J)$  com  $w_j \geq 0, \forall j$  e  $w_2 + \dots + w_J = 1$ , onde cada elemento do vetor representa o peso de uma unidade de controle observada. O vetor  $W^*$ , que melhor representa as características da unidade tratada, é escolhido como pesos de uma combinação linear das variáveis relevantes das unidades de controle  $\hat{Y}_{1t}^N = \sum_{t=2}^{T_0} w_j \cdot Y_{jt}$ .

Para resolver o problema, considere  $X_1$  um vetor ( $K \times 1$ ) de valores contendo as características (variáveis diretamente afetadas ou preditores) da unidade tratada para o período de pré-intervenção ( $T_0$ ). Seja  $X_0$  uma matriz ( $K \times J$ ) que contém as mesmas variáveis para as  $J$  possíveis regiões de controle antes da intervenção ( $T_0$ ). As diferenças entre as características da unidade tratada e das unidades de controle são dadas pelo vetor  $X_1 - X_0W$ . Seleciona-se então o controle sintético,  $W^*$ , que minimiza o tamanho desta diferença. Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010), representam esta diferença como:

$$\sum_{m=1}^k v_m (X_{1m} - X_{0m}W)^2 \quad (2.1)$$

onde  $v_m$  é o peso refletindo a importância relativa dada à  $m$ -ésima variável quando medida a discrepância entre  $X_1$  e  $X_0W$ . A escolha de  $v_m$  será feita aplicando o método *cross validation*. Seja  $Y_{jt}$  o outcome da unidade  $j$  no tempo  $t$  e  $Y_1$  um vetor ( $T_1 \times 1$ ) dos valores de pós-intervenção do outcome para a unidade de tratamento. Então,  $Y_1 = (Y_{1T_0}, \dots, Y_{1T})'$ . Similarmente, seja  $Y_0$  a matriz ( $T_1 \times J$ ), onde a coluna  $J$  contém os valores de pós-intervenção do outcome para a unidade  $J + 1$ . O estimador de controle sintético do efeito

de tratamento será dado pela comparação do outcome de pós-intervenção da unidade de tratamento, exposto ao choque, e o outcome sintético, não exposto ao choque,  $Y_1 - Y_0W^*$ .

$$\hat{\alpha}_{1,t} = Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jt} = Y_{1t} - \hat{Y}_{1,t}^N \quad (2.2)$$

A fim de testar a estimativa dos efeitos é proposto o seguinte procedimento empírico (Abadie *et al.*, 2010; Abadie *et al.*, 2015):

- com o objetivo de avaliar o quão diferente é o estimador  $\hat{\alpha}_{1,t} = Y_{1t} - \hat{Y}_{1,t}^N$  faz-se um teste de hipótese, tendo como hipótese nula o não efeito do choque no pós intervenção. Abadie *et al.* sugere fazer testes de placebo assumindo que cada unidade de controle  $j \in (2, \dots, J + 1)$  tenha recebido o tratamento;
- a seguir, se compara  $\hat{\alpha}_{1,t}$  com os  $\hat{\alpha}_{j,t}$  para cada  $t \geq T_0 + 1$  e  $j \in (2, \dots, J + 1)$ . Se  $|\hat{\alpha}_{1,t}|$  é muito maior, há evidências de rejeição da hipótese nula.

Uma desvantagem é que  $|\hat{\alpha}_{1,t}|$  pode ser anormalmente grande por alguns períodos de tempo, mas não para outros, o que implica que não existe uma regra de rejeição clara. Este é um problema grave para qualquer procedimento de inferência (WHITE, 2000). Para lidar com essa questão, Abadie, Diamond e Hainmueller (2015) propõem um método para condensar informações de todos os períodos para realizar inferências:

- estime a razão entre os erros médios quadráticos:

$$RMSPER_j = \left( \frac{\sum_{T_0+1}^T (Y_{j,t} - \hat{Y}_{j,t}^N)^2 / (T - T_0)}{\sum_1^{T_0} (Y_{j,t} - \hat{Y}_{j,t}^N)^2 / (T_0)} \right)^{1/2} \quad (2.3)$$

- para cada  $j \in (2, \dots, J + 1)$ , compute:

$$p = \frac{\sum_{T_0+1}^T \mathbb{I}[RMSPER_j \geq RMSPER_1]}{J + 1} \quad (2.4)$$

$\mathbb{I}[A]$ : representa a função indicador do evento A.

- e rejeite a hipótese nula toda vez que  $p$  for menor que algum nível de confiança pré-especificado.

## 2.2.2 Dados

As informações aqui utilizadas são provenientes de instituições públicas nacionais. Os dados sobre emprego e renda média, agregados por município, foram extraídos da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados de Produto Interno Bruto (PIB) per capita municipal e de impostos recolhidos por município foram extraídos dos relatórios de Produto Interno Bruto municipais do IBGE. Por fim, os dados sobre investimento em empreendimentos de energia eólica provêm do BNDES.

## 2.2.3 Aplicação do método

Este método foi utilizado para analisar o impacto dos investimentos em energia eólica nos dados de emprego e renda de alguns municípios do semiárido nordestino. O choque, ou seja, a intervenção é o investimento em energia eólica no município. Considerando que se trata de municípios com baixo nível de dinamismo econômico, com pouca presença industrial, deseja-se testar se a chegada de um grande volume de recursos em curto espaço de tempo contribuiu ou não para o aumento na quantidade de emprego e renda. Será analisado, então, o impacto no número de empregos formais no mercado de trabalho e a renda média no mercado de trabalho formal dos municípios ao longo de 19 anos, contemplando no mínimo 10 anos de período anterior ao investimento do parque de geração eólica. Para esta avaliação, foram consideradas as seguintes variáveis ou características de cada município:

- PIB per capita;
- PIB industrial a preços correntes;
- PIB serviços a preços correntes;
- impostos a preços correntes;
- empregos totais;
- remuneração média (trabalho formal) total.

Cabe destacar que a capacidade dos preditores de explicar a variação ao longo dos anos de pré-tratamento é menos importante porque apenas suas médias ao longo dos anos de pré-tratamento são usadas ao criar o controle sintético (MCCLELLAND; GAULT, 2017).

Hahn e Shi (2017) destacam que a utilização do output como preditor reduz o problema de omitir efeitos de eventuais preditores importantes, porque inclui os efeitos de quaisquer variáveis preditoras. Ainda, segundo Abadie, Diamond e Hainmueller (2010) e Botosaru e Ferman (2019), pode-se confiar nos resultados de um estimador de controle sintético quando se tem um bom ajuste de pré tratamento e um grande  $T_0$ , caso das simulações aqui analisadas.

Para a primeira simulação considerou-se como outcome (variável dependente) os Empregos Totais no mercado de trabalho formal por município. Como preditores foram considerados o próprio outcome, PIB per capita, PIB industrial, PIB serviços, Impostos e Renda média. Em seguida, foi considerado como outcome a Renda Média Total no mercado de trabalho formal por município. Como preditores foram considerados o próprio outcome, PIB per capita, PIB industrial, PIB serviços, Impostos e Emprego.

#### 2.2.4 Escolha dos municípios

Inicialmente, foi necessário identificar quais municípios receberam investimentos em unidades de geração eólica durante o período de análise. Tomando como base o banco de dados do BNDES, os municípios foram classificados quanto ao choque (investimento em energia eólica) entre os anos de 2010 e 2014, período em que houve grande volume de investimento em energia no Brasil. Além disso, foram considerados apenas municípios do semiárido nordestino, região prioritária para políticas de crédito subsidiado. Desta forma, foram selecionados vinte e um municípios como *Unit Treatment*.

Com o objetivo de minimizar eventuais efeitos de transbordamento, *spillover effects*, foram incluídos na análise os municípios pólos das regiões imediatas dos municípios escolhidos (IBGE, 2017). Segundo metodologia do IBGE, esta classificação de hierarquia municipal considera as dinâmicas de bens e serviços entre as regiões geográficas. São considerados municípios polos aqueles que concentram as ofertas de bens e serviços das suas respectivas regiões imediatas, possuindo maior estrutura socioeconômica e densidade populacional. A Tabela 1 indica as principais características dos municípios acima, além dos municípios polo de suas regiões imediatas.

Tabela 1: Municípios de tratamento: População estimada, Índice Gini e IDHM

UF Município	Hierarquia urbana (IBGE) <sup>10</sup>	Polo da região imediate (IBGE)	População estimada 2019 (Censo 2010)	Índice Gini (Censo 2010)	IDHM (Censo 2010)
BA Caetite	Centro de Zona A	BA Guanambi	50.975	0,599	0,625
BA Guanambi	Centro Subregional A	BA Guanambi	84.481	0,558	0,673
BA Igapora	Centro Local	BA Guanambi	15.640	0,497	0,614
BA Juazeiro	Núcleo de Capital Regional C	BA Juazeiro	218.162	0,5723	0,677
BA Pindai	Centro Local	BA Guanambi	16.285	0,4513	0,603
BA Sento Sé	Centro Local	BA Juazeiro	40.989	0,5343	0,585
BA Sobradinho	Centro Local	BA Juazeiro	23.233	0,516	0,631
BA Urandi	Centro Local	BA Guanambi	16.665	0,5126	0,598
CE Acaraú	Centro de Zona A	CE Acaraú	62.641	0,609	0,601
CE Amontada	Centro Local	CE Itapipoca	43.829	0,5633	0,606
CE Aracati	Centro de Zona A	CE Aracati	74.975	0,5416	0,655
CE Itapipoca	Centro Subregional B	CE Itapipoca	130.539	0,5617	0,640
CE Itarema	Centro Local	CE Acaraú	41.826	0,531	0,606
CE São Gonçalo do Amarante	Centro Local	CE Fortaleza	48.869	0,5203	0,665
CE Trairi	Centro Local	CE Itapipoca	56.291	0,556	0,606
RN Areia Branca	Centro Local	RN Mossoró	27.967	0,4841	0,682
RN Joao Camara	Centro de Zona A	RN Joao Camara	34.955	0,561	0,595
RN Mossoró	Capital Regional C	RN Mossoró	300.618	0,534	0,720
RN Parazinho	Centro Local	RN Joao Camara	5.237	0,524	0,549
RN Pedra Grande	Centro Local	RN Joao Camara	3.237	0,481	0,559
RN São Bento do Norte	Centro Local	RN João Câmara	2.717	0,5461	0,555
RN São Miguel	Centro de Zona B	RN São Miguel	23.655	0,539	0,606

Como a lista de municípios de tratamento contempla unidades com características muito diversas entre si, foi aplicado o método de controle sintético para cada município individualmente. Para identificar o conjunto de possíveis doadores de controle, foram considerados os seguintes filtros no conjunto de municípios do Nordeste:

- municípios também localizados no semiárido nordestino;
- municípios com mesma hierarquia urbana<sup>11</sup> do município tratado;
- municípios que não receberam investimento em geração de energia eólica;
- municípios com número de habitantes em 2010 (antes da intervenção) em até 30% do município tratado.

Desta forma, foi possível construir o modelo de controle sintético para cada município

<sup>11</sup>A hierarquia urbana é uma classificação do IBGE quanto a região de influência das cidades. Municípios com mesma hierarquia urbana possuem certas similaridades quanto as dinâmicas locais.

indicado, e analisar, com base no conjunto de controle, se o investimento em energia eólica contribuiu ou não para o incremento do emprego e da renda no mercado formal.

Os testes placebo também foram realizados para cada variável em cada município e analisadas as significâncias do *teste* – *p* ao nível de confiança de 5%.

## 2.3 Resultados

Conforme já expressei, para cada município listado na Tabela 1, foram analisadas duas variáveis: número de empregos e renda média no mercado formal (% dos salários mínimos). Os resultados serão apresentados por variável analisada.

### 2.3.1 Empregos

Para a primeira simulação, utilizou-se os empregos totais do mercado formal em base municipal (IBGE) como output do modelo e as demais variáveis como preditores. A Figura 4a apresenta, como exemplo, o resultado do modelo para o município de Parazinho-RN<sup>12</sup>. O PIB total deste município em 2010 (antes da construção das unidades de geração) era de apenas 20 milhões de reais. De 2011 a 2016, foram financiados quase 1,5 bilhões de reais pelo BNDES em 11 contratos para usinas eólicas neste município. Ou seja, em pouco mais de cinco anos, o volume investido em energia eólica no município superou em 60 vezes o PIB municipal do ano anterior à construção das usinas. Parazinho-RN é, portanto, um caso interessante de análise de impacto da política de investimento em energia eólica em economias locais. Trata-se de um município do semiárido do nordeste brasileiro, com pouco mais de cinco mil habitantes e baixo IDHm (Tabela 1), possui grande potencial eólico e teve um volume muito grande de recursos investido em energia eólica desde 2010.

Neste município, em 2011, após aprovação do primeiro financiamento em energia eólica, houve um aumento de 274 postos de trabalho em relação ao seu grupo sintético, valor quase 70% superior. Nos seis anos posteriores, porém, o município teve uma redução de 365 empregos formais, ficando em 2017 com 65 postos de trabalho abaixo do seu grupo sintético. Como indicado na Seção 4.2, considerando possíveis *spillover effects*, também foi simulado o efeito no município polo da sua região imediata. O nível de empregos em João Câmara-RN, praticamente, não teve alteração em relação ao seu grupo sintético: apenas 2% de aumento, representando 53 novos postos de trabalho (Figura 4b).

<sup>12</sup>No Apêndice 5 são apresentados, resumidamente, os resultados da simulação para oito dos vinte e um municípios analisados.

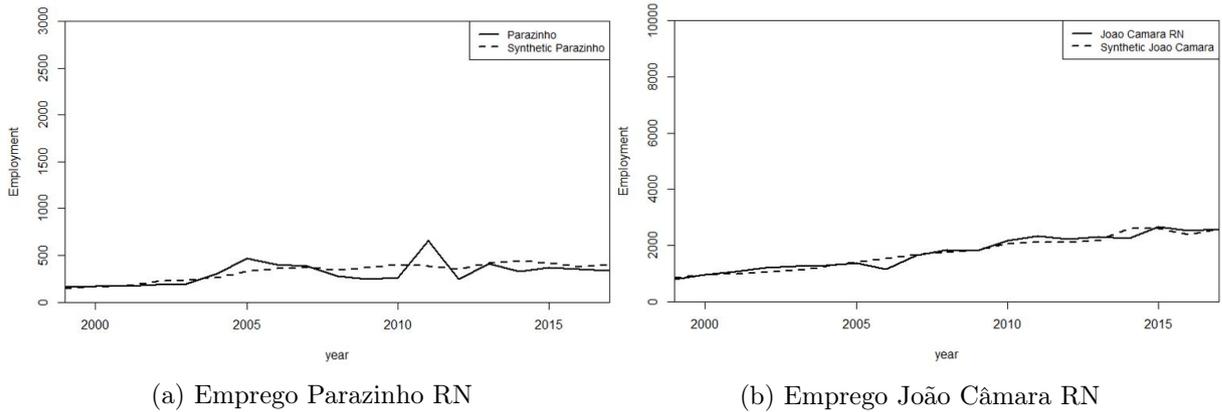


Figura 4: Resultado do Método para Empregos

Em Igaporã-BA, de 2011 a 2013, foram financiados 205 milhões de reais em quatro contratos de usinas de geração eólica. O valor investido representou, aproximadamente, 3 vezes o PIB total do município no ano anterior à construção do parque. Foi possível constatar que, desde o financiamento da primeira usina, houve um aumento de 1% no número de empregos formais do município em relação ao seu grupo sintético, uma média anual de 11 postos de trabalhos a mais (Figura 5a). Já quando simulado o seu município polo, Guanambi-BA, identificou-se uma redução de 4% no número de postos de trabalho em relação ao seu grupo sintético (Figura 5b).

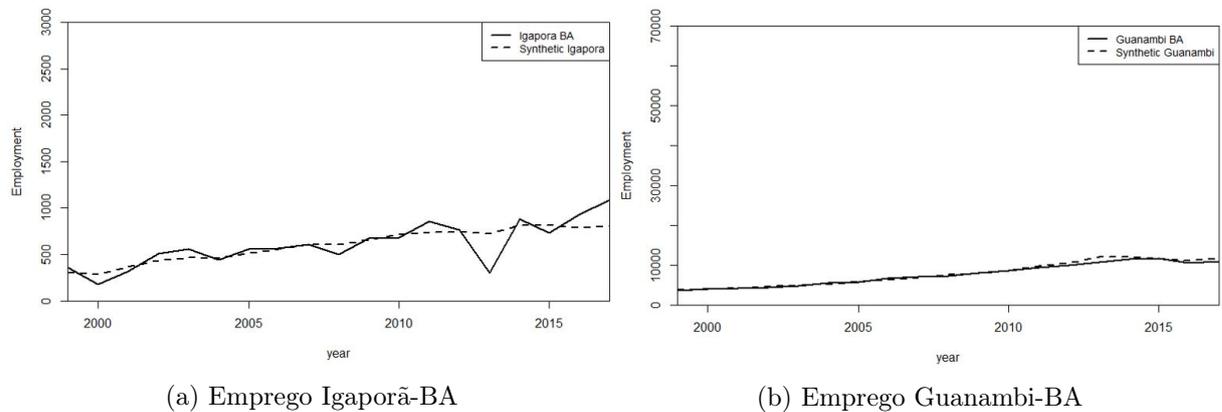


Figura 5: Resultado do Método para Empregos

Os resultados das Figuras 4a, 4b, 5a, 5b e do Apêndice 5 mostram, indiretamente, a validade do método de controle sintético, uma vez que todas as regiões sintéticas se aproximam das unidades de tratamento no período de pré-intervenção. Este comportamento sugere que o controle sintético apropriadamente se aproxima do outcome contrafactual e permite estimar o efeito do tratamento. Desta forma, o modelo consegue representar, com certa precisão, como o município se comportaria caso não tivesse recebido os investimentos.

### 2.3.1.1 Testes placebo para emprego

Ao fazer os  $p$  testes (seguindo metodologia descrita na seção 2.2.1), para cada um dos vinte e um municípios analisados, não foi possível rejeitar a hipótese nula de não efeito ao nível de confiança de 5% para nenhum município investigado. A Tabela 2 mostra os resultados do  $p$  teste para os vinte e um municípios analisados<sup>13</sup>.

O teste mostra que, por exemplo, apesar de Parazinho-RN ter sofrido um incremento temporário no número de empregos no período de 2011 a 2012, este incremento não é significativo estatisticamente olhando o contrafactual sintético. O mesmo acontece para todos os demais municípios analisados. Desta forma, com base nos dados analisados neste artigo e com a metodologia descrita na Seção 4.2, não se evidencia efeito significativo entre a implantação da usina eólica e o aumento no número de empregos para nenhum dos vinte e um municípios analisados. Cabe ressaltar que a implantação de usinas eólicas em um município gera benefícios não analisados neste artigo, como os aluguéis ou receita com arrendamento das terras e a arrecadação de impostos municipais. Em relação ao arrendamento das terras há, de fato, importante contribuição à renda das famílias proprietárias. Entretanto, em 2018, segundo dados da Abeeólica, o valor representou 3,2% do investimento total nas usinas (ABEEOLICA, 2020). Quanto aos impostos municipais, a maior contribuição tem sido ao ISSQN (Imposto sobre serviço de qualquer natureza), porém alguns estudos recentes não conseguiram identificar efeito positivo entre a implantação do parque e o aumento na arrecadação deste tributo (RODRIGUES, 2019). O Apêndice 5 apresenta mais informações sobre os resultados dos testes de placebo.

Tabela 2: P-valor para Empregos

UF Município	p value Empregos	UF Município	p value Empregos
BA Caetite	38,46%	CE Itapipoca	82,35%
BA Guanambi	57,14%	CE Itarema	18,18%
BA Igapora	32,69%	CE São Gonçalo do Amarante	5,88%
BA Juazeiro	50,00%	CE Trairi	52,94%
BA Pindai	80,64%	RN Areia Branca	58,82%
BA Sento Sé	82,14%	RN Joao Camara	72,73%
BA Sobradinho	85,18%	RN Mossoró	94,12%
BA Urandi	18,51%	RN Parazinho	61,54%
CE Acaraú	100,00%	RN Pedra Grande	10,00%
CE Amontada	18,51%	RN São Bento do Norte	5,88%
CE Aracati	75,00%	RN São Miguel	17,64%

<sup>13</sup>Seguindo o procedimento apresentado na seção 3, indicado por Abadie et al (2015)

### 2.3.2 Renda média

Nesta simulação o output do modelo é a renda média no mercado formal agregada por município (IBGE) e as demais variáveis foram utilizadas como preditores. Ainda tomando como referência o município de Parazinho-RN, observa-se que no período posterior à implantação do parque houve um incremento de 17% na renda média no mercado formal em comparação com o seu grupo sintético (Figura 6a). O mesmo percentual foi observado no seu município polo, João Câmara-RN (Figura 6b). Igaporã-BA e Guanambi-BA, tiveram redução da renda média no mercado formal de 7% (Figuras 7a e 7b).

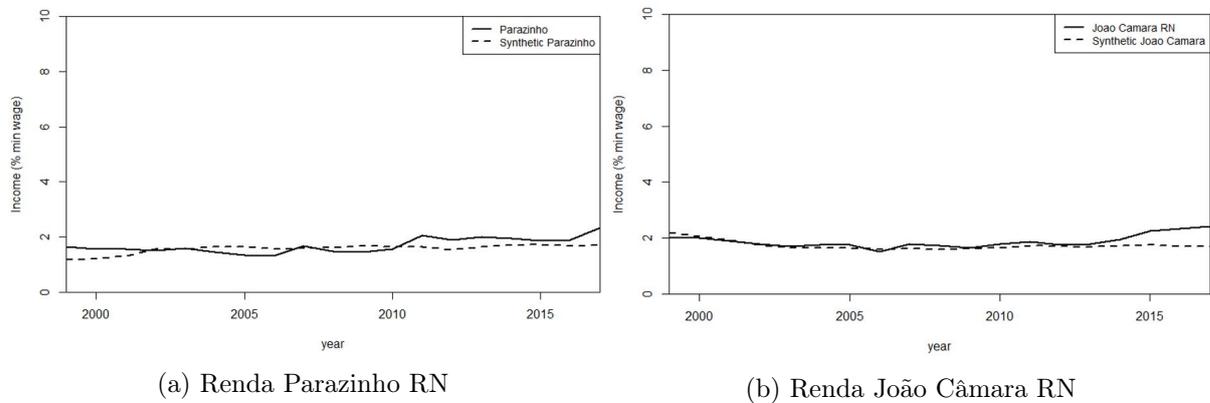


Figura 6: Resultado do Método para Renda

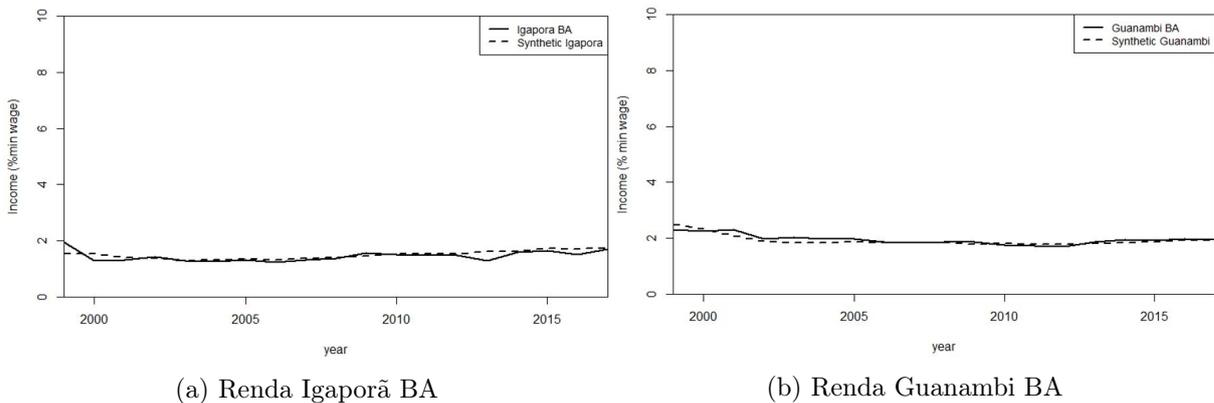


Figura 7: Resultado do Método para Renda

De forma geral, considerando os vinte e um municípios, aparentemente houve algum impacto na renda média no mercado formal. Uma melhor avaliação pode ser feita com a análise dos testes de placebo.

### 2.3.2.1 Testes placebo para renda

A hipótese nula de não efeito ao nível de confiança de 5% não pode ser rejeitada em nenhum caso (Tabela 3). Por exemplo, para Parazinho-RN, 38% do seu grupo de controle apresentou a relação de erro descrito pela equação 3 superior àquela aplicada ao município. Desta forma, não foi possível evidenciar efeito significativo entre a implantação da usina eólica e o aumento na renda média para nenhum dos vinte e um municípios analisados<sup>14</sup>.

Tabela 3: P-valor para renda

UF Município	p value Income	UF Município	p value Income
BA Caetite	53,85%	CE Itapipoca	82,35%
BA Guanambi	71,43%	CE Itarema	72,27%
BA Igapora	44,23%	CE São Gonçalo do Amarante	5,88%
BA Juazeiro	62,50%	CE Trairi	88,23%
BA Pindai	81,00%	RN Areia Branca	94,11%
BA Sento Sé	96,42%	RN Joao Camara	9,09%
BA Sobradinho	75,92%	RN Mossoró	94,11%
BA Urandi	92,59%	RN Parazinho	38,46%
CE Acaraú	80,00%	RN Pedra Grande	5,00%
CE Amontada	18,51%	RN São Bento do Norte	5,88%
CE Aracati	93,75%	RN São Miguel	23,52%

## 2.4 Teste de robustez

Foram simulados cenários onde o município sintético construído é alterado, e avaliado o efeito nos resultados. Os municípios de controle utilizados na composição da unidade sintética foram reduzidos e, depois, analisado os testes de placebo. Este é o mesmo procedimento indicado por Abadie, Diamond e Hainmueller (2015) de checagem do impacto nos resultados quando se altera o contrafactual resultante do modelo sintético. Por simplicidade, será apresentado a seguir os resultados do teste de robustez para quatro dos vinte e um municípios analisados (semelhante a última seção, apresenta-se os resultados para Parazinho-RN e seu polo João Câmara-RN, Igaporã-BA e seu polo, Guanambi-BA). Os resultados são semelhantes para os demais municípios. O Apêndice 5 apresenta mais detalhes dos resultados.

Para cada município foram considerados três cenários de redução nas unidades de controle. A Figura 8 mostra o resultado dos testes para o município de Parazinho-RN. Neste município, o resultado do modelo considera cinco cidades na composição do município

<sup>14</sup>O Apêndice 5 apresenta os resultados dos testes de placebo para oito dos vinte e um municípios

sintético (PB Caturite, PI Alvorada do Gurgueia, RN Riacho de Santana, RN Serrinha dos Pintos e RN Sitio Novo). Este cenário é apresentado na figura que indica a inclusão de todas as unidades de controle. As demais figuras mostram os resultados considerando a quantidade reduzida de municípios de controle. De uma forma geral, observa-se que a redução das unidades de controle altera o "fit" da curva sintética em relação à do município de tratamento, porém as mudanças não alteram significativamente os resultados apresentados na seção 3. Para nenhum dos casos simulados houve efeito significativo entre o investimento e aumento de emprego ou renda.

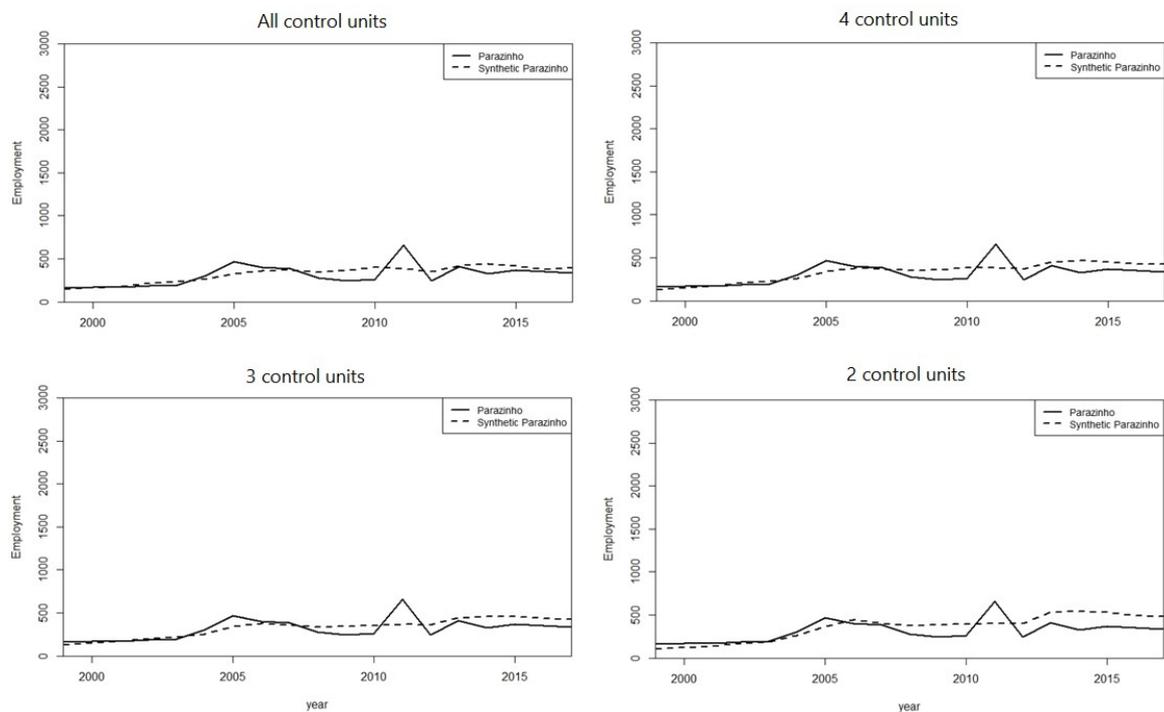


Figura 8: Teste de Robustez - Parazinho RN

Apresenta-se também os resultados da redução de unidades de controle dos municípios de João Câmara-RN, do polo de Parazinho-RN (Figura 9).

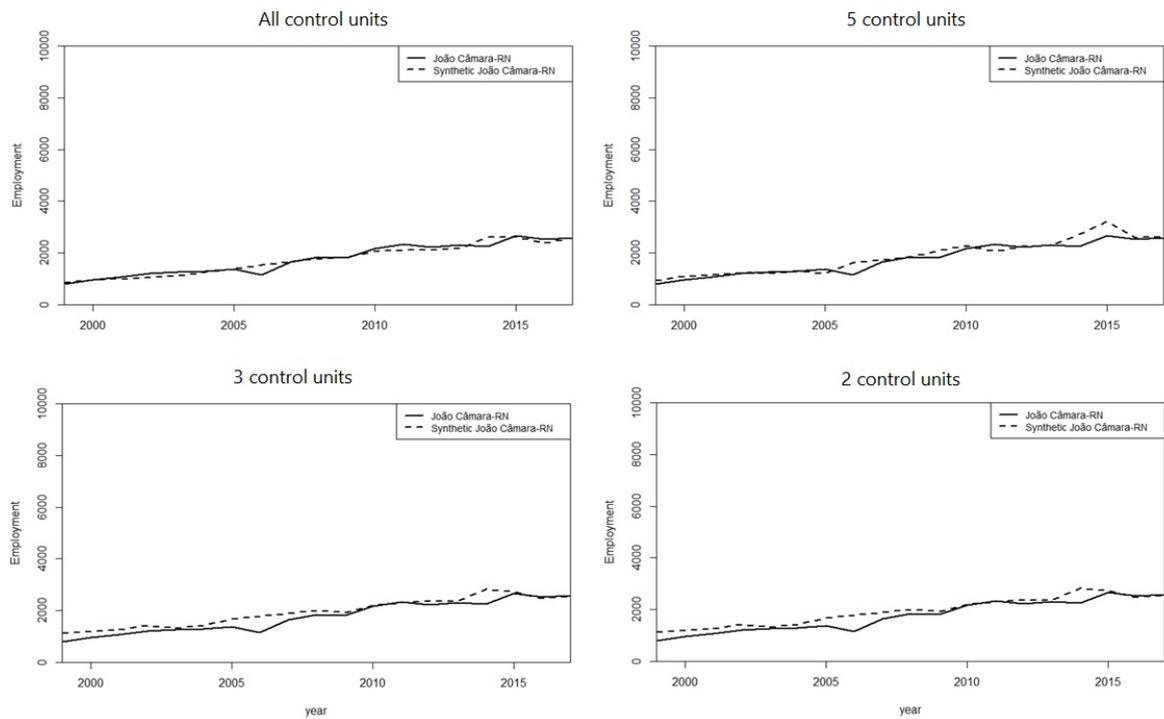


Figura 9: Teste de Robustez - João Câmara RN

A Figura 10 mostra os resultados para Igaporã-BA, considerando a redução da quantidade de unidades de controle. Com a consideração de apenas duas unidade de controle, identifica-se algum efeito no número de empregos do município. Porém, ainda neste caso não foi identificado efeito significante ao aplicar o teste  $p$ .

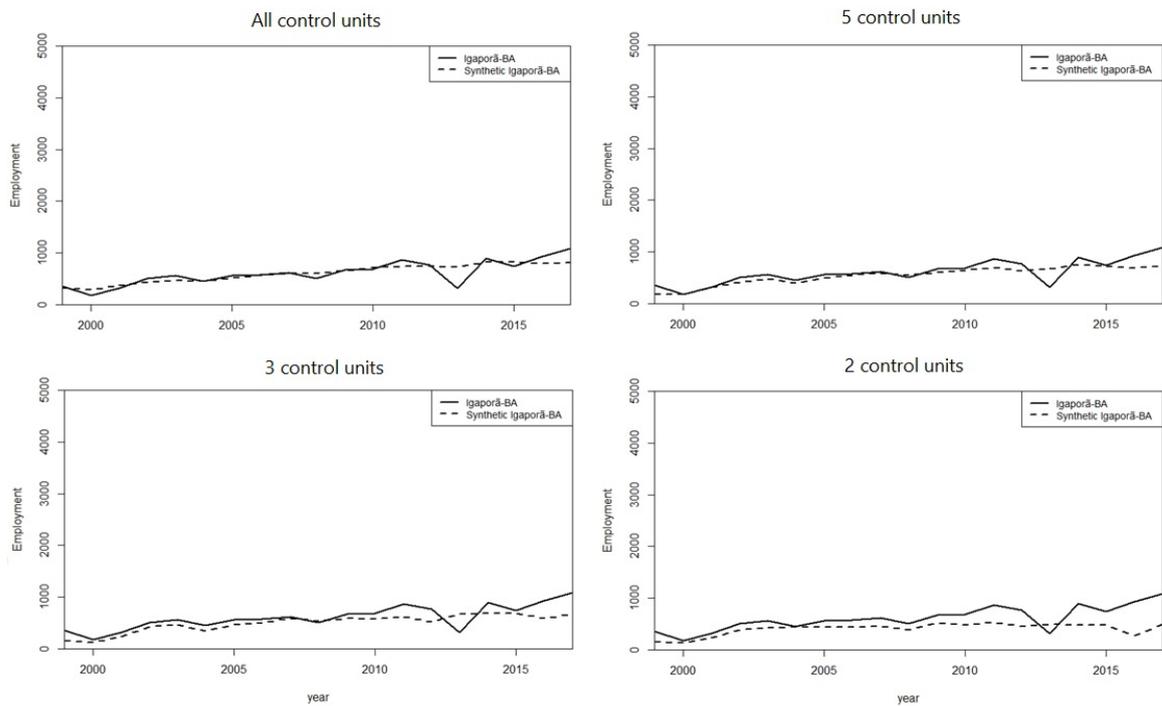


Figura 10: Teste de Robustez - Igaporã BA

Os resultados também se mantêm ao se reduzir o número de unidades de controle do município polo de Igaporã-BA, Guanambi-BA (Figura 11). Ou seja, não se identificou efeito de aumento de emprego nem mesmo quando alterado o conjunto de municípios de controle.

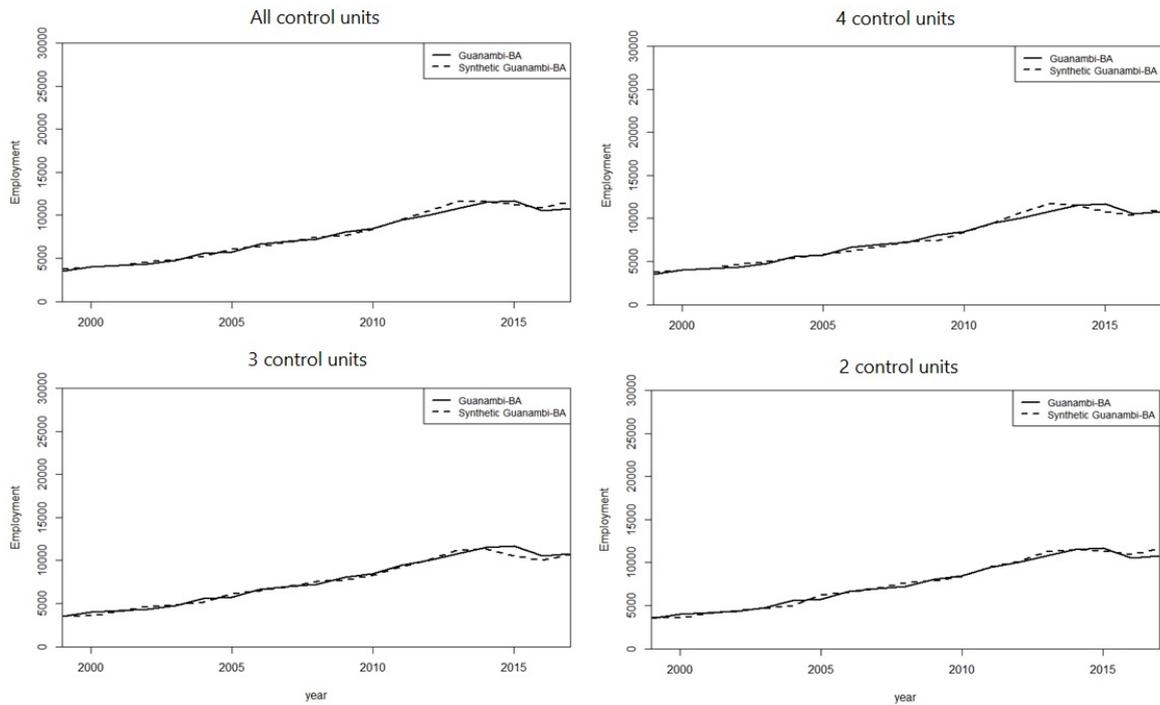


Figura 11: Teste de Robustez - Guanambi BA

## 2.5 Conclusão do Capítulo

A geração de energia renovável em municípios do semiárido nordestino é, muitas vezes, considerada pelos formuladores de políticas públicas como estratégica para aumento de emprego e renda desta região. Este trabalho mostra que, embora necessária, a ampliação da geração renovável nem sempre está atrelada ao aumento de emprego e renda dos municípios recebedores do investimento. Com o método de controle sintético foi possível avaliar o impacto de investimentos em parques eólicos de vinte e um municípios do semiárido nordestino. Ao aplicar o teste  $p$  segundo metodologia empírica apontada por Abadie, Diamond e Hainmueller (2015), não foi possível constatar efeito na quantidade de empregos formais em nenhum dos municípios analisados, inclusive considerando as cidades polos. Ou seja, não foi evidenciado efeito dos investimentos no aumento do emprego (ao nível de significância de 5%). Também para a renda média no mercado formal, os impactos foram não significantes para todos os municípios.

Apesar dos benefícios técnicos e ambientais conhecidos das unidades de geração eólica no semiárido, a concessão de crédito subsidiado para implementação de parques eólicos teve pouca efetividade no aumento de emprego e renda locais nos últimos 19 anos. Alguns fatos empíricos embasam os resultados. Primeiro, trata-se de uma indústria capital

intensiva, com baixa intensidade em mão de obra. Segundo, a mão de obra requerida é especializada e indisponível localmente, dado os baixos índices de escolaridade. Terceiro, atividades de engenharia consultiva e de projetos não requer fixação no local do empreendimento, podendo ser sediada em qualquer outra localidade. Este resultado é reforçado pelos resultados da literatura internacional apontando que, dentre as fontes renováveis, a geração eólica tem a menor contribuição para a geração de emprego, como Rutovitz, Dominish e Downes (2015), Pai et al. (2020) e Dell’Anna (2021).

Portanto, visando associar uma política de desenvolvimento dos municípios à política de energia renovável, algumas medidas podem ser sugeridas. Por exemplo, a consideração de fatores de emprego no planejamento da expansão energética. Outra sugestão é de aperfeiçoar o direcionamento de incentivos creditícios, especialmente de fontes de financiamento ligadas ao desenvolvimento regional, à fontes de geração mais mão de obra intensiva.<sup>15</sup> Para maior desenvolvimento local, o apoio a cadeia produtiva de geração renovável tem maior contribuição a geração de empregos do que apoio direto às unidades de geração. Ou seja, o estímulo a empresas fornecedoras de equipamentos, mais especificamente, àqueles que não requisitam de alta tecnologia pode ter uma contribuição maior na geração de emprego e renda quando comparado com as unidades geradoras. E até a instalação, nestes municípios, ou nos polos das suas regiões imediatas, de escolas técnicas formadoras de mão de obra para atividades de Operação e Manutenção.

Vale lembrar que a geração energética renovável apresenta vantagens quanto a diversificação, o que não foi analisado neste artigo. Dentre estas, o aumento da garantia do suprimento energético nacional e sustentabilidade ambiental no parque de geração<sup>16</sup>, o que deve ser perseguido. Entretanto, ao contrário do que se noticia, não há evidência da contribuição destes investimentos em geração eólica para o aumento do emprego e renda local ao longo dos últimos 19 anos.

---

<sup>15</sup>Conforme indicado por Rutovitz, Dominish e Downes (2015), a fonte solar fotovoltaica tem maior fator de emprego do que a fonte eólica, tanto na implementação quanto na Operação e Manutenção.

<sup>16</sup>O setor de energia é tratado como prioridade pela Agenda 2030 da ONU, onde se inclui metas de geração renovável para redução dos impactos ambientais.

# 3 Uma metodologia para considerar criação de trabalho nos modelos de planejamento de expansão da geração: O caso brasileiro

## Capítulo 3

### 3.1 Introdução

O planejamento da expansão da geração de energia envolve um grande conjunto de decisões técnicas e políticas, sempre lidando com muitas incertezas. Desde a década de 70, foi reforçado no planejamento dos sistemas elétricos no mundo a utilização do ferramental matemático e estocástico nos modelos de expansão da geração de energia para apoiar a decisão de investimento, conforme Beglari e Laughton (1975) e Anderson (1972). No Brasil, os primeiros modelos de expansão da geração foram idealizados pelo CEPEL<sup>1</sup> na década de 80, e incorporados ao planejamento do setor elétrico brasileiro na mesma década (GANDELMAN, 2015). Nos últimos anos, com a incorporação de novas tecnologias de geração e restrições ambientais cada vez mais intensas, o problema do planejamento da expansão da geração se tornou mais abrangente e desafiador.

O planejamento de uma matriz elétrica futura deve considerar, necessariamente, o trade-off entre custo e confiabilidade (MUNASINGHE, 1980). Deseja-se o mínimo custo de geração com a maior confiabilidade de suprimento possível. Para atingir este objetivo, adota-se um conjunto amplo de decisões que envolve quais fontes de geração serão con-

---

<sup>1</sup>O Centro de Pesquisas em Energia Elétrica, CEPEL, é um centro de pesquisas vinculado à holding Eletrobrás, sociedade de economia mista controlada pelo Governo Federal do Brasil e grande responsável pela expansão da geração brasileira desde 1962, ano de sua fundação.

tratadas, sua localização, quando irão entrar em operação, quanto de potência se planeja contratar, quais as restrições ambientais que serão consideradas, entre outras.

Nos modelos de planejamento da expansão dos sistemas elétricos de potência tradicionais se considera o objetivo de atender a demanda de eletricidade no horizonte de expansão a um mínimo custo possível (MUNASINGHE, 1980). Com o passar dos anos, outros objetivos foram incluídos nos modelos, como a redução das emissões ambientais e, até mesmo, melhoria de condições sociais. Em relação aos aspectos sociais, as dinâmicas no mercado de trabalho envolvendo o setor de energia, tem chamado atenção não apenas da academia, mas também de agências governamentais, bancos de investimento e organizações multilaterais, conforme Vergara et al. (2014) e IRENA (2020b). A Agência Internacional de Energias Renováveis estima a criação de 25 milhões de postos de trabalho associados ao setor renovável até 2050. A última revisão anual publicada pela agência indica que em 2018 havia 11 milhões de trabalhadores no setor no mundo (IRENA, 2020c). Ao mesmo tempo, há estimativas de redução de aproximadamente 8 milhões de postos de trabalho em tecnologias de geração termelétrica até 2050 (IRENA, 2020c). Parte desta redução de postos de trabalho estará associada a descomissionamento ou desativação de usinas termelétricas carvão, bastante mão de obra intensivas, especialmente na China, Índia e Indonésia, países cuja geração termelétrica possuem maior representatividade na matriz elétrica mundial (IEA, 2020).

A vigésima primeira Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 21), realizada em 2015, resultou na assinatura do Acordo de Paris por 195 nações e firmou, entre outras coisas, a meta de restringir o aumento da temperatura global em dois graus centígrados até 2030 (UN, 2015)<sup>2</sup>. As metas ambientais firmadas tem levado as nações signatárias do acordo a adequar os modelos de planejamento de expansão da geração para atender aos compromissos assumidos, além de avaliar os seus impactos. Particularmente neste cenário, as dinâmicas de aumento ou redução de postos de trabalho envolvendo o setor de energia preocupam formuladores de políticas, que procuram quantificar os impactos da expansão renovável e preparar sua população para a nova matriz elétrica projetada.

O Brasil já dispõe de uma matriz energética 87% renovável e possui uma oferta de suprimento energético privilegiada em relação ao resto do mundo (EPE, 2020). De fato, a transição energética, da geração baseada em combustíveis fósseis para geração renovável, praticamente não existiu no Brasil, uma vez que a expansão brasileira se deu notadamente

---

<sup>2</sup><https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

por hidroelétricas desde a década de 1920 (CONSUMIDOR; JANNUZZI, 2007). Porém, nos últimos 30 anos, a expansão renovável no Brasil sofreu nova dinâmica com inclusão das novas renováveis, biomassa, PCH, eólica e solar. No Plano Decenal de Expansão de Energia 2030, elaborado pela EPE, PDE 2030, é projetado um aumento de 200% de geração eólica e de 22% de geração de PCH, por exemplo, como apresentado na Figura 12.

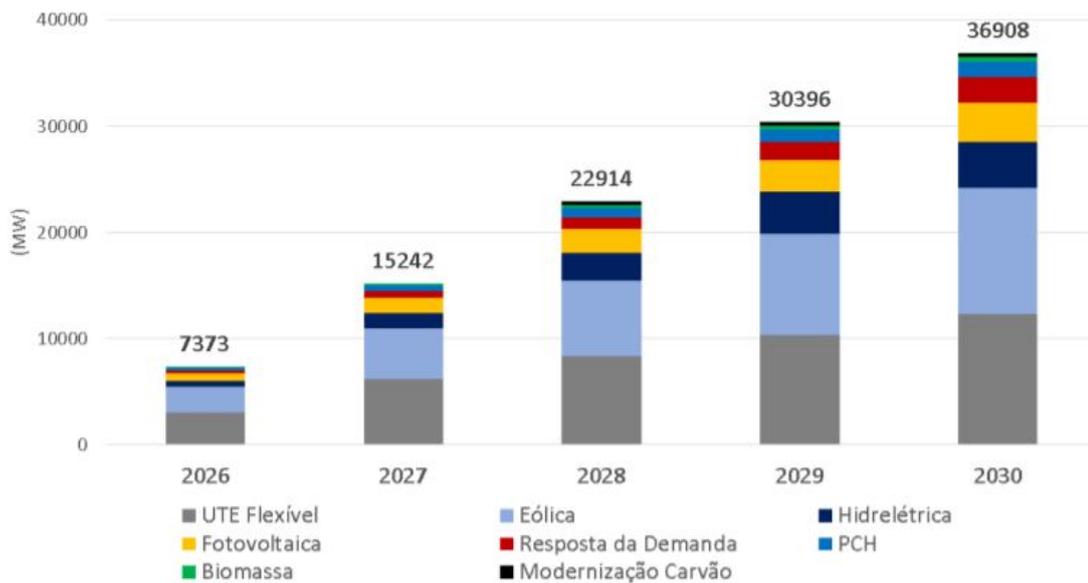


Figura 12: Expansão Projetada PDE 2030 (EPE)

Pesquisas recentes tem demonstrado que, dentre as fontes de energias renováveis, há diferenças importantes para geração de emprego. Segundo Rutovitz et al. (RUTOVITZ; DOMINISH; DOWNES, 2015), do ponto de vista global, a fonte solar fotovoltaica, por exemplo, durante o período de construção da usina, possui um fator de empregos de 13 empregos-ano para cada MW instalado. Enquanto a fonte eólica, possui 3,2 empregos-ano para cada MW instalado. Outros trabalhos, como Wei et al (WEI; PATADIA; KAMMEN, 2010), Sandeep Pai et al. (PAI et al., 2020) e Frederico Dell’Ana (DELL’ANNA, 2021) também mostram que as fontes de energia renovável tem diferentes contribuições para geração de empregos. Desta forma, considerar as dinâmicas de criação de postos de trabalho no planejamento da expansão da geração representa um ferramental adicional importante no apoio a decisão de formuladores de política.

Portanto, o objetivo deste artigo será de propor uma metodologia de planejamento de expansão da oferta de geração considerando as diferentes contribuições de criação de postos de trabalho das fontes de geração. Para isso, se propõe uma modificação no Modelo de Decisão de Investimento, utilizado desde 2018 pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) como subsídio ao Ministério de Minas e Energia (MME) para planejamento da

expansão da geração no Brasil. O Modelo de Decisão de Investimento (GANDELMAN, 2015), assim como os modelos tradicionais de expansão da geração, procura minimizar os custos de investimento e de operação do parque de geração de modo a atender a demanda projetada de energia. Ele utiliza a técnica de programação linear inteira mista e considera estocacidade na demanda projetada, na hidrologia esperada, nos dados de ventos e no preço dos combustíveis.

## **3.2 Breve Histórico sobre o Planejamento de Expansão da Geração**

### **3.2.1 Primeiros Modelos de Planejamento de Expansão da Geração**

Os primeiros modelos de planejamento de expansão da geração surgem como uma aplicação das técnicas de programação matemática formuladas desde a década de 40. Em 1968, Arungu-Olende (1968) publica na sua tese de doutorado algumas aplicações de programação matemática em sistemas de potência, sendo uma delas em Planejamento da Expansão da Geração. O modelo básico proposto por Arungu-Olende (1968), com princípio semelhante aos atuais, objetiva minimizar o custo de operação e de capital ao longo do horizonte de planejamento e considera as seguintes restrições:

- Demanda máxima prevista deve ser atendida;
- Reserva de capacidade compatível;
- Permissão para manutenção planejada de geradores fora de operação;
- Energia gerada pelas unidades deve ser suficiente para suprir a demanda em cada período de tempo;
- Capacidade máxima de unidade a ser instalada limitada pela capacidade de transmissão.

A técnica programação dinâmica foi indicada para resolução do problema, uma vez que envolvia restrições não lineares. A partir da década de 70, os modelos se basearam na modelagem proposta por Arungu para aperfeiçoar o planejamento da expansão da geração, conforme Beglari e Laughton (1975) e Anderson (1972).

### 3.2.2 Modelos de Planejamento de Expansão da Geração no Brasil

No Brasil, o primeiro modelo de planejamento de expansão da oferta de geração foi DESELP, Determinação da Expansão do Sistema Elétrico de Longo Prazo (TRINKENREICH; PINHEIRO, 1982). Dois patamares de carga são utilizados, alto e médio. É utilizado um período hidrológico crítico para determinar a expansão. São previstos projetos secundários para determinar a expansão de projetos hidroelétricos, o que permite expandir as capacidades instaladas de hidrelétricas. O modelo é construído em programação linear considerando as seguintes restrições:

- Atendimento aos requisitos de energia em períodos críticos;
- Restrição de capacidade máxima de intercâmbio;
- Despacho em dois patamares.

Como a decisão de construir ou não uma usina é uma variável inteira, o modelo, construído em programação linear, possui a limitação de não indicar quais usinas seriam construídas, o que era analisado manualmente para se obter um plano de expansão.

Na década de 90 foi desenvolvido pelo CEPEL o MODPIN, Modelo de Expansão sobre Incerteza (GORENSTIN et al., 1993). A técnica de solução usa Decomposição de Bender, que desacopla os subproblemas de investimento e operação. Nesta técnica (BENDERS, 1962), para cada subproblema de expansão se resolve um subproblema de operação, que está associado a um custo. Outro modelo de planejamento da oferta de geração também desenvolvido para o sistema elétrico brasileiro foi o OPTGEN (Optimal Generation), desenvolvido pela consultoria brasileira PSR. Este modelo usa programação linear inteira mista para resolver o problema de minimização de custos esperados de geração considerando estocacidade da geração hídrica e demanda. O modelo já foi aplicado em diversos países do mundo como Colômbia (THOMÉ et al., 2013), Países Balcas (CAMPODÓNICO et al., 2003). O modelo também utiliza a Decomposição de Benders para dividir o problema de expansão e de operação. No subproblema de operação é utilizada a técnica de Programação Dinâmica Dual Estocástica (SDDP), desenvolvida pela consultoria e também utilizada no planejamento da operação do sistema elétrico brasileiro (NEWAVE e DECOMP).

No início da década 2000, foi desenvolvido pelo CEPEL o MELP, Modelo de Expansão de Longo Prazo (JUNIOR, 2000), depois aperfeiçoado por Lisboa et al (LISBOA et al., 2003).

O MELP escolhe uma série hidrológica média para estimar o custo da expansão e adiciona uma restrição de uma série hidrológica crítica, para evitar o déficit. Assim estima-se o custo de operação por uma hidrologia média e o sistema deve atender uma condição crítica.

Em 2008, Henrique Santos propôs em sua tese de doutorado o MELP Ambiental que adiciona uma restrição ao modelo de Machado Junior (SANTOS, 2008). A restrição incluída limita as emissões ambientais no portfólio de geração em operação e traz como consequência maior tendência de expansão pelas renováveis.

### 3.3 Modelo de Decisão de Investimentos - MDI

O Modelo de Decisão de Investimento foi proposto por Gandelman (2015) e desde 2018 foi incorporado ao Planejamento da Expansão do setor elétrico brasileiro.

No MDI, o sistema de geração é composto de usinas existentes, usinas planejadas ou já contratadas e projetos candidatos para expansão. Os subsistemas são representados como um grafo, em que cada subsistema possui uma projeção de demanda de energia (demanda média mensal) e potência (demanda máxima instantânea). O sistema de transmissão é representado por interligações ligando os diversos subsistemas (grafo capacitado), onde cada interligação possui uma capacidade máxima de intercâmbio (em cada sentido) e um custo unitário de ampliação. Pode-se considerar um percentual de perdas variável ao longo do horizonte de estudo para cada interligação.

As usinas (existentes e candidatas para expansão) são representadas individualmente e o atendimento é realizado em termos dos balanços de energia por patamar de carga e capacidade. A aleatoriedade das vazões naturais para a representação das usinas hidrelétricas é representada através da construção de cenários de energia produzida por cada usina hidrelétrica, associados a uma determinada probabilidade de ocorrência.

O MDI é resolvido no software Python, utilizando o pacote PYOMO e o solver CPLEX. Tal qual o MELP, utiliza as técnicas de programação linear inteira mista para resolução do problema.

O MDI procura minimizar os custos de operação e investimento ao longo do horizonte de expansão, técnica também utilizada nos modelos de expansão de geração tradicionais.

$$Min : \sum_0^T (CF_t + CV_t) \quad (3.1)$$

Onde  $CF_t$  representa o Custo Fixo no período  $t$  e  $CV_t$ , o Custo Variável no período  $t$ . Os custos fixos considerados são:

- Custos de Operação e Manutenção (O&M);
- Custos com encargos;
- Custo de investimento;
- Custo de Capital.

Os custos variáveis considerados são:

- Custo associado ao Despacho Térmico;
- Déficit de energia;
- Déficit de capacidade;
- Penalidades.

O modelo possui seis grupos de restrições do problema:

- Atendimento Energético;
- Atendimento de capacidade;
- Disponibilidade de fontes e projetos;
- Representação do sistema;
- Investimentos;
- Restrições adicionais (Step, limite máximo, incrementais).

### 3.3.1 Função Objetivo

A seguir apresenta-se a função objetivo do modelo MDI.

$$\begin{aligned}
& \text{Min} \sum_{k \in K} \frac{1}{(1+tx)^k} * \left[ \sum_{c \in C} \sum_{s \in S} H_p * p_c * d_p * \left[ \left( \sum_{t \in TE} G_{c,te,k,p}^{TE} * CVU_{te,k} \right) + \right. \right. \\
& \left. \left( \sum_{t \in TP} G_{c,tp,k,p}^{TP} * CVU_{tp,k} \right) + \left( \sum_{s \in S} D_{c,s,k,p}^E * CD_p^E \right) + \left( \sum_{a \in A} B_{c,a,k,p}^A * CB \right) \right] + \\
& \left( \sum_{c \in C} \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} CI * p_c * \left( \sum_{p \in P} (I_{c,i,j,k,p}^E + I_{c,i,j,k,p}^P) \right) \right) + \\
& \left( \sum_{c \in C} \sum_{p \in P} PGH * p_c * \left( \sum_{s \in S} GHP_{c,s,k,p}^E + \sum_{h \in H} GHP_{c,h,k,p}^H \right) \right) + \\
& \left( \sum_{c \in C} \sum_{p \in P} CD^P * D_{c,s,k}^P \right) + \left( \sum_{h \in H} FC_h^H * \sum_{k'=1}^k \pi_{h,k'}^H \right) + \\
& \left. \left( \sum_{r \in R} FC_r^R * C_{r,k}^R + \sum_{tp \in TP} FC_{tp}^{TP} * C_{tp,k}^{TP} + \sum_{a \in A} FC_a^A * C_{a,k}^A + \sum_{i \in I} \sum_{j=i}^S FC_{i,j}^I * C_{i,j,k}^I \right) \right] \quad (3.2)
\end{aligned}$$

Onde:

- $\sum_{k \in K} \frac{1}{(1+tx)^k}$

Refere-se ao termo que traz a valor presente os custos de investimento e de operação. Para o PDE 2030 a taxa de desconto considerada foi de 8% ao ano.

- $\left[ \sum_{c \in C} \sum_{s \in S} H_p * p_c * d_p * \right.$

Refere-se a multiplicação entre a quantidade de horas do patamar de carga, a probabilidade de ocorrência da condição hidrológica "c" e a duração do patamar de carga em %.

- $\left[ \left( \sum_{t \in TE} G_{c,te,k,p}^{TE} * CVU_{te,k} \right) + \left( \sum_{t \in TP} G_{c,tp,k,p}^{TP} * CVU_{tp,k} \right) + \right.$   
 $\left. \left( \sum_{s \in S} D_{c,s,k,p}^E * CD_p^E \right) + \left( \sum_{a \in A} B_{c,a,k,p}^A * CB \right) \right]$

Refere-se, respectivamente, aos custos com térmicas existentes (sobrescrito TE), térmicas novas (sobrescrito TP), custo de déficit de energia (sobrescrito E), custo com acúmulo de energia de projetos de energia armazenada (termo com CB).

- $\left( \sum_{c \in C} \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} CI * p_c * \left( \sum_{p \in P} (I_{c,i,j,k,p}^E + I_{c,i,j,k,p}^P) \right) \right)$

Refere-se, a penalidade aplicada aos intercâmbios para evitar fluxos bidirecionais (sobrescrito E indica intercâmbio de energia e P de potência).

$$\bullet \left( \sum_{c \in C} \sum_{p \in P} PGH * p_c * \left( \sum_{s \in S} GHP_{c,s,k,p}^E + \sum_{h \in H} GHP_{c,h,k,p}^H \right) \right)$$

Refere-se a penalidades por geração hidráulica mínima de usinas hidroelétricas existentes (sobrescrito E) e hidroelétricas candidatas a expansão (sobrescrito H).

$$\bullet \sum_{c \in C} \sum_{p \in P} CD^P * D_{c,s,k}^P$$

Refere-se ao custo de déficit de capacidade para o cenário c, subsistema s, período k (termo D refere-se ao déficit de capacidade).

$$\bullet \sum_{h \in H} FC_h^H * \sum_{k'=1}^k \pi_{h,k'}^H$$

Refere-se ao custo do projeto hidroelétrico h, candidato a expansão.

$$\bullet \sum_{r \in R} FC_r^R * C_{r,k}^R +$$

Refere-se ao custo do projeto renovável r, candidato a expansão.

$$\bullet \sum_{tp \in TP} FC_{tp}^{TP} * C_{tp,k}^{TP} +$$

Refere-se ao custo do projeto térmico t, candidato a expansão.

$$\bullet \sum_{a \in A} FC_a^A * C_{a,k}^A +$$

Refere-se ao custo de unidades de armazenamento a, candidato a expansão.

$$\bullet \sum_{i \in I} \sum_{j=i}^S FC_{i,j}^I * C_{i,j,k}^I$$

Refere-se ao custo com expansão de linha de transmissão que conecta o subsistema i ao j.

### 3.3.2 Restrições

Como destacado anteriormente, são seis conjuntos de restrições tratados no Modelo de Decisão de Investimento. Serão apresentadas a seguir, de forma simplificada, cada uma das restrições.

- Restrição de Atendimento Energético

$$Gerao + Intercmbios + Dficit - Armazenamento \geq Demanda \quad (3.3)$$

Esta restrição estabelece que, para cada período, a soma da energia gerada e do déficit subtraídos da energia armazenada deve ser maior ou igual a demanda. Esta restrição deve ser atendida em cada subsistema, cenário, período do planejamento e patamar de carga.

- Restrição de Atendimento de Capacidade

$$PotDisp_{term} + GerPonta_{fontes} + Interc_{cap} + Dficit_{cap} \geq Folga * Dem_{mx} \quad (3.4)$$

As restrições de atendimento de capacidade visam garantir o atendimento à demanda máxima instantânea. Esta análise tem importância crescente à medida que a introdução de fontes não controláveis e a dificuldade para a expansão de hidrelétricas com reservatórios de regularização tem diminuído a capacidade do sistema de suprir os picos de demanda. Este conjunto de restrições emula uma folga de capacidade no sistema (no PDE 2030 adota-se 104% da demanda máxima instantânea). O não atendimento a esta restrição implica em penalidade por déficit de capacidade, cujo custo é definido pelo usuário. Como forma de diminuir o risco de suprimento, adota-se um custo elevado para esta penalidade.

- Restrições de Disponibilidade de Fontes e Projetos

$$Gerao_{mn} \leq Gerao \leq Gerao_{mx} \quad (3.5)$$

$$Capacidade_t \leq Capacidade_{t+1} \quad (3.6)$$

$$DatadeEntrada \geq DatadeEntrada_{mn} \quad (3.7)$$

$$\sum_{pat} GeraoHidro_{pat} * Horas_{pat} \leq SerieHidro \quad (3.8)$$

$$\sum_{pat} EnForn_{pat}^{arm} * Horas_{pat} \leq Rend * \sum_{pat} EnArm_{pat}^{arm} * Horas_{pat} \quad (3.9)$$

Estas restrições aplicam ao problema as condições e limites de oferta de capacidade de geração. São considerados limites de geração máxima e mínima de usinas. Há também restrição específica para a oferta candidata à expansão representada por variáveis contínuas, que assegura que não haverá desinvestimento, ou seja, que a capacidade instalada dos projetos no instante  $t$ , será maior ou igual à do instante  $t - 1$ . Além disso, tem-se restrições para garantir que a geração por patamar de hidrelétricas e projetos de tecnologia de armazenamento respeitem a média mensal.

- Restrições de Representação no Sistema

$$Interc \leq CapInterc_{exist} + CapInterc_{expa} \quad (3.10)$$

$$Interc_{i,j} + \dots + Interc_{k,j} \leq Lim_{recej} \quad (3.11)$$

O modelo representa o sistema de transmissão através das principais interligações entre subsistemas, e uma das variáveis de decisão do problema é a expansão destes troncos de interligação. Este conjunto de restrições assegura que o intercâmbio de energia entre os submercados não ultrapasse o limite das linhas de transmissão somado à sua possível expansão. É possível definir valores percentuais de perdas para cada período do horizonte de estudo para cada interligação em cada patamar de carga.

- Restrições de Investimento

$$\sum_{perodos} Investimento_{proj} \leq 1 \quad (3.12)$$

A variável de decisão de investimento em cada projeto indica o período em que ocorre o investimento correspondente. Esta variável é um vetor com dimensão igual ao número de períodos, com valor “0” em todos, exceto na posição correspondente ao período em que ocorrerá o investimento, na qual o valor será “1” se houver investimento naquele projeto.

- Restrições Adicionais

$$Capacidade_t - Capacidade_{t-12} = Step \quad (3.13)$$

$$Step_{min} \leq Step \leq Step_{max} \quad (3.14)$$

$$Capacidade_t \leq Limite_{anual} \quad (3.15)$$

$$Capacidade_t = Valor_{igualdade} \quad (3.16)$$

As restrições adicionais do MDI são normalmente utilizadas para representar políticas energéticas ou mesmo emular algumas condições industriais, de mercado e potencial a ser explorado, como limites máximos ou mínimos para a entrada de determinadas fontes de geração, adoção de expansão uniforme durante o horizonte, entre outras. São, portanto, opcionais.

### 3.4 Modelagem proposta: MDI-Emprego

O modelo proposto é uma modificação do MDI original, apresentado na seção 3.3, que considera as diferentes contribuições das fontes de geração de energia para criação de empregos (RUTOVITZ; DOMINISH; DOWNES, 2015). Para isso, foi incluído no modelo proposto por Gandelman (2015) e, atualizado pela EPE em 2019, um conjunto de restrições nomeado de Restrições de Empregos. Assim como no MDI original, o MDI-Emprego foi construído em Python, utilizando o pacote de dados do PYOMO e o solver CPLEX para resolver o problema de Programação Linear Inteira Mista.

As Restrições de Empregos foram construídas com base nos Fatores de Empregos, que são índices calculados pela relação entre a quantidade de empregos gerados e a capacidade instalada de cada fonte de geração. Neste artigo, foram utilizados os índices de Fator de Empregos indicados no artigo do Rutovitz (RUTOVITZ; DOMINISH; DOWNES, 2015), que realizou uma extensa revisão de literatura e considerou uma média dos Fatores de Emprego de várias fontes de geração para três grandes fases das usinas: Construção e Instalação (C&I), Operação e Manutenção (O&M), fabricação. A Tabela 4 apresenta a indicação dos Fatores de Empregos considerados neste artigo.

Tabela 4: Fatores de Emprego considerados, valores referenciados por Rutovitz (RUTOVITZ; DOMINISH; DOWNES, 2015)

Fontes de Geração	Construção & Instalação (empregos-ano/MW)	Operação & Manutenção (empregos/MW)
Carvão	11,2	0,1
Gás Natural	1,3	0,1
Nuclear	11,8	0,6
Biomassa	14,0	1,5
Hidroelétrica	7,4	0,2
PCH	15,8	4,9
Eólica	3,2	0,3
Solar Fotovoltáica	13,0	0,7

### 3.4.1 Índice de Fator de Empregos Global - IFEG

De modo a relacionar as usinas do portfólio de geração do sistema e a quantidade estimada de empregos a elas associadas, foi criado o Índice de Fator de Empregos Global do parque de geração (IFEG). Este índice indica a quantidade estimada de empregos total do parque de geração para cada MW instalado, conforme a seguinte equação geral.

$$IFEG_{sistema,t} = \frac{\sum_{i \in I} FE_i * CI_{i,t}}{\sum_{i \in I} CI_{i,t}} \quad (3.17)$$

Onde:

$FE_i$ : Fator de Empregos da fonte i

$CI_{i,t}$ : Capacidade Instalada da fonte i no período t

Neste artigo foram consideradas as fases de Operação & Manutenção (O&M), para usinas já construídas, e de Construção & Instalação (C&I), para novas unidades de geração.

Para a fase de Operação & Manutenção, o  $IFEG$  calculado se baseou nos Fatores de Emprego de O&M e nas capacidades instaladas das fontes em cada período do horizonte de planejamento, e foi nomeado  $IFEG_{O\&M}^p$ . Para a fase de Construção & Instalação, o  $IFEG$  calculado se baseou nos Fatores de Emprego de C&I e nas capacidades instaladas acumuladas do horizonte planejado, foi nomeado  $IFEG_{C\&I}^{dec}$ . As equações a seguir

detalham o cálculo destes índices.

$$IFEG_{O\&M,t} = \frac{\sum_{i \in I} FE_i^{O\&M} * CI_{i,t}}{\sum_{i \in I} CI_{i,t}} \quad (3.18)$$

$$IFEG_{C\&I}^{dec} = \frac{\sum_{i \in I} FE_i^{C\&I} * \sum_{t \in T} CI_{i,t}}{\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} CI_{i,t}} \quad (3.19)$$

### 3.4.2 Restrição de Empregos de Operação

A restrição de Empregos de Operação parte da premissa de que o  $IFEG_{O\&M}$ , em cada período do horizonte de planejamento, deve ser maior ou igual ao índice do período anterior ao planejado, período zero. O período zero é o período corrente, onde o planejador já conhece o portfólio de geração existente e o  $IFEG_{O\&M}$  existente, portanto, também é conhecido. Ou seja, a restrição estabelece que o Índice de Fator de Empregos Global, em cada período do horizonte de planejamento, deve ser pelo menos igual ao do período zero.

$$IFEG_{O\&M}^p \geq IFEG_{O\&M}^0 \quad (3.20)$$

Esta restrição permite que, em cada período do horizonte de planejamento, a capacidade instalada em operação no sistema mantenha ou aumente a quantidade de empregos atribuído ao portfólio de geração. Isso permite que fontes de geração mais mão-de-obra intensivas durante a fase de O&M tenham um peso maior na decisão de investimento.

### 3.4.3 Restrição de Empregos de Expansão

A restrição de Empregos de Expansão considera que o  $IFEG_{C\&I}$  deve ser, pelo menos, maior ou igual ao índice calculado pelo modelo MDI tradicional, sem as restrições de emprego. Em resumo, foi adotado o seguinte procedimento. Resolveu-se o modelo MDI tradicional, sem as restrições de emprego, e calculou-se  $IFEG_{C\&I}^{MDI}$  com o resultado da expansão planejada e com os Fatores de Emprego de C&I. Em seguida, foi incluído a Restrição de Empregos de Expansão condicionando que o  $IFEG_{C\&I}^{dec}$ , das usinas planejadas no horizonte de expansão seja maior ou igual ao primeiro.

$$IFEG_{C\&I,dec}^{MDIemprego} \geq IFEG_{C\&I,dec}^{MDI} \quad (3.21)$$

Esta restrição permite que fontes de geração mais mão-de-obra intensivas durante a fase de C&I tenham um peso maior na decisão de investimento.

## 3.5 Resultados

Serão considerados três cenários do modelo MDI-Empregos. O primeiro é o cenário base, exatamente como demonstrado na seção anterior. O segundo e o terceiro consideram um fator de sensibilidade nas desigualdades 3.22 e 3.23 de modo a avaliar a sensibilidade da restrição quando se altera os IFEG's de referência.

$$IFEG_{O\&M}^p \geq FS * IFEG_{O\&M}^0 \quad (3.22)$$

$$IFEG_{C\&I,dec}^{MDIemprego} \geq FS * IFEG_{C\&I,dec}^{MDI} \quad (3.23)$$

Onde: FS: Fator de Sensibilidade

Foram simulados Fatores de Sensibilidade iguais a 1, 1.5 e 2. O primeiro refere-se ao cenário base e será nomeado cenário 1, o segundo, cenário 2 (FS=1.5) e o terceiro, cenário 3 (FS=2).

### 3.5.1 Capacidades Instaladas de Expansão 2030

A Figura 13, a seguir, apresenta os resultados da expansão planejada, em MW acumulados, por fonte de geração, para cada um dos modelos simulados. Os resultados são apresentados até o horizonte de expansão de 2030. O modelo nomeado MDI 2030 é o Modelo de Decisão de Investimento (MDI) utilizado pela EPE como subsídio ao Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (PDE 2030). O MDI Emprego\_Cen1 é o modelo proposto no cenário base, conforme apresentado na seção 3.4. Os Cenários 2 e 3 consideram os fatores de sensibilidade, conforme indicados nas equações 3.22 e 3.23.

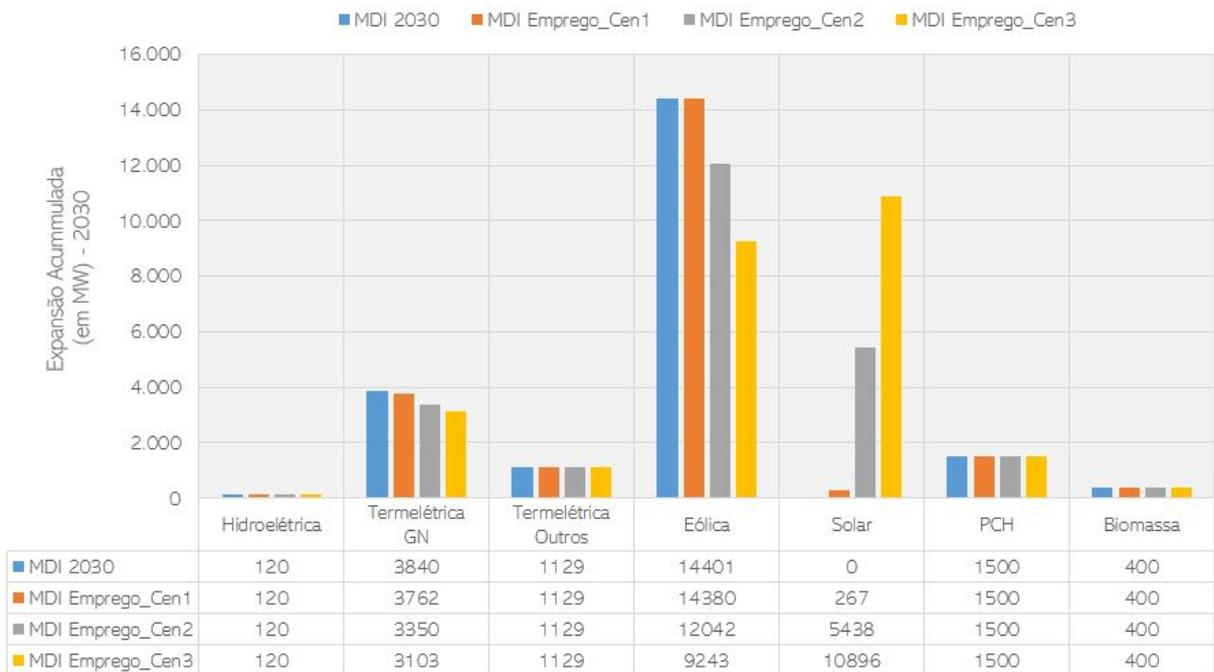


Figura 13: Resultados da Expansão na Capacidade Instalada (MW) por fonte de geração (horizonte 2030)

As Figuras 14 mostram as diferentes composições da matriz elétrica em 2030 para cada um dos modelos simulados.

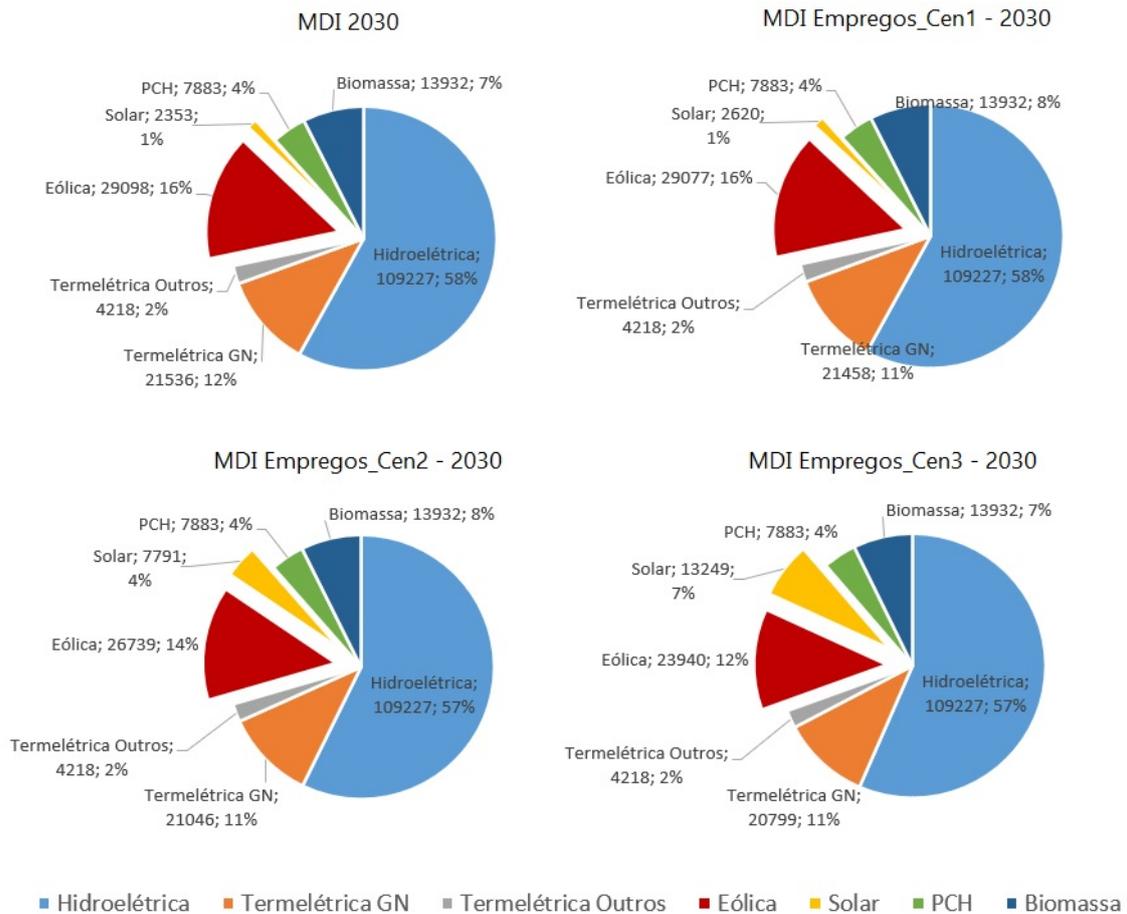


Figura 14: Matriz Elétrica em 2030 para cada modelo simulado

De uma forma geral, o MDI-Emprego indica redução de contratação das fontes Termelétrica-GN e Eólica e aumento de contratação de fonte Solar fotovoltaica. A manutenção das outras fontes pode ser explicada pelas restrições adicionais, principalmente de step e de limite máximos anuais, consideradas no modelo base do MDI-2030 para planejamento da expansão.

### 3.5.2 MDI Empregos: Fonte Solar e Eólica

Os resultados do modelo MDI-Empregos são especialmente úteis quando analisa-se as indicações das fontes eólica e solar fotovoltaica. Como mostrado na subseção anterior, quando incluídas as restrições no IFEG, os resultados sugerem redução da contratação eólica e aumento da solar. Fato explicado pela maior intensidade de mão-de-obra de uma fonte em relação à outra.

Ressalta-se que mesmo no cenário de maior restrição no IFEG (Cenário 2), o modelo

ainda sugere contratação de 9.000 MW de eólica, mostrando a competitividade da fonte no Brasil. A Figura 15 mostra o resultado da expansão projetada para estas duas fontes e a expansão total projetada em MW para cada modelo simulado.



Figura 15: Expansão da Capacidade Instalada (MW) das fontes Solar e Eólica para cada modelo

Este resultado é especialmente útil quando se analisa a proposta final do PDE 2030, considerado pela Empresa de Pesquisa Energética após a consulta pública em 2020<sup>3</sup>. Na proposta, é indicado um volume de geração solar fotovoltaica diferente do resultado original do modelo MDI, com um acréscimo de 3.657 MW de capacidade contratada da fonte. Não está claro no documento qual critério foi adotado para ampliar a capacidade instalada da fonte, o que pode ter sido consequência de eventuais contribuições de agentes do setor. O fato é que a proposta final do PDE 2030, com a inclusão de mais geração solar fotovoltaica e redução de eólica, se aproxima do resultado alcançado com o modelo proposto, MDI-Empregos.

### 3.5.3 Impacto nos Empregos

Considerando as premissas indicadas na seção 3.4, foram estimadas as quantidades de postos de trabalho associadas a cada fonte de geração resultante da expansão projetada nos modelos. A Figura 16, mostra a quantidade de postos de trabalho das fases de O&M (Operação e Manutenção) e de C&I (Construção e Instalação), associadas a matriz

<sup>3</sup><https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>

projetada para cada modelo simulado.

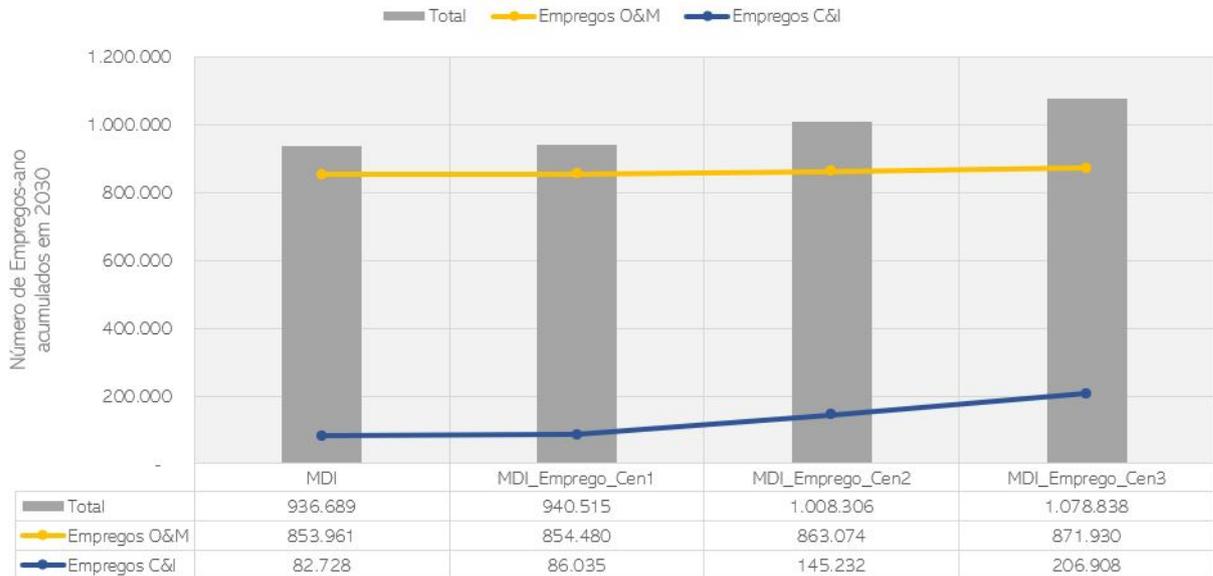


Figura 16: Criação de postos de trabalho - horizonte 2030

Os resultados mostram que a expansão do setor elétrico brasileiro considerando o modelo MDI-Empregos resultaria em um aumento de quatro mil postos de trabalho no cenário base até o horizonte de 2030. E, considerando os cenários 2 e 3, haveria um incremento de setenta mil e de cento e quarenta mil postos de trabalho, respectivamente. Além do benefício associado ao maior número de empregos, os resultados se mostram mais consistentes energeticamente, uma vez que o portfólio de geração renovável foi melhor distribuído com incremento da fonte solar.

### 3.5.4 Custo Global da Expansão em cada cenário

Como o MDI não considera nenhuma restrição de empregos, ele apresenta o menor custo global de expansão. Os cenários simulados no MDI-Emprego incluem mais uma restrição no modelo, o que aumenta o custo global da expansão, como apresentado na Figura 17.

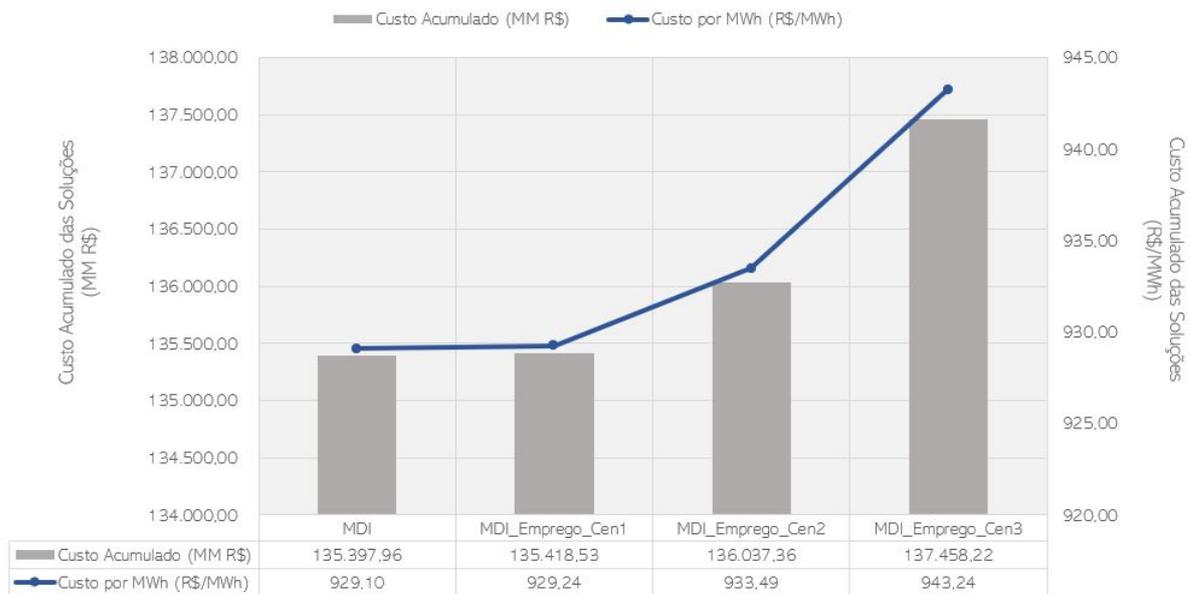


Figura 17: Custo Global da Expansão - MM R\$ e R\$/MWh

A inclusão da restrição de empregos no cenário base (Cenário 1) representa um acréscimo de 0,14 R\$/MWh no custo global da solução (Custo de Investimento e Operação) ao longo do horizonte de planejamento. Em contrapartida, neste cenário há um aumento de 4.000 postos de trabalho e uma maior diversificação nas fontes de geração (aumento da participação de solar e redução de eólicas), que impacta na redução do risco de desabastecimento. Tais resultados são potencializados nos cenários 2 e 3.

Ademais, o incremento de 0,14 R\$/MWh ao longo do horizonte de planejamento representa apenas 0,05% do valor cobrado no encargo de serviço do sistema cobrado ao consumidor em 2020 pelo uso de térmicas fora da ordem de mérito<sup>4</sup>. O ESS é cobrado quando, na operação do sistema elétrico, há necessidade de acionamento de térmicas fora da ordem de mérito econômico<sup>5</sup>.

### 3.6 Conclusão do Capítulo

Os modelos de Planejamento da Expansão da Geração de Energia tradicionais consideram o objetivo primaz de reduzir o custo de operação e investimento ao longo do horizonte de planejamento sujeito a um conjunto de restrições. Mais recentemente, com

<sup>4</sup>Dados do Relatório Anual da CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica) - <https://www.ccee.org.br/relatoriodeadministracao/40-operacoes-30-6.html>

<sup>5</sup>O despacho das usinas no sistema elétrico brasileiro é baseado nos modelos de planejamento da operação NEWAVE e DECOMP, que apontam quais usinas devem ser acionadas dentro da ordem de mérito econômico.

a incorporação de novas tecnologias de geração e aumento de restrições ambientais, tem chamado atenção da academia, governos e agências de desenvolvimento a inclusão de aspectos sociais nesses modelos. Dentre os aspectos sociais, as dinâmicas envolvendo criação e destruição de empregos no setor de energia tem tido maior relevância pelos potenciais impactos que trazem em curto e médio prazos.

Neste artigo, a partir do modelo proposto, MDI-Emprego, foi possível projetar uma matriz elétrica brasileira em 2030 que aumenta a quantidade de empregos criados e a diversificação da matriz renovável em relação à matriz projetada pelo modelo atualmente utilizado na expansão do setor elétrico brasileiro (MDI). No cenário base simulado, houve criação de 4.000 postos de trabalho e ampliação da participação solar fotovoltaica na matriz. O custo de expansão neste cenário sofreu um incremento de 0,015% em relação a expansão projetada no modelo original. Os resultados sugerem uma redução na expansão renovável através de energia eólica e aumento na expansão através de fonte solar fotovoltaica quando se considera a contribuição das fontes para criação de empregos. No cenário 2, que considera um fator de sensibilidade de 1,5 em relação ao  $IFEG_{ref}$ , houve um acréscimo de 5.000 MW de geração solar fotovoltaica em relação ao modelo original. Ao mesmo tempo, o cenário reduz a contratação de energia eólica em cerca de 2.000 MW ao longo do horizonte de expansão. Apesar da redução, o volume de energia eólica contratada ainda representa o maior percentual entre as renováveis. No cenário 3, cujo fator de sensibilidade é alterado para 2, há uma redução de contratação eólica de 5.000 MW e aumento para 10.000 MW contratados de energia solar fotovoltaica, agravando os resultados identificados nos cenários anteriores.

De uma forma geral, os resultados mostram que, ao se incluir aspectos sociais envolvendo dinâmicas de empregos no planejamento energético nacional, há uma melhor alocação da matriz elétrica planejada a um baixo custo adicional de expansão. Ademais, houve maior diversificação entre as fontes renováveis no modelo proposto, o que contribui para uma maior segurança de abastecimento e o incentivo a um mercado não dominante na região.

# 4 Empregos Sustentáveis: Multiplicadores de emprego de energia eólica e solar fotovoltaica no Brasil

## Capítulo 4

### 4.1 Introdução

O uso de energias renováveis cresce largamente no mundo juntamente com preocupações com segurança energética, mudanças climáticas e poluição do ar (CAMERON; ZWAAN, 2015). Neste novo cenário, formuladores de política pública têm buscado mensurar os impactos das novas tecnologias na economia mundial e local. O potencial de empregos criados pelas energias renováveis, em particular, tem recebido atenção tanto da academia como de agências governamentais e do setor privado (GATTO; DRAGO, 2021). A Agência Internacional de Energias Renováveis estima a criação de 25 milhões de postos de trabalho associados ao setor renovável até 2050. A última revisão anual publicada pela agência indica que em 2018 havia 11 milhões de trabalhadores do setor no mundo (IRENA, 2020c). Boa parte do crescimento projetado provém das fontes eólica e solar fotovoltaica (IRENA, 2020c).

No Brasil, estas duas fontes têm aumentado sua participação na matriz energética. Nos últimos dez anos, a fonte eólica cresceu 16 vezes em capacidade instalada (Figura 18). A fonte solar apresentou crescimento significativo nos últimos quatro anos, superando 2.000 MW instalados. Boa parte do crescimento, foi sustentada com políticas públicas de incen-

tivo à geração renovável, seja através de descontos tarifários<sup>1</sup> ou de crédito subsidiado<sup>2</sup>.

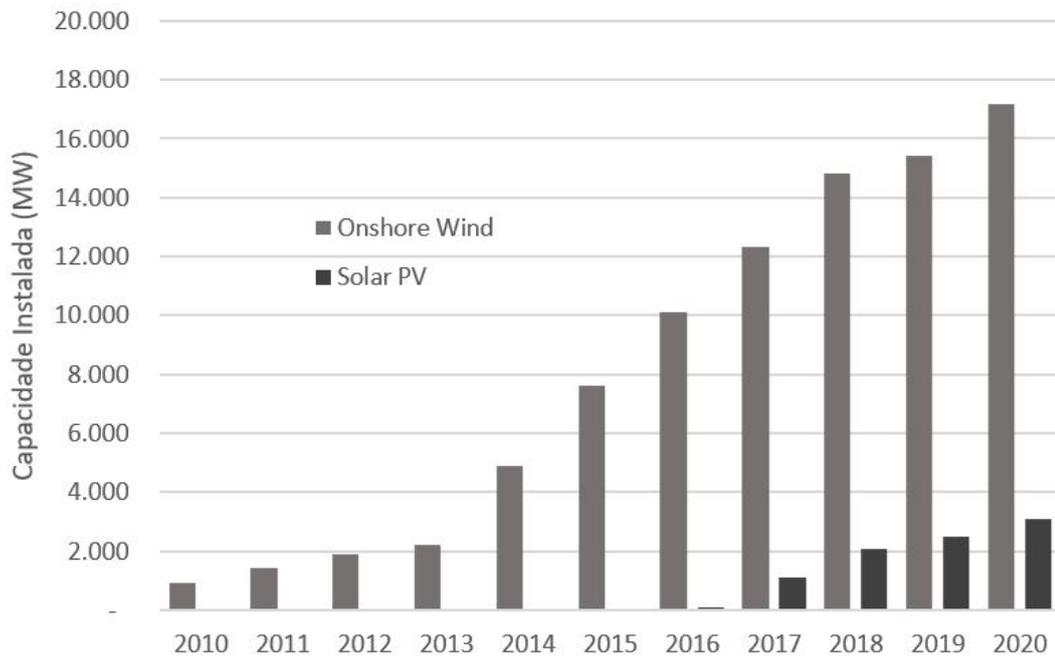


Figura 18: Evolução da geração eólica e solar

Nos últimos três leilões de energia nova, que objetiva a contratação de novos empreendimentos no Ambiente Regulado, realizados de 2019 a 2021, as fontes eólica e solar juntas representaram 43% do volume contratado. As duas fontes também foram as que apresentaram menor preço médio contratado (Figura 19).

<sup>1</sup> A Resolução ANEEL 77/2004 estabeleceu descontos nas tarifas de transmissão e de distribuição para empreendimentos de geração renovável como incentivo à diversificação das fontes de geração no Brasil.

<sup>2</sup> [https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/visao/visao\\_69.pdf](https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/visao/visao_69.pdf)

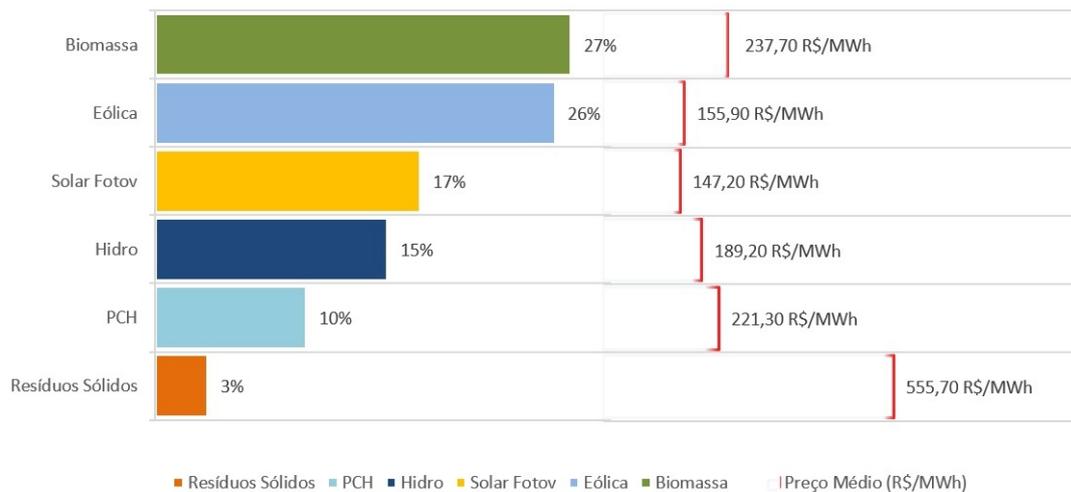


Figura 19: Volume contratado e preço médio dos últimos três leilões de energia nova

No PDE 2030, elaborado pela EPE, é projetado um aumento de 200% de geração eólica e de 300% de geração de solar fotovoltaica até 2030. Neste cenário de crescimento destas fontes renováveis, torna-se relevante mensurar o impacto desta expansão no mercado de trabalho. No Brasil, apesar do aumento do número de unidades de geração, não há trabalhos que identifique multiplicadores de emprego da fonte solar fotovoltaica. Para a fonte eólica, há apenas um trabalho com dados primários sobre o tema (SIMAS; PACCA, 2013), cujos autores coletam dados de empregos em entrevistas a empresas do setor eólico e, a partir daí, calculam o impacto indireto de empregos usando análise de insumo-produto. Uma das limitações do trabalho diz respeito ao número restrito de empresas consultadas, o que contribui para aumentar a incerteza dos resultados. Além deste, Santos et al. (2018) utilizou análise de insumo produto para avaliar o impacto do setor energético em empregos, incluindo a indústria sucroalcooleira. O autor destaca que concentração de boa parte dos empregos do setor na região sudeste do país. Uma limitação do trabalho foi a consideração de setores não renováveis como gás natural, o que acaba por distorcer os resultados relacionados ao setor renovável. Outra limitação é a consideração de nove atividades para caracterizar o setor energético, incluindo a comercialização e distribuição da energia, apresentando resultados agregados e não apenas relacionados aos empreendimentos de geração de energia.

Na literatura internacional, há vários trabalhos que procuram estimar impacto do setor energético nos empregos, com resultados variados. Moreno e Lopez (2008) analisou o impacto dos empregos na região das Astúrias (Espanha) utilizando multiplicadores de emprego de estudos anteriores. Na fase de Construção e Instalação (C&I), considera um

fator de empregos solar de 34,6 empregos ano por MW instalado e para a fonte eólica de 13 empregos-ano por MW. Wei, Patadia e Kammen (2010) fazem uma projeção dos empregos a serem gerados no mundo pelas diferentes fontes de geração utilizando como referência vários estudos anteriores, utiliza um fator de empregos médio para a fase de C&I de 37 empregos-ano por MW para a fonte solar e de 10,1 empregos-ano por MW para a fonte eólica. Cameron e Zwaan (2015) faz uma revisão bibliográfica dos multiplicadores de emprego no setor de energia e encontra, em média, o fator de empregos de C&I para fonte solar fotovoltaica 5 vezes maior do que o da fonte eólica. Rutovitz, Dominish e Downes (2015) utilizando dados primários de vários países do mundo, complementado com estudos de referência, encontra que a fonte solar fotovoltaica possui um fator de empregos de C&I de 13 empregos-ano para cada MW instalado, enquanto que a fonte eólica possui, na mesma fase, um fator de 3,2 empregos-ano para cada MW instalado. Garrett-Peltier (2017) utiliza um modelo de insumo-produto para quantificar multiplicadores de empregos diretos e indiretos para várias tecnologias de geração. Para a fonte solar, encontram um fator de empregos diretos 5% superior ao da fonte eólica. Pai et al. (2020) utiliza como referência para o fator de empregos estudos anteriores e calcula o impacto local das fontes renováveis na China, Índia, Estados Unidos e Austrália. Como resultado, Pai et al. (2020) identifica que em muitos estados destes países a redução dos empregos nas minas de carvão não seriam substituídos pelos empregos nas fontes renováveis, que seriam gerados em outros territórios. Dell'Anna (2021), utiliza uma análise de insumo-produto do setor energético italiano para quantificar os fatores de empregos de diversas fontes. O fator de empregos encontrado por Dell'Anna (2021) para a fonte solar fotovoltaica na fase de C&I é 24% superior ao da fonte eólica.

De uma forma geral, os trabalhos citados utilizam dados secundários ou abordagem de insumo-produto para calcular o fator de empregos. A utilização de dados secundários limita a confiabilidade dos resultados, tanto pela defasagem temporal em relação ao estudo original quanto pela utilização de multiplicadores de um país em outros. Já o método de insumo-produto possui como maior limitação a agregação dos dados setoriais, especialmente quando utilizado para calcular empregos diretos. Ao desconsiderar as especificidades locais na formação dos índices de empregabilidade se ignora questões específicas do território como infraestrutura logística e nível de educação da mão de obra, o que impacta diretamente na produtividade da mão de obra e, conseqüentemente, nos índices calculados. O uso de técnicas bottom-up para cálculo dos índices de emprego direto incluem estes efeitos locais na identificação dos índices, o que será considerado neste capítulo.

No Brasil, a baixa disponibilidade de dados primários em plataformas abertas contribui para o baixo número de trabalhos nesta área. Neste capítulo, os dados para estimar os empregos diretos foram extraídos a partir de informações primárias obtidas das empresas geradoras de energia quando da solicitação de crédito do Fundo do Desenvolvimento do Nordeste (FDNE). O FDNE foi criado em 2012 pelo governo brasileiro, regulamentado pelo Decreto presidencial 7838/2012. O objetivo do fundo é de assegurar recursos públicos para investimentos no nordeste brasileiro, região menos desenvolvida do país. O crédito subsidiado pelo tesouro nacional é oferecido a empresas (natura jurídica) com limite de financiamento de até 80% do investimento estimado do projeto e prazo de financiamento de 20 anos. O FDNE financia projetos de várias naturezas, inclusive de geração de energia, e os dados de empregos são requeridos para aprovação do projeto pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene)<sup>3</sup>. As informações são cadastradas pelos proponentes recebedores do crédito e as empresas se responsabilizam legalmente pela veracidade das informações submetidas.

Assim, o objetivo deste capítulo será quantificar os fatores de emprego das fontes eólica e solar fotovoltaica no Brasil, utilizando um modelo híbrido de identificação dos índices de empregos, com dados primários de usinas instaladas no país e análise de insumo-produto.

## 4.2 Metodologia

Existem várias metodologias para avaliar empregos sustentáveis em nível local, regional ou global baseadas no tipo da fonte de geração. A literatura indica dois grupos de metodologias, bottom-up e top-down. As técnicas enquadradas nestes dois grupos possuem limitações, normalmente minimizadas pelo uso de uma combinação entre elas (DELL'ANNA, 2021). Técnicas bottom-up partem de dados locais até considerar o impacto em nível mais agregado. A Abordagem de Fator de Empregos (AFE), se enquadra neste primeiro grupo, onde são calculados coeficientes de emprego por capacidade instalada para diversas fases da vida útil das unidades de geração (DELL'ANNA, 2021). Normalmente se utiliza os índices de quantidade de empregos por capacidade instalada, energia gerada ou custo de investimento (STAVROPOULOS; BURGER, 2020).

Técnicas bottom-up são mais precisas na identificação de impacto local, uma vez que partem de dados específicos de unidades de geração (SASTRESA et al., 2010; GATTO; DRAGO, 2021), enquanto as técnicas top-down são mais comumente aplicadas para estimar

---

<sup>3</sup>A Sudene é uma autarquia do governo federal brasileiro, vinculado ao Ministério do Desenvolvimento Regional. Para mais informações, consulte <https://www.gov.br/sudene/pt-br>

efeitos agregados na economia. Para este objetivo, dois modelos são os mais utilizados, modelos de equilíbrio geral computável (EGC) e análises de insumo produto (AIP). Entretanto, a transparência da fonte dos dados utilizados é de extrema importância para a análise dos resultados. A AFE e AIP são aplicáveis para avaliações de curto e médio prazo, caso deste capítulo, enquanto que modelos EGC são melhor aplicados para investigações de médio e longo prazos (DELL'ANNA, 2021).

O modelo híbrido AFE e AIP será utilizado neste capítulo, semelhante ao utilizado por Simas e Pacca (2013). O arranjo destas técnicas para calcular os fatores de empregos diretos e indiretos será detalhado nas Subseções 4.2.1 e 4.2.2. A Figura 20 ilustra as metodologias empregadas na construção dos fatores de emprego. A visão do ciclo de vida identifica as fases dos empreendimentos, desde os insumos que são considerados na implantação dos parques de geração até o descomissionamento. Para identificação dos principais insumos de implantação, foram utilizados dados da Agência Internacional de Energias Renováveis. A fase de coleta de dados se utilizou da base de dados do FDNE. A aplicação da Matriz Insumo-Produto foi utilizada para calcular os empregos indiretos com a implantação dos parques. A partir de então, é possível quantificar os índices de empregos direto e indireto.

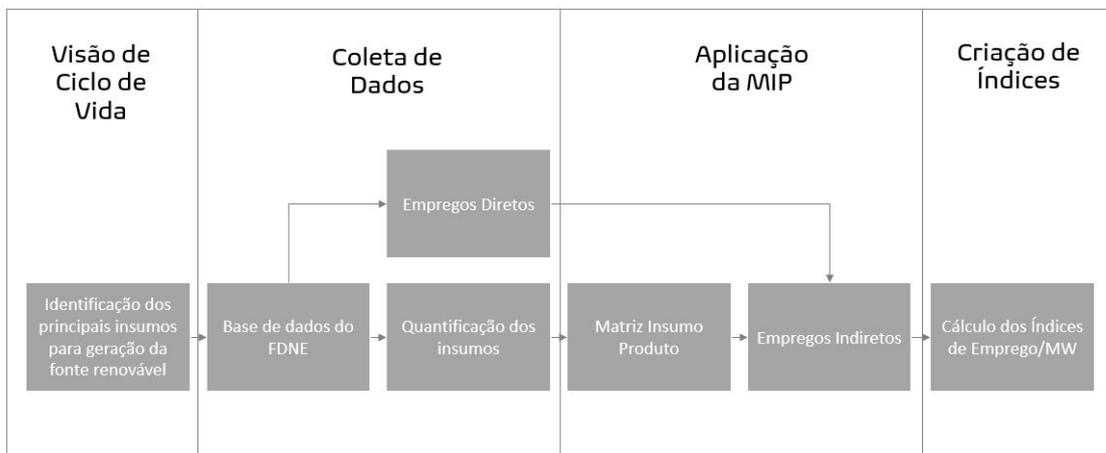


Figura 20: Fluxograma com aplicação das metodologias

A metodologia de insumo-produto, que será aplicada no cálculo dos empregos indiretos, permite uma visão da cadeia de materiais requeridos para desenvolvimento da atividade (Figura 21). Neste capítulo, semelhante ao desenvolvido por Simas e Pacca (2014), foram consideradas como atividades diretas tanto aquelas relacionadas a fase de Construção e Instalação (C&I) como a Operação e Manutenção (O&M). Para cálculo dos multiplicadores indiretos, foram considerados os insumos para Construção e Instalação

(C&I) de uma planta de geração típica por MW instalado<sup>4</sup>.

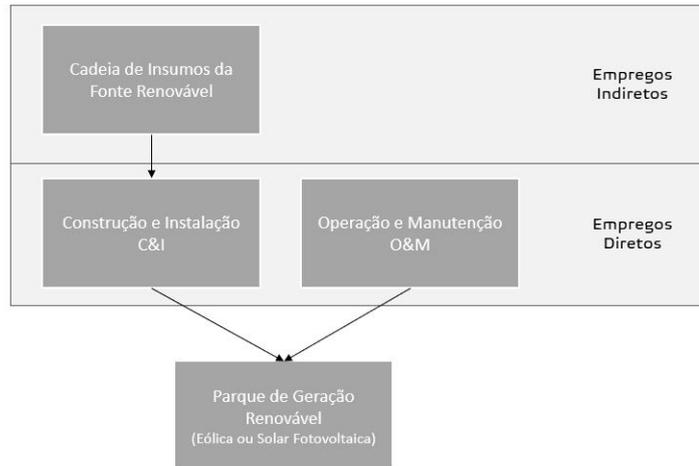


Figura 21: Aplicação da visão de insumo-produto

### 4.2.1 Empregos Diretos

Para calcular os empregos diretos, foi utilizado a Abordagem de Fator de Empregos (AFE), que calcula o fator de empregos diretos pela relação entre as estimativas de empregos gerados e a potência instalada pelas usinas. Alguns trabalhos utilizam fatores de emprego por energia gerada ou por investimento, entretanto, o índice mais comumente utilizado é de estimativas de empregos por MW instalados.

Os fatores de empregos diretos para a fase de O&M são calculados pela relação entre a quantidade de empregos da planta de geração na O&M pela capacidade instalada da usina. Os fatores de empregos diretos para a fase de C&I são calculados pela relação entre a quantidade de empregos da planta de geração na C&I pela capacidade instalada da usina e multiplicado pela tempo de construção normalizado para anos.

As equações a seguir detalham os fatores de emprego.

$$FE_{O\&M}^{dir} = \frac{EE_{O\&M}}{CI} \quad (4.1)$$

$$FE_{C\&I}^{dir} = \frac{EE_{C\&I} * TC}{12 * CI} \quad (4.2)$$

Onde:

<sup>4</sup>Os custos com insumos após a construção e instalação dos parques de geração são drasticamente reduzidos. Segundo dados da IRENA (2017a), os investimentos com O&M dos parques representam menos 2% do valor investido durante a fase de C&I.

- $FE_{O\&M}^{dir}$ : Fator de Empregos diretos na etapa de Operação e Manutenção da usina (em empregos/MW);
- $FE_{C\&I}^{dir}$ : Fator de Empregos diretos na etapa de Construção e Instalação da usina (em empregos-ano/MW);
- $EE_{O\&M}$ : Empregos Estimados na etapa de Operação e Manutenção da usina
- $EE_{C\&I}$ : Empregos Estimados na etapa de Construção e Instalação da usina
- $CI$ : Capacidade instalada da usina (em MW);
- $TC$ : Tempo de Construção (em meses).

Os empregos após a construção do parque, na fase de Operação e Manutenção (O&M), são considerados permanentes ao longo da vida útil do parque de geração (DELL'ANNA, 2021), portanto seu fator de empregos correspondente não se altera no tempo.

## 4.2.2 Empregos Indiretos

Para estimar os efeitos indiretos dos empregos criados nas unidades de geração será utilizada a matriz de insumo-produto (MIP). Este modelo foi teorizado e desenvolvido por Wassily W. Leontief, no qual se quantifica, através de uma matriz, as entradas e saídas de cada setor da economia durante um determinado período (LEONTIEF, 1936). Esta metodologia permite a visão da cadeia produtiva de um produto ou processo, contabilizando insumos e serviços consumidos durante a etapa de produção e a relação entre os diferentes setores da economia. As principais aplicações da MIP são a análise de impacto e a projeção de insumos primários. A primeira aplicação refere-se ao estudo do impacto de uma mudança na demanda final de um dado produto sobre a produção dos demais setores econômicos, enquanto a segunda verifica a projeção dos insumos primários na demanda final (SIMAS; PACCA, 2013).

Se assume nestes modelos que os insumos de um setor tem proporção constante em relação ao produto, o que acaba por desconsiderar efeitos de escala de produção, avanços tecnológicos no tempo, bem como variações de preço. De modo a minimizar efeitos

temporais de se utilizar a matriz insumo-produto de 2015<sup>5</sup>, foram considerados dados cadastrados nas consultas prévias do FDNE para o período de 2015 a 2018.

Há estudos que consideram a totalidade dos empregos gerados no país, como por exemplo estudo desenvolvido por Blanco e Kjaer (2009) para o setor eólico na União Europeia, enquanto outros estudos focam em empreendimentos específicos para análise dos resultados, como Simas e Pacca (2013) e Dell’Anna (2021). Neste capítulo, os multiplicadores de empregos indiretos serão calculados utilizando a metodologia indicada por Simas e Pacca (2013), detalhada abaixo.

O multiplicador de empregos totais, diretos e indireto, mostra o impacto de um aumento na demanda final do setor  $i$  sobre o emprego total, e é dado pela equação:

$$e_{DI} = e_D * Z \quad (4.3)$$

Onde:

- $e_{DI}$  é o vetor do multiplicador de emprego direto e indireto;
- $e_D$  é o vetor do multiplicador de emprego direto
- $Z$  é a Matriz de Leontief

O resultado desta equação é um vetor.

Para cada insumo identificado para implantação do parque de geração, será calculado o multiplicador de empregos direto e indireto, conforme equação 4.3<sup>6</sup>. Em seguida, calcula-se o indicador de emprego indireto da atividade  $j$ , em empregos-ano/MW instalado, conforme equação abaixo.

$$II_j = \sum_i e_{DI} * \frac{Q_i}{MW} \quad (4.4)$$

Onde:

- $II_j$  é o índice de emprego indireto da atividade  $j$ , em empregos-ano/MW;
- $e_{DI}$  é o multiplicador de empregos totais da MIP para o setor  $i$ ;

---

<sup>5</sup>Foi considerada a última publicação divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2015. Para mais informações, consulte <https://www.ibge.gov.br/>

<sup>6</sup>O multiplicador de empregos direto,  $e_D$ , dos insumos foram calculados com base em informações divulgadas pelas associações de classe de cada atividade produtiva, conforme Apêndice XX.

- $Q_i/MW$  é a quantidade, em valor, do consumo do insumo do setor  $i$  para a instalação de 1 MW de energia eólica.

O fator de empregos indireto, em empregos-ano/MW, será dado pela soma dos índices de empregos indiretos dos setores correspondentes aos insumos de implantação do parque:

$$FE^{ind} = \sum_j II_j \quad (4.5)$$

#### 4.2.2.1 Cadeia de Insumos da Energia Eólica

Para subsidiar o cálculo dos multiplicadores de emprego indiretos das plantas de geração de energia eólica, foram considerados dados da Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA, 2017a). O relatório utiliza dados globais e identifica os insumos requeridos para instalação de parques eólicos de grande porte (50 MW). São utilizados dados de fabricação e construção e instalação de uma fazenda eólica de 50 MW.

Tabela 5: Insumos para construção e instalação de gerador eólico de 1 MW (IRENA, 2017a)

Insumos	Quantidade	Unidade
Concreto	457	toneladas
Aço	117	toneladas
Polímeros	14	toneladas
Fibra de Vidro	7	toneladas
Alumínio	3	toneladas
Cobre	2	toneladas

#### 4.2.2.2 Cadeia de Insumos da Energia Solar Fotovoltaica

Para subsidiar o cálculo dos multiplicadores de emprego indiretos das plantas de geração de energia solar fotovoltaicas, foram considerados dados da Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA, 2017b). O relatório utiliza dados globais e identifica os insumos requeridos para instalação de plantas de geração solar fotovoltaica (1 MW). São utilizados dados de fabricação e construção e instalação de uma planta de 1 MW de energia solar fotovoltaica.

Tabela 6: Insumos para construção e instalação de gerador solar fotovoltaico de 1 MW (IRENA, 2017b)

<b>Insumos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Vidro	70	toneladas
Aço	56	toneladas
Concreto	47	toneladas
Aluminio	19	toneladas
Silício	7	toneladas
Cobre	7	toneladas

### 4.3 Dados

Os dados utilizados na quantificação dos empregos diretos foram coletados da base de dados do FDNE, cuja construção se deu a partir de informações fornecidas pelos proponentes recebedores do crédito, quando da apresentação da Consulta Prévia. Para utilizar os recursos do FDNE, as empresas proponentes devem apresentar o projeto a uma consulta prévia da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), autarquia vinculada ao Ministério do Desenvolvimento Regional do Brasil. Após aprovação da consulta prévia pela Sudene, o proponente deve contratar um agente operador do crédito, agência bancária responsável por operacionalizar o recurso<sup>7</sup>.

Na etapa de apresentação das consultas prévias é requerido dos proponentes receptores de recursos, o detalhamento de alguns itens do projeto, dentre eles a quantificação de postos de trabalho a serem criados. Os respondentes atestam veracidade das informações respondidas, podendo inclusive responder criminalmente caso as informações sejam falsas, e submetem a aprovação do pleito. Desta forma, as empresas se responsabilizam legalmente pela veracidade dos dados. Mais informações podem ser consultadas no site da instituição<sup>8</sup>.

Como se tratam de empresas que desejam obter crédito subsidiado do governo federal, supõe-se a presença de um viés de sobredimensionamento dos dados de empregos, ainda que parcialmente mitigado pela responsabilidade criminal das informações prestadas. Entretanto, para o objetivo de comparar a intensidade de mão de obra entre as fontes eólica e solar fotovoltaica, o efeito perde importância, uma vez que se aplica para ambas as fontes.

Dos projetos cadastrados na base de dados do FDNE foram considerados apenas os projetos de geração de energia solar fotovoltaica e eólica, que seguiram até a fase de

<sup>7</sup>Mais informações sobre o FDNE consulte <https://www.gov.br/sudene/pt-br>

<sup>8</sup><https://www.gov.br/sudene/pt-br>

instalação das plantas<sup>9</sup>, e que foram implementados entre 2015 e 2018.

Para aplicação da Análise de Insumo Produto foi utilizada matriz insumo produto de 2015, disponível no site do IBGE<sup>10</sup>.

## 4.4 Resultados

### 4.4.1 Índice de Empregos Diretos

Os fatores de empregos diretos das fontes eólicas e solar fotovoltaica foram calculados a partir de dados primários extraídos da base de dados do FDNE. Foram filtrados desta base, os projetos de geração de energia eólica e solar fotovoltaica que seguiram até a fase de instalação das plantas<sup>11</sup> entre 2015 e 2018. Ao todo, foram considerados 13 projetos, sendo 9 da fonte eólica e 4 da fonte solar fotovoltaica.

A Figura 22 apresenta os fatores de emprego diretos calculados para as fases de Construção e Instalação (C&I) e de Operação e Manutenção (O&M), segundo metodologia indicada na Seção 4.2. A base de dados das usinas consideradas para cálculo dos índices é apresentada no Apêndice 5.

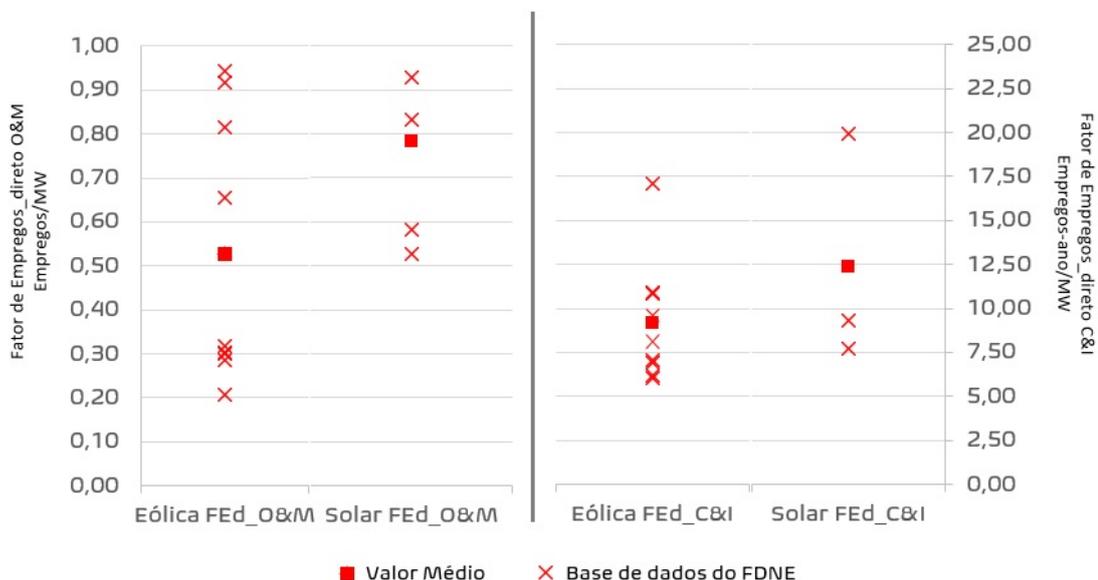


Figura 22: Fatores de Emprego Diretos para Energia Eólica e Solar - Base de dados do FDNE

<sup>9</sup>Seja por meio do FDNE (com a finalização do processo de obtenção do recurso) seja através de outras fontes de financiamento.

<sup>10</sup>[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

<sup>11</sup>Seja por meio do FDNE (com a finalização do processo de obtenção do recurso) seja através de outras fontes de financiamento.

O primeiro achado é que os índices de empregos variam muito de projeto para projeto. Para a fonte eólica, os valores na fase de O&M variam de 0,2 a 0,94 empregos/MW, enquanto que para a fonte solar os índices variaram de 0,58 a 0,93 empregos/MW. Nas fases de C&I, os índices variaram de 6,04 a 17,10 empregos-ano/MW, enquanto que a fonte solar de 7,74 a 19,96 empregos-ano/MW. A hipótese mais indicada para estas variações é que ela resulta das especificidades dos projetos, como localização dos empreendimentos, facilidade de conexão as redes de transmissão e tecnologias utilizadas. De toda forma, os valores médios dos índices brasileiros de emprego diretos, tanto para a fase de C&I como na O&M, apontam para dois resultados importantes. Primeiro, os índices médios calculados para a fonte eólica superam os valores médios encontrados na literatura internacional. Dois fatos podem contribuir para este resultado, maior dificuldade de deslocamento logístico no Brasil frente aos países europeus e EUA, o que demanda mais mão de obra de deslocamento, e menor produtividade da mão de obra da construção civil brasileira comparada aos índices internacionais (SILVA; FILHO; KOMATSU, 2016). Segundo, os índices calculados para a fonte solar fotovoltaica supera os calculados para a fonte eólica, resultado que reforça os achados da literatura internacional.

É grande a volatilidade dos índices de empregos na literatura. As Tabelas 7 e 8 mostram os índices, para as fontes eólica e solar fotovoltaica, respectivamente, calculados por vários autores em diversas regiões do mundo.

Tabela 7: Energia Eólica - Revisão de literatura para Índices de Emprego Direto

Região	Ano	C&I	O&M	Derivação do Fator de Empregos	Fonte
EUA	2001	0,5	0,1	Questionário à Cadeia de Insumos	Singh e Fehrs (2001)
California	2001		0,3	Não informado	Simons e Peterson (2001)
California	2002		0,2	Modelo insumo produto	Heavner, Churchill e Trust (2002)
Canada	2004	0,9	0,1	Não informado	Horne (2004)
Reino Unido	2004		0,1	Questionário à Cadeia de Insumos	MacDonald (2004)
Asturias	2006		0,2	Não informado	Moreno e Lopez (2008)
EUA	2006	1,3	0,1	Modelo insumo produto	Wei, Patadia e Kammen (2010)
Europa	2009	1,2	0,3	Dados da Indústria	Blanco e Kjaer (2009)
OCDE	2009	2,5	0,4	Revisão de literatura/síntese	Rutovitz e Atherton (2009)
Alemanha	2010		0,1	Dados da Indústria	O'Sullivan et al. (2012)
Grécia	2011	6,1	0,4	Modelo insumo produto	Tourkolias e Mirasgedis (2011)
Africa do Sul	2011	1,5	0,5	Revisão de literatura/síntese	Maia et al. (2011)
Japão	2011	5,6	0,5	Modelo insumo produto	Matumoto e Hondo (2011)
EUA	2012	1,5	0,1	Modelo insumo produto	Steinberg, Porro e Goldberg (2012)
Brasil	2014	6,7	0,6	Questionário à Cadeia de Insumos	Simas e Pacca (2014)
EUA	2014	6,0	0,4	Modelo insumo produto	Comings et al. (2014)
Japão	2017	8,40	17,52	Modelo insumo produto	Hondo e Moriizumi (2017)
Itália	2020	16,9	7,5	Modelo insumo produto	Dell'Anna (2021)
<b>Média</b>	-	<b>4,5</b>	<b>1,6</b>	-	-

Simas e Pacca (2014), único trabalho aplicado ao setor renovável no Brasil, aponta um fator de empregos direto da fonte eólica foi 6,7 empregos-ano/MW para a fase de C&I, 27% abaixo da média calculada com os dados do FDNE (9,2 empregos-ano/MW). Simas e Pacca (2014) utiliza como metodologia de obtenção de dados primários a consulta estruturada. Os dados foram coletados em 2013 em entrevistas a empresas de geração eólica. Desde aquele ano, o Brasil aumentou em oito vezes a capacidade instalada da fonte, e os preços negociados nos leilões de energia nova reduziram em 22%<sup>12</sup>. Os dados coletados pelos autores indicam que dos sete parques consultados, três tiveram índices acima de 10 empregos-ano/MW na fase de construção. Porém, um dos parques apresentou um índice de 2,82 empregos-ano/MW, o que reduziu muito a média. Considerando este resultado como outlier e retirando da média, o fator de empregos médio calculado por Simas e Pacca (2014) seria 8,30 empregos-ano/MW, apenas 11,9% menor da média calculada com a base do FDNE. Ressalta-se que a média calculada com a base de dados do FDNE considera informações fornecidas por 9 empresas de geração eólica para parques instalados entre 2015 e 2018. Dell'Anna (2021), utilizando análise de insumo produto para a Itália, identifica um fator de empregos diretos para a fase de C&I de 16,9 empregos-ano/MW, 37% acima da

<sup>12</sup>Mais informações sobre evolução dos preços negociados nos leilões de energia nova podem ser acessados em: <https://www.ccee.org.br/web/guest/mensal>

média calculada pela base do FDNE. O próprio autor destaca a incerteza dos resultados devido ao alto grau de agregação das informações setoriais, uma das limitações do método de insumo-produto.

Tabela 8: Energia Solar Fotovoltaica - Revisão da literatura para Índices de Emprego Direto

Região	Ano	C&I	O&M	Derivação do Fator de Empregos	Fonte
California	2001		0,1	Revisão de literatura/síntese	Simons e Peterson (2001)
EUA	2001		0,3	Questionário à Cadeia de Insumos	Singh e Fehrs (2001)
California	2002		0,1	Revisão de literatura/síntese	Heavner, Churchill e Trust (2002)
Reino Unido	2004		0,5	Questionário à Cadeia de Insumos	MacDonald (2004)
Canada	2004	7,1	0,1	Não informado	Horne (2004)
Marrocos	2004	15,0	0,9	Modelo insumo produto	Ciorba, Pauli e Menna (2004)
Espanha	2005		0,3	Não informado	ENERGÍA (2005)
Asturias	2006		2,7	Não informado	Moreno e Lopez (2008)
Europa	2008	33,0		Não informado	Association et al. (2008)
OCDE	2009	31,9	0,5	Revisão de literatura/síntese	Rutovitz e Atherton (2009)
Alemanha	2011		0,3	Dados da Indústria	O'Sullivan et al. (2012)
Grécia	2011	11,2	0,2	Modelo insumo produto	Tourkolias e Mirasgedis (2011)
Europa	2011		1,0	Dados da Indústria	Observ (2010)
Africa do Sul	2011	7,0	0,7	Revisão de literatura/síntese	Maia et al. (2011)
Japão	2011	10,6	0,9	Modelo insumo produto	Matumoto e Hondo (2011)
EUA	2012	15,1	0,2	Modelo insumo produto	Steinberg, Porro e Goldberg (2012)
Espanha	2013	6,4	1,7	Questionário à Cadeia de Insumos	Llera et al. (2013)
EUA	2014	15,0	0,9	Modelo insumo produto	Comings et al. (2014)
Japão	2017	13,4	20,3	Modelo insumo produto	Hondo e Moriizumi (2017)
Itália	2020	21,4	2,7	Modelo insumo produto	Dell'Anna (2021)
<b>Média</b>	-	<b>15,6</b>	<b>1,8</b>	-	-

O índice de empregos direto médio para fonte solar fotovoltaica calculado a partir das bibliografias consultadas foi de 15,6 empregos-ano/MW para a fase de C&I, 26% acima da média calculada com a base de dados do FDNE. Para a fase de O&M o índice médio também ficou acima da média calculada com a base do FDNE. Um dos resultados da bibliografia para a fase de O&M foi considerado outlier, Hondo e Moriizumi (2017). Desconsiderando este resultado, acima da média dos demais trabalhos, o fator de empregos médio calculado com a base do FDNE foi 2,5% abaixo da média calculada com os resultados da literatura internacional. Este fato denota certa similaridade entre os fatores de emprego da fonte solar fotovoltaica brasileiro em relação ao contexto mundial.

Uma das limitações que poder-se-ia supor com a utilização dos dados do FDNE seria de que as empresas teriam interesse em superdimensionar os dados de empregos de modo a facilitar a aprovação do financiamento. Fato que eventualmente poderia acontecer apesar

da requisição de veracidade na submissão das informações ao poder público. Entretanto, os fatores de empregos obtidos pela base do FDNE foram menores, em média, do que os valores utilizados internacionalmente. Em relação ao indicado por Simas e Pacca (2014) para o setor eólico brasileiro, retirando alguns outliers, praticamente não houve alteração, o que reforça a confiabilidade dos resultados.

#### 4.4.2 Índice de Empregos Indiretos

Considerando os insumos indicados nas Seções 5 e 6, foram calculados os índices de empregos indiretos para a fase de C&I das plantas de geração. Os resultados são apresentados nas Tabelas 9 e 10. Para calcular os multiplicadores de empregos direto-indireto foram utilizados dados de produção e de empregos disponibilizados por associações de classe setoriais no Brasil. O Apêndice 5 apresenta o detalhamento destes dados.

Tabela 9: Fator de Empregos Indireto - Eólica

Insumos	Qi_1MW (ton)	Edi	IIj (empregos/MW)
Fibra de Vidro	7	0,013	0,09
Concreto	457	0,013	5,99
Aço	117	0,005	0,58
Alumínio	3	0,079	0,24
Cobre	2	0,079	0,16
Polímero	14	0,001	0,01
<b>Total (FEind_C&amp;I)</b>	-	-	<b>7,07</b>

Tabela 10: Fator de Empregos Indireto - Solar Fotovoltaica

Insumos	Qi_1MW (ton)	Edi	IIj (empregos/MW)
Vidro	70	0,029	2,03
Concreto	47	0,029	1,36
Aço	56	0,005	0,28
Alumínio	19	0,079	1,50
Cobre	7	0,079	0,55
Silício	7	0,079	0,55
<b>Total (FEind_C&amp;I)</b>	-	-	<b>6,28</b>

Os fatores de empregos indiretos para as fontes eólica e solar foram de 7,07 e 6,28 empregos/MW, respectivamente. A indústria de cimentos, bastante mão de obra intensiva

no Brasil, contribuiu significativamente para elevar o fator de empregos indireto da fonte eólica. O volume de concreto utilizado em um MW instalado de um parque eólico é quase dez vezes o utilizado em um parque solar (IRENA, 2017b). Esta indústria contribuiu, sozinha, com 84% do fator de empregos indireto final da fonte eólica.

Como citado na Seção 4.2, o método de insumo-produto apresenta incertezas associadas ao nível de agregação dos dados. Para o objetivo de identificar multiplicadores de empregos indiretos, que possui difícil mensuração através de técnicas bottom-up, os resultados apresentados foram consistentes com a literatura internacional. Dell’Anna (2021) calculou para as fontes eólica e solar, respectivamente, 6,13 e 7,76 empregos-ano/MW para multiplicadores indiretos. Comings et al. (2014), analisando o setor renovável do estado de Montana, nos Estados Unidos, encontra para as fontes eólica e solar fotovoltaica índices de 4,7 e 11,3 empregos-ano/MW, respectivamente. Steinberg, Porro e Goldberg (2012), também analisando os Estados Unidos, encontram 8,5 e 17,8 empregos ano/MW. Em relação a literatura nacional, o único trabalho aplicado ao setor renovável no Brasil (SIMAS; PACCA, 2014) calcularam um fator de empregos indireto para a fonte eólica de 3,5 empregos-ano/MW, quase metade do encontrado neste capítulo. O que mais contribuiu para esta diferença foram os multiplicadores de empregos direto indireto considerados em cada insumo. Simas e Pacca (2014) não detalha a base de cálculo dos indicadores o que prejudica a análise. Entretanto, considerando que os dados utilizados neste capítulo são mais atualizados do que os utilizados por Simas e Pacca (2014) em 2013, é de se esperar que os índices encontrados neste capítulo apresentem maior grau de precisão.

Considerando o nível de agregação setorial das matrizes de insumo-produto nacionais e os valores encontrados na literatura internacional, os indicadores indiretos encontrados nas Tabelas 9 e 10 aparentam ser uma boa estimativa para multiplicadores brasileiros.

### 4.4.3 Projeção de Empregos

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2020), instrumento de planejamento da matriz energética nacional, a geração de energia eólica e solar crescerá em 214% até 2030. Com base nos multiplicadores de emprego identificados na seção anterior, foram calculados as estimativas de formação de postos de trabalho através das fontes eólica e solar fotovoltaica. A previsão de expansão das fontes e a projeção dos empregos totais<sup>13</sup> são apresentados na Figura 23.

<sup>13</sup>Foram considerados os índices de emprego calculados na seção anterior (direto e indireto) para as fases de C&I e O&M.

Os empregos foram projetados multiplicando os fatores de empregos aos volumes de geração de energia projetados na matriz elétrica brasileira para o horizonte até 2030 (EPE, 2020). A base de dados para cálculo dos empregos projetados é apresentada no Apêndice 5.

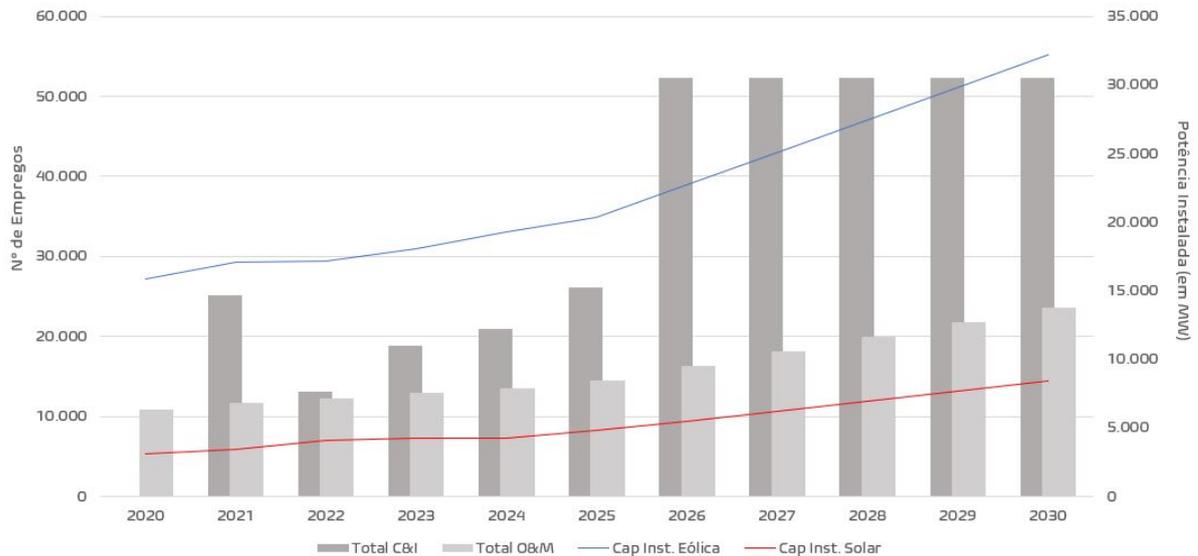


Figura 23: Projeção de Empregos de O&M e C&I - Total

Com a expansão projetada, serão gerados 378 mil novos empregos no Brasil no horizonte de dez anos, apenas considerando as fontes eólica e solar fotovoltaica. Destes, aproximadamente 13 mil são permanentes, isto é, resultantes da operação e manutenção das plantas de geração, conforme apresentado na Tabela 11. Os empregos temporários, criados durante a fase de Construção & Instalação das plantas, atingem quase 96% do total projetado. O período de construção de parques eólicos no Brasil varia em média de 12-24 meses de duração, a depender da capacidade instalada do parque, da localização do empreendimento e das condições geofísicas do território (SANTOS, 2018). Boa parte dos empregos nesta fase envolve mão de obra especializada relacionada aos setores de construção civil, de transportes para deslocamento de equipamentos, além de operadores de máquinas pesadas, como guindastes, escavadeiras e tratores<sup>14</sup>.

Para a indústria solar fotovoltaica, a fase de construção do parque varia em média de 9-15 meses, período tipicamente influenciado pela capacidade instalada do empreendimento (RIBEIRO, 2018). Os empregos temporários também estão mais associados à construção civil e transporte de equipamentos, além de técnicos eletricitistas para instalação

<sup>14</sup>Mais informações em: <https://www.energy.gov/eere/wind/wind-career-map> e <http://sitesinteligencia.abdi.com.br/sites/carreiras-eolica/>

das placas<sup>15</sup>.

Tabela 11: Novos Empregos até 2030 - Solar e Eólica

<b>Fonte</b>	<b>C&amp;I</b>	<b>O&amp;M</b>	<b>Total</b>
Eólica	266.177	8.671	274.848
Solar	99.152	4.154	103.306
<b>Total</b>	<b>365.329</b>	<b>12.825</b>	<b>378.154</b>

Em 2030, a fonte eólica ainda será responsável pela maior contribuição ao mercado de trabalho, com mais de 270 mil postos de trabalho. Apesar da menor participação da fonte solar fotovoltaica na matriz elétrica, a expansão projetada contribuirá em 27% para os novos empregos das fontes renováveis. A expansão dos empregos projetados será potencializada a partir de 2026, quando as capacidades instaladas de energia eólica e solar aumentariam em 3000 MW por ano, até 2030.

## 4.5 Conclusão do Capítulo

A vigésima sexta Conferência do Clima das Nações Unidas<sup>16</sup>, realizada em Novembro de 2021, reforçou a corrida pelo *net zero*, onde serão zeradas as emissões líquidas de dióxido de carbono até metade do século. As fontes de geração renováveis tem importante papel para atingir este objetivo. No Brasil, dentre as renováveis, as fontes eólica e solar possuem as maiores participações nos últimos leilões promovidos pelo governo federal. Além disso, de acordo com a projeção da Empresa de Pesquisa Energética, serão contratados mais 21 MW das duas fontes até 2030 (EPE, 2020). O crescimento projetado destas fontes no mercado brasileiro tem despertado interesse em relação ao impacto que isso trará no mercado de trabalho. No segundo trimestre de 2021, o país atingiu o nível de 14,4 milhões de desempregados<sup>17</sup> e, desde a pandemia de Covid-19, intensifica políticas de recuperação econômica e incentivo à criação de empregos.

Neste capítulo, utilizando dados requeridos de empresas de geração que solicitam financiamento do Fundo do Desenvolvimento do Nordeste (FDNE), foi possível quantificar os multiplicadores de emprego direto das fontes eólica e solar fotovoltaica, tanto na fase de Construção e Instalação (C&I) quanto na Operação e Manutenção (O&M). Para analisar o impacto indireto foi utilizado a metodologia de Análise Insumo-Produto.

<sup>15</sup>Mais informações em: <https://www.irecsolarcareermap.org/>

<sup>16</sup><https://ukcop26.org/>

<sup>17</sup><https://www.ibge.gov.br/explica/desemprego.php>

Apesar dos índices de empregos variados entre os projetos, os resultados médios indicam que a fonte solar fotovoltaica possui maior intensidade de mão de obra quando comparada com a fonte eólica. O que confirma, para o Brasil, um achado consolidado na literatura internacional (DELL'ANNA, 2021). O multiplicador de empregos direto da fonte solar na fase de O&M foi 0,78 empregos/MW, enquanto que o da fonte eólica foi 0,53 empregos/MW instalados. Na fase de C&I, os multiplicadores de empregos direto para as fontes eólica e solar somam 9,2 e 12,34 empregos-ano/MW, respectivamente. Os valores se aproximam do indicado pela literatura internacional, conforme Tabelas 7 e 8. Simas e Pacca (2014), único trabalho aplicado ao setor renovável no Brasil, aponta um fator de empregos direto da fonte eólica foi 6,7 empregos-ano/MW para a fase de C&I, 27% abaixo da média calculada com os dados do FDNE (9,2 empregos-ano/MW). Entretanto, analisando os dados utilizados por Simas e Pacca (2014), observa-se que dos sete parques consultados, três tiveram índices acima de 10 empregos-ano/MW na fase de construção. Porém, um dos parques apresentou um índice de 2,82 empregos-ano/MW, o que reduziu muito a média. Considerando este resultado como outlier e retirando da média, o fator de empregos médio calculado por Simas e Pacca (2014) seria 8,30 empregos-ano/MW, apenas 11,9% menor do calculado com a base do FDNE.

Os multiplicadores de empregos indiretos foram calculados através da matriz insumo-produto de 2015<sup>18</sup>, disponibilizada pelo IBGE. Para o objetivo de identificar multiplicadores de empregos indiretos, que possui difícil mensuração através de técnicas bottom-up, os resultados apresentados foram consistentes com a literatura internacional. Dell'Anna (2021) calculou para as fontes eólica e solar, respectivamente, 6,13 e 7,76 empregos-ano/MW para multiplicadores indiretos. Simas e Pacca (2014) calcularam um fator de empregos indireto para a fonte eólica de 3,5 empregos-ano/MW, quase metade do encontrado neste capítulo. O que mais contribuiu para esta diferença foram os multiplicadores de empregos direto indireto considerados em cada insumo. Simas e Pacca (2014) não detalha a base de cálculo dos indicadores o que prejudica a análise. Entretanto, considerando que os dados utilizados neste capítulo são mais atualizados do que os utilizados por Simas e Pacca (2014) em 2013, é de se esperar que os índices encontrados neste capítulo apresentem maior grau de precisão.

Com base nos multiplicadores de emprego calculados e no planejamento da expansão da geração renovável brasileira (EPE, 2020), foram estimados o potencial de criação de postos de trabalho com as fontes solar e eólica até 2030. Ao todo, serão gerados 378 mil novos empregos no Brasil no horizonte de dez anos. Deste total, aproximadamente 13 mil

---

<sup>18</sup><http://www.ibge.gov.br>

são permanentes e mais de 350 mil durante a fase de Construção e Instalação das usinas.

Para alcançar uma política energética sustentável, aspectos econômicos e sócio-ambientais devem ser mutualmente analisados. Neste sentido, avaliar as dinâmicas de empregos entre as fontes renováveis permite traçar estratégias mais precisas para o desenvolvimento de uma economia de baixo carbono associada a geração de renda em nível local e regional.

## 5 Conclusão

Esta tese investigou a relação entre energias renováveis e empregos, com três aplicações ao contexto brasileiro. Como demonstrado nos capítulos precedentes, a relação entre estes dois temas é pouco explorada na literatura nacional. No âmbito global, passou a ser mais investigada a partir de 2010, com artigos contemplando ambas abordagens, top-down e bottom-up (DELL'ANNA, 2021; STAVROPOULOS; BURGER, 2020; HONDO; MORIIZUMI, 2017). Um dos achados identificados, apresentado no capítulo dois, foi de que não houve efeito significativo entre o investimento de parques eólicos em municípios do semiárido nordestino e aumento de empregos e renda locais. Os capítulos três e quatro partem desta constatação para inclusão de empregabilidade das fontes de geração nos modelos de planejamento de expansão de geração (capítulo três) e para mensuração dos índices de empregabilidade brasileira das fontes eólica e solar fotovoltaica centralizada (capítulo quatro).

Considerando a ausência de dados sobre a relação entre energias renováveis e empregos na literatura nacional, o trabalho também preenche parte desta lacuna acadêmica ao indicar dados primários de parques de energia eólica e solar instalados no Brasil. A importância desta contribuição se amplia quando considerado o crescimento projetado do mercado renovável no país. Boa parte do crescimento virá com a substituição da frota de veículos movidos à combustíveis fósseis por veículos elétricos ou híbridos, com impacto direto na demanda por energia elétrica. Como consequência, as economias com mais informações e dados sobre o impacto das fontes de geração no mercado de trabalho terão melhores condições de aproveitar os benefícios associados aos investimentos localmente.

Uma vez constatadas estas contribuições, a seguir serão propostas algumas indicações de como ampliar o efeito dos investimentos em energias renováveis localmente. São duas linhas de propostas consideradas para este objetivo. Primeiro, aumentar a contrapartida de investidores em projetos sociais localmente. Segundo, alterações legais e tributárias para ampliar arrecadação municipal.

Sobre o aumento nas contrapartidas sociais nos financiamentos públicos, observa-se algumas ações desta natureza no BNDES, mas com abrangência muito limitada. Os projetos de energia eólica no BNDES são financiados normalmente pelas linhas de crédito BNDES FINEM e BNDES PROJECT FINANCE. Uma linha de crédito possível a partir destes projetos é o BNDES FINEM Investimentos Sociais de Empresas. A linha BNDES Finem - Investimentos Sociais de Empresas financia investimentos destinados à implantação, expansão e consolidação de projetos e programas de investimentos sociais realizados por empresas, podendo ser complementares a financiamentos já contratados com o BNDES e com condições financeiras especiais, que objetivem a elevação do grau de responsabilidade social empresarial. Apesar desta possibilidade em projetos de energia, não foi possível identificar no site do BNDES projetos de energia com contratação desta linha de crédito.

Em relação a segunda linha de ação indicada acima, de aumento da arrecadação municipal, uma estratégia possível seria de modificação tributária com aumento de alíquota do ISS-QN (Imposto sobre serviço de qualquer natureza). Esta possibilidade enseja alterações legais a nível municipal, o que pode ser realizado por meio da câmara municipal com alterações na legislação tributária. Outra proposta possível, já possui projeto de emenda a constituição tramitando na Câmara Federal, diz respeito a consideração de *royalties* sobre a exploração de recursos eólicos, trata-se da PEC 97/15. A proposta de emenda a constituição prevê a inclusão da geração eólica nos artigos vinte e vinte e um da constituição federal, onde se considera que é de competência da união a exploração de aproveitamento energético de potenciais hidroenergéticos e eólicos. Esta PEC indica que os recursos provenientes dos *royalties* seriam compartilhados entre união, estados e municípios. Não está claro na proposta, como seria a distribuição dos recursos entre os entes da federação. Também está em discussão várias iniciativas a nível federal com o objetivo de re-equilibrar os riscos dos investimentos em parques eólicos entre geradores e consumidores. Uma grande discussão sobre a reforma dos subsídios tarifários ocorreu em 2020, que resultou na publicação da Lei 14.120/2021<sup>1</sup>. Nela, o legislador limitou os descontos tarifários nas tarifas de transmissão e distribuição para os geradores até o limite de cinco anos após a sua publicação.

As iniciativas indicadas são propostas em discussão para a ampliar os efeitos dos investimentos em energias renováveis localmente, especialmente considerando a manutenção da expansão renovável através da fonte eólica. Entretanto, como demonstrado no capítulo três e quatro, a fonte solar fotovoltaica tende a ser mais intensiva em mão de obra

---

<sup>1</sup>Saiba mais sobre esta Lei em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.120-de-1-de-marco-de-2021-306116199>

comparativamente à eólica, o que pode contribuir mais diretamente para dinamizar as economias locais. Devido a baixa quantidade de parques solares fotovoltaicos nos municípios brasileiros, relativamente à eólica, ainda se tem limitações para uma avaliação empírica precisa sobre o efeito destes investimentos no território. Entretanto, com o crescimento projetado desta fonte nos próximos anos será possível avaliar os efeitos localmente adotando metodologia similar à do capítulo dois para a fonte eólica. Esta é uma importante contribuição a ser apontada em trabalhos futuros. Outra proposta para os próximos trabalhos diz respeito à utilização de outras fontes de dados primários na identificação de empregabilidade das renováveis, como, por exemplo, dados de empresas fabricantes de equipamentos associados, não considerados no capítulo quatro. Por fim, sugere-se para trabalhos futuros a consideração de dados de empregabilidade das unidades de geração distribuída, não avaliados neste estudo.

# Referências

- ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of california's tobacco control program. *Journal of the American statistical Association*, Taylor & Francis, v. 105, n. 490, p. 493–505, 2010.
- ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. Comparative politics and the synthetic control method. *American Journal of Political Science*, Wiley Online Library, v. 59, n. 2, p. 495–510, 2015.
- ABADIE, A.; GARDEAZABAL, J. The economic costs of conflict: A case study of the basque country. *American economic review*, v. 93, n. 1, p. 113–132, 2003.
- ABEEOLICA. Impactos socioeconômicos e ambientais da geração eólica no brasil. Abeolica, 2020.
- ABEEOLICA. A energia da transformação e os bons ventos da diversidade. 2021.
- ANDERSON, D. Models for determining least-cost investments in electricity supply. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, JSTOR, p. 267–299, 1972.
- ARUNGU-OLENDE, S. Application of mathematical programming techniques to power system optimization. Imperial College London, 1968.
- ASSOCIATION, E.-E. P. I. et al. Solar generation v–2008. *Bruxelas, Bélgica*, 2008.
- BEGLARI, F.; LAUGHTON, M. The combined costs method for optimal economic planning of an electrical power system. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, IEEE, v. 94, n. 6, p. 1935–1942, 1975.
- BENDERS, J. F. Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems. *Numerische mathematik*, Springer-Verlag, v. 4, n. 1, p. 238–252, 1962.
- BLANCO, I.; KJAER, C. Wind at work. wind energy and job creation in the eu. 2009.
- BOTOSARU, I.; FERMAN, B. On the role of covariates in the synthetic control method. *The Econometrics Journal*, Oxford University Press, v. 22, n. 2, p. 117–130, 2019.
- CAMERON, L.; ZWAAN, B. V. D. Employment factors for wind and solar energy technologies: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 45, p. 160–172, 2015.
- CAMPODÓNICO, N. et al. Expansion planning of generation and interconnections under uncertainty. In: *3rd Balkans Power Conference*. [S.l.: s.n.], 2003.

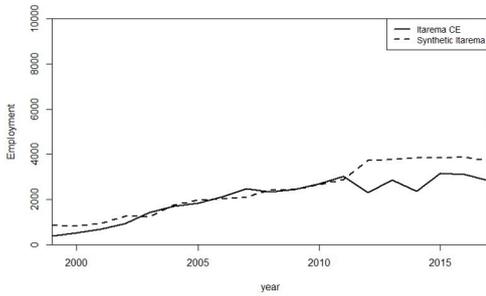
- CIORBA, U.; PAULI, F.; MENNA, P. Technical and economical analysis of an induced demand in the photovoltaic sector. *Energy Policy*, Elsevier, v. 32, n. 8, p. 949–960, 2004.
- COMINGS, T. et al. Employment effects of clean energy investments in montana. *Synapse Energy Economics Inc: Massachusetts, MA, USA*, 2014.
- CONSUMIDOR, S. O. F. D.; JANNUZZI, A. C. Regulação da qualidade de energia elétrica. 2007.
- DELL'ANNA, F. Green jobs and energy efficiency as strategies for economic growth and the reduction of environmental impacts. *Energy Policy*, Elsevier, v. 149, p. 112031, 2021.
- ENERGÍA, I. P. L. D. Y. A. D. L. *Plan de Energías Renovables en España 2005-2010*. [S.l.]: Ministerio de Industria, Comercio y Turismo Madrid, 2005.
- EPE. Plano decenal de expansão de energia 2030. Empresa de Pesquisa Energética, 2020.
- GANDELMAN, D. *Uma Metodologia para o Planejamento da Expansão do Sistema Elétrico Brasileiro considerando Incertezas*. Tese (Doutorado) — COPPE, UFRJ, 2015.
- GARRETT-PELTIER, H. Green versus brown: Comparing the employment impacts of energy efficiency, renewable energy, and fossil fuels using an input-output model. *Economic Modelling*, Elsevier, v. 61, p. 439–447, 2017.
- GATTO, A.; DRAGO, C. When renewable energy, empowerment, and entrepreneurship connect: Measuring energy policy effectiveness in 230 countries. *Energy Research & Social Science*, Elsevier, v. 78, p. 101977, 2021.
- GORENSTIN, B. et al. Power system expansion planning under uncertainty. *IEEE transactions on power systems*, IEEE, v. 8, n. 1, p. 129–136, 1993.
- HAHN, J.; SHI, R. Synthetic control and inference. *Econometrics*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 5, n. 4, p. 52, 2017.
- HEAVNER, B.; CHURCHILL, S.; TRUST, C. Renewables work: job growth from renewable energy development in california. *CALPIRG Charitable Trust*, 2002.
- HONDO, H.; MORIIZUMI, Y. Employment creation potential of renewable power generation technologies: A life cycle approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 79, p. 128–136, 2017.
- HORNE, M. *Canadian renewable electricity development: employment impacts*. [S.l.]: Pembina Institute, 2004.
- IBGE. Relatório anual de informações sociais. 2017.
- IEA. World energy balance 2020. IEA publications, 2020.
- IEA. World energy outlook 2021. IEA publications, 2021.
- IRENA. Renewable energy benefits leveraging local capacity for onshore wind. IRENA publications, 2017.

- IRENA. Renewable energy benefits leveraging local capacity for solar pv. IRENA publications, 2017.
- IRENA. International renewable energy agency. 2020.
- IRENA. Measuring the socio-economics of transition: Focus on jobs. IRENA publications, 2020.
- IRENA. Renewable energy and jobs: Annual review 2020. IRENA publications, 2020.
- IRENA. Renewable energy and jobs: Annual review 2021. IRENA publications, 2021.
- JUNIOR, M. Modelo de expansão da geração de longo prazo considerando incertezas e garantia de suprimentos. 2000.
- LEONTIEF, W. W. Quantitative input and output relations in the economic systems of the united states. *The review of economic statistics*, JSTOR, p. 105–125, 1936.
- LISBOA, M. et al. Melp–modelo de planejamento da expansão de longo prazo do sistema de geração e troncos de interligação de sistemas elétricos. In: *V Congresso Latino-Americano de Geração e Transmissão de Eletricidade*. [S.l.: s.n.], 2003.
- LLERA, E. et al. Forecasting job creation from renewable energy deployment through a value-chain approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 21, p. 262–271, 2013.
- MACDONALD, M. Renewable supply chain gap analysis. *Renewables Advisory Board*, 2004.
- MAIA, J. et al. Green jobs: An estimate of the direct employment potential of a greening south african economy. *Industrial Development Corporation, Development Bank of Southern Africa, Trade and Industrial Policy Strategies*, 2011.
- MATUMOTO, N.; HONDO, H. Analysis on employment effects of the introduction of renewable energy technologies using an extended input-output table. *Journal of the Japan Institute of Energy*, Japan Institute of Energy, v. 90, n. 3, p. 258–267, 2011.
- MCCLELLAND, R.; GAULT, S. The synthetic control method as a tool to understand state policy. *Washington, DC: The Urban Institute*, 2017.
- MORENO, B.; LOPEZ, A. J. The effect of renewable energy on employment. the case of asturias (spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 12, n. 3, p. 732–751, 2008.
- MUNASINGHE, M. A new approach to power system planning. *IEEE transactions on power apparatus and systems*, IEEE, n. 3, p. 1198–1209, 1980.
- NOBRE, P. et al. Solar smart grid as a path to economic inclusion and adaptation to climate change in the brazilian semiarid northeast. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, Emerald Publishing Limited, 2019.
- OBSERV, E. The state of renewable energies in europe. 10. eurobserv'er. 2010.

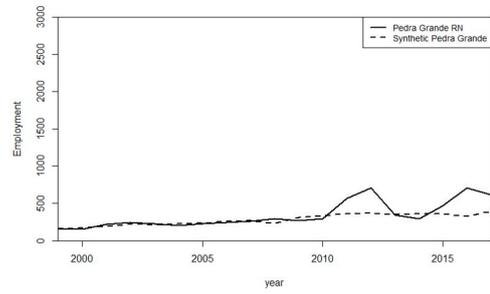
- O'SULLIVAN, M. et al. Employment from renewable energy in germany: expansion and operation-now and in the future. *first report on gross employment: Gross Employment from Renewable Energy in Germany in the Year 2011-A first estimate*, 2012.
- PAI, S. et al. Solar has greater techno-economic resource suitability than wind for replacing coal mining jobs. *Environmental Research Letters*, IOP Publishing, v. 15, n. 3, p. 034065, 2020.
- RIBEIRO, R. V. Gerenciamento de escopo em projetos de usinas fotovoltaicas. *Rio de Janeiro*, 2018.
- RODRIGUES, R. E. d. A. Efeitos da construção de parques eólicos sobre indicadores econômicos e fiscais dos municípios brasileiros. 2019.
- RUTOVITZ, J.; ATHERTON, A. Energy sector jobs to 2030: A global analysis, final report. *Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney*, 2009.
- RUTOVITZ, J.; DOMINISH, E.; DOWNES, J. Calculating global energy sector jobs: 2015 methodology. Institute for Sustainable Futures, UTS, 2015.
- SANTOS, F. M. Gerenciamento de escopo, custo e tempo em projetos de geração de energia eólica no mercado brasileiro. FGV, 2018.
- SANTOS, H. Inserção dos custos ambientais em um modelo de expansão da geração a longo prazo. *Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE*, 2008.
- SANTOS, L. H. B. et al. Caracterização e dinâmica do emprego no setor de energia renovável no brasil. *Brazilian Journal of Development*, v. 4, n. 6, p. 3109–3134, 2018.
- SASTRESA, E. L. et al. Local impact of renewables on employment: assessment methodology and case study. *Renewable and sustainable energy reviews*, Elsevier, v. 14, n. 2, p. 679–690, 2010.
- SILVA, F.; FILHO, N. M.; KOMATSU, B. Evolução da produtividade no brasil: comparações internacionais. *Policy Paper*, v. 15, 2016.
- SILVA, R. C. da; NETO, I. de M.; SEIFERT, S. S. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 59, p. 328–341, 2016.
- SIMAS, M.; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. *Estudos avançados*, SciELO Brasil, v. 27, n. 77, p. 99–116, 2013.
- SIMAS, M.; PACCA, S. Assessing employment in renewable energy technologies: A case study for wind power in brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 31, p. 83–90, 2014.
- SIMONS, G.; PETERSON, T. California renewable technology market and benefits assessment. *Electric Power Research Institute and California Energy Commission*, 2001.
- SINGH, V.; FEHRS, J. E. *The work that goes into renewable energy*. [S.l.]: Renewable Energy Policy Project, 2001.

- STAVROPOULOS, S.; BURGER, M. J. Modelling strategy and net employment effects of renewable energy and energy efficiency: A meta-regression. *Energy Policy*, Elsevier, v. 136, p. 111047, 2020.
- STEINBERG, D.; PORRO, G.; GOLDBERG, M. Preliminary analysis of the jobs and economic impacts of renewable energy projects supported by the treasury grant program. 2012.
- TCU. Relatório desenvolvimento sustentável nordeste 2030. 2017.
- THOMÉ, F. S. et al. Decomposition approach for generation and transmission expansion planning with implicit multipliers evaluation. *Pesquisa Operacional*, SciELO Brasil, v. 33, p. 343–359, 2013.
- TOURKOLIAS, C.; MIRASGEDIS, S. Quantification and monetization of employment benefits associated with renewable energy technologies in greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 15, n. 6, p. 2876–2886, 2011.
- TRINKENREICH, J.; PINHEIRO, S. Expansão a longo prazo do sistema elétrico usando programação linear. *XV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, p. 243–258, 1982.
- UN. Paris agreement. In: HEINONLINE. *Report of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (21st Session, 2015: Paris)*. Retrived December. [S.l.], 2015. v. 4, p. 2017.
- VERGARA, W. et al. Societal benefits from renewable energy in latin america and the caribbean. IADB publications, 2014.
- WEI, M.; PATADIA, S.; KAMMEN, D. M. Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the us? *Energy policy*, Elsevier, v. 38, n. 2, p. 919–931, 2010.
- WHITE, H. A reality check for data snooping. *Econometrica*, Wiley Online Library, v. 68, n. 5, p. 1097–1126, 2000.

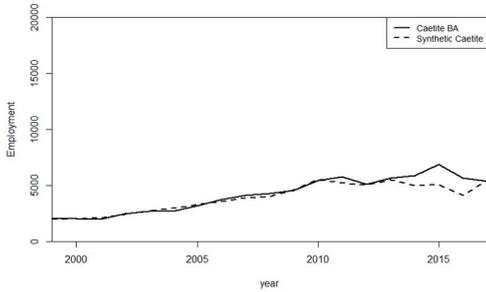
## APÊNDICE A - Resultados do Método Controle Sintético



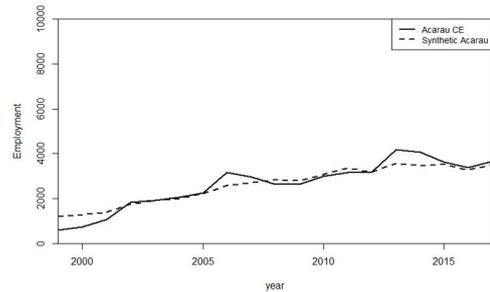
(a) Emprego Itarema CE



(b) Emprego Pedra Grande RN

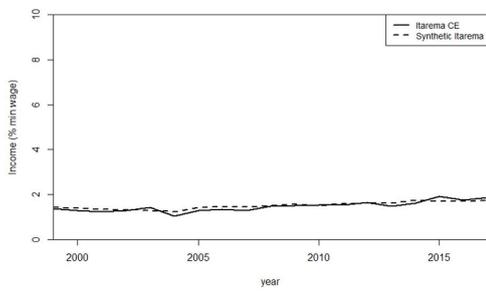


(c) Emprego Caetité BA

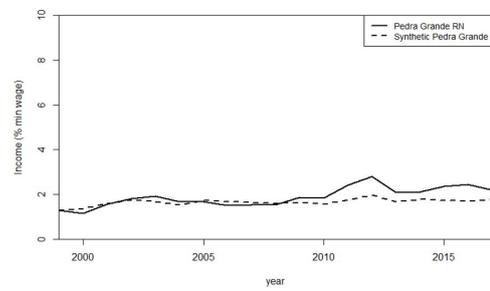


(d) Emprego Acaraú CE

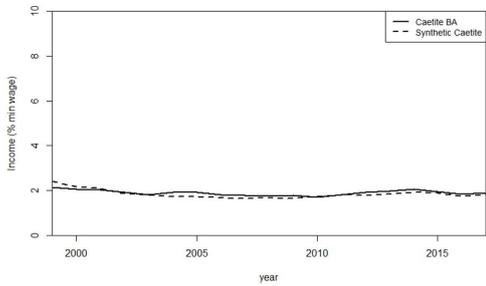
Figura 24: Resultados outros municípios - Empregos



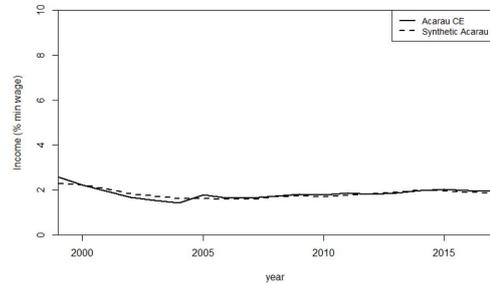
(a) Renda Itarema CE



(b) Renda Pedra Grande RN



(c) Renda Caetité BA



(d) Renda Acaraú CE

Figura 25: Resultados outros municípios - Renda

## APÊNDICE B - Testes de Placebo - Empregos

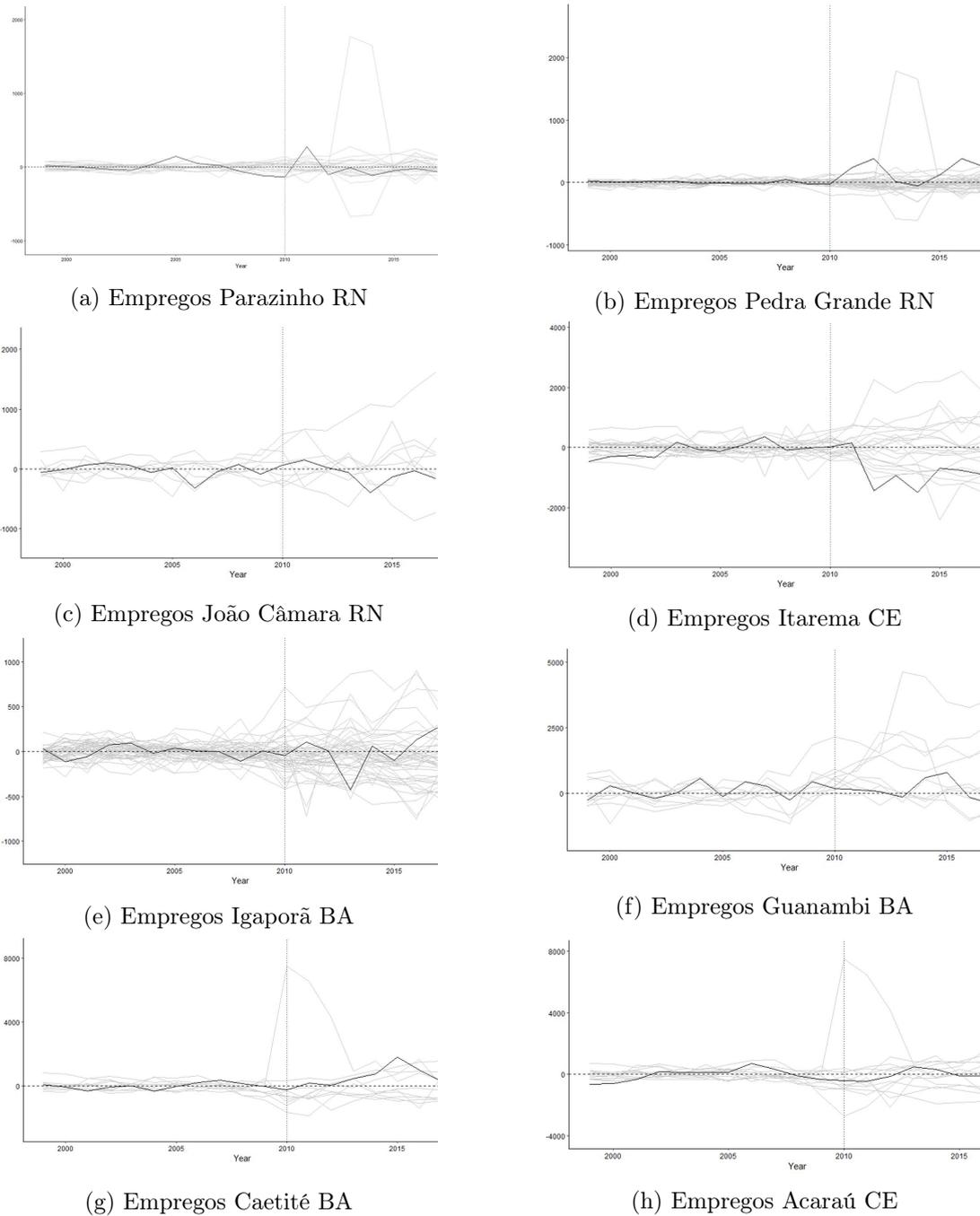
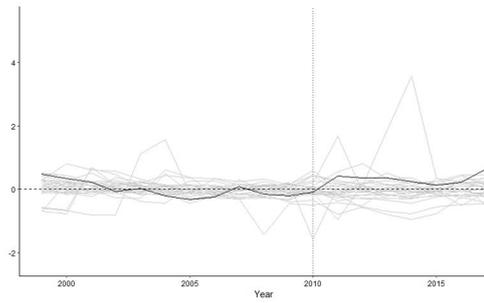
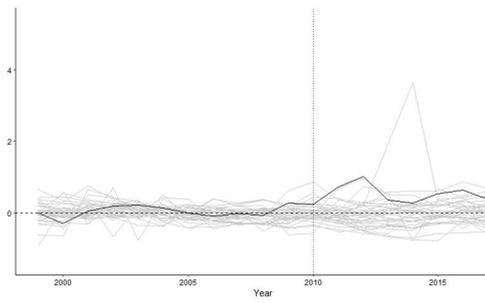


Figura 26: Testes de Placebo para Empregos

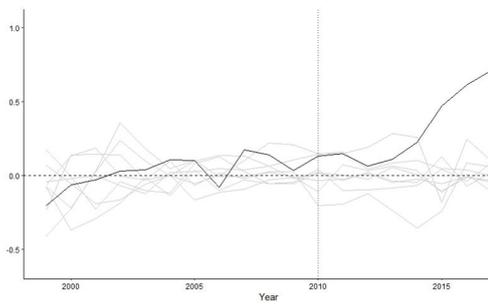
## APÊNDICE C - Testes de Placebo Renda



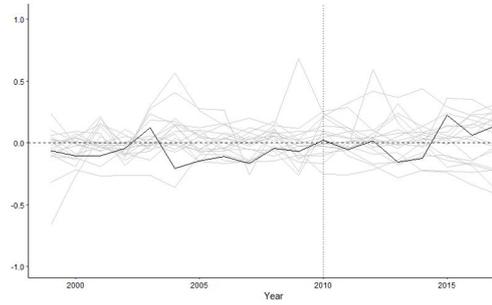
(a) Renda Parazinho RN



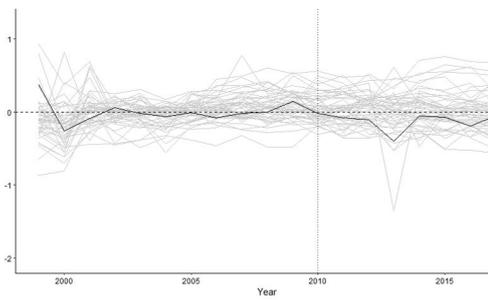
(b) Renda Pedra Grande RN



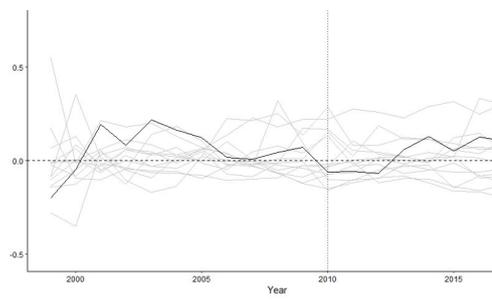
(c) Renda João Câmara RN



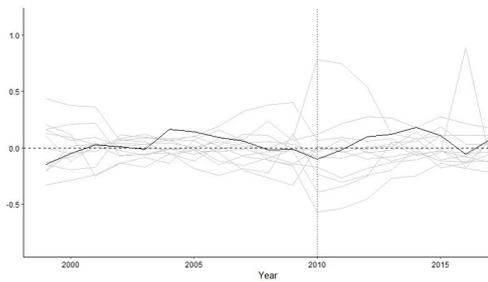
(d) Renda Itarema CE



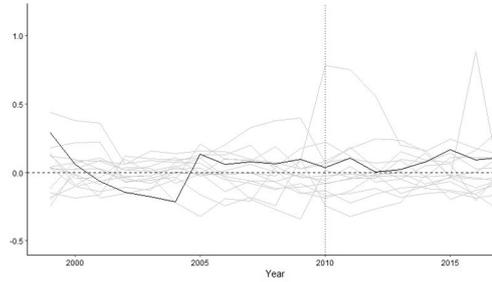
(e) Renda Igaporã BA



(f) Renda Guanambi BA



(g) Renda Caetité BA



(h) Renda Acaraú CE

Figura 27: Testes de Placebo para Renda

## APÊNDICE D - Testes de Robustez - Detalhamento

As Tabelas 12, 13, 14 e 15 mostram os impactos das alterações na quantidade de unidades de controle para alguns municípios analisados. Resultados semelhantes foram identificados nos vinte e um municípios analisados.

Tabela 12: Preditores de Empregos antes da intervenção - Parazinho RN

	Synthetic Parazinho				
	(n <sup>o</sup> units in SC)				
		5	4	3	
<b>pib_pc</b>	2780.858	3180.752	3420.283	3651.565	3631.973
<b>pib_ind</b>	676.100	1632.794	2047.491	2357.235	5482.022
<b>pib_imp</b>	687.599	686.444	779.394	838.883	412.329
<b>pib_serv</b>	3402.319	3412.371	3912.560	3637.230	3477.367
<b>empreg_tot</b>	269.727	269.042	261.175	267.385	167.825
<b>remun_tot</b>	1.502	1.545	1.453	1.474	1.342

Tabela 13: Preditores de Empregos antes da intervenção - João Câmara RN

	Synthetic Joao Camara				
	(n <sup>o</sup> units in SC)				
		5	4	3	
<b>pib_pc</b>	3067.26	3.067.164	2.921.298	2.918.479	4411.17
<b>pib_ind</b>	8577.026	8585.137	5756.279	5511.007	33131.043
<b>pib_imp</b>	5778.59	5777.819	4869.413	3812.091	8129.627
<b>pib_serv</b>	36145.68	36145.781	39096.839	35452.068	45408.707
<b>empreg_tot</b>	1304.364	1304.362	1361.159	1314.001	1629.327
<b>remun_tot</b>	1.771	1.771	1.677	1.602	1.848

Tabela 14: Preditores de Empregos antes da intervenção - Igaporã BA

Synthetic Igaporã					
(n <sup>o</sup> units in SC)					
		5	4	3	
<b>pib_pc</b>	2011.768	2013.132	1842.837	1532.786	2334.475
<b>pib_ind</b>	1783.182	1783.024	1495.339	908.092	2025.121
<b>pib_imp</b>	1222.182	1222.148	983.748	540.364	1261.333
<b>pib_serv</b>	8284.455	8284.389	9251.616	5773.186	9621.403
<b>empreg_tot</b>	478.545	478.552	423.652	422.364	539.633
<b>remun_tot</b>	1.387	1.387	1.350	1.291	1.572

Tabela 15: Preditores de Empregos antes da intervenção - Guanambi BA

Synthetic Guanambi					
(n <sup>o</sup> units in SC)					
		5	4	3	
<b>pib_pc</b>	3736.025	4045.268	3889.594	4038.398	4105.300
<b>pib_ind</b>	29016.273	35536.229	37077.307	37954.560	34167.539
<b>pib_imp</b>	30088.636	32355.742	30390.686	32112.194	30232.490
<b>pib_serv</b>	157682.000	154782.527	151595.996	158412.323	140.768.421
<b>empreg_tot</b>	5555.818	5543.946	5502.115	5504.274	5520.804
<b>remun_tot</b>	2.017	1.927	1.939	1.963	1.839

## APÊNDICE E - Dados extraídos da Consulta Prévia do FDNE

As Tabelas 16 e 17 mostram alguns dos dados extraídos da base de cadastro do FDNE para usinas eólica e solar fotovoltaica.

Tabela 16: Dados das usinas consideradas - Eólica

Usinas	Fonte	Potência Inst. (MW)	Empregos na fase de O&M	Empregos na fase de C&I	FEdir O&M emp./MW	FEdir C&I emp.-ano/MW	Tempo (meses)
UE1	Eólica	25,20	8	235	0,32	10,88	14
UE2	Eólica	23,10	7	215	0,30	10,86	14
UE3	Eólica	83,16	25	320	0,30	7,05	22
UE4	Eólica	67,20	14	406	0,21	6,04	12
UE5	Eólica	21,00	6	202	0,29	9,62	12
UE6	Eólica	99,40	65	1200	0,65	17,10	17
UE7	Eólica	36,00	33	250	0,92	6,94	12
UE8	Eólica	40,50	33	250	0,81	6,17	12
UE9	Eólica	36,00	34	250	0,94	8,10	14
<b>Valor Médio</b>	<b>Eólica</b>	<b>47,95</b>	<b>25</b>	<b>370</b>	<b>0,53</b>	<b>9,20</b>	<b>14</b>
<b>Desv. Pad</b>	<b>Eólica</b>	<b>26,79</b>	<b>17,96</b>	<b>299,33</b>	<b>0,28</b>	<b>3,30</b>	<b>3,13</b>

Tabela 17: Dados das usinas consideradas - Solar Fotovoltaica

Usinas	Fonte	Potência Inst. (MW)	Empregos na fase de O&M	Empregos na fase de C&I	FEdir O&M emp./MW	FEdir C&I emp.-ano/MW	Tempo (meses)
US1	Solar	163,70	-	2800	-	17,10	14
US2	Solar	120,00	70	-	0,58	-	-
US3	Solar	30,00	25	280	0,83	9,33	12
US4	Solar	96,90	90	750	0,93	7,74	12
<b>Valor Médio</b>	<b>Solar</b>	<b>102,65</b>	<b>62</b>	<b>1277</b>	<b>0,78</b>	<b>11,39</b>	<b>13</b>
<b>Desv. Pad</b>	<b>Solar</b>	<b>55,79</b>	<b>33,29</b>	<b>1340,01</b>	<b>0,18</b>	<b>6,64</b>	<b>1,15</b>

## APÊNDICE F - Base de cálculo dos Fatores de Empregos Indiretos

As Tabelas 18 e 19 mostram a base de dados para cálculo dos multiplicadores indiretos dos insumos das fontes eólica e solar fotovoltaica, respectivamente.

Tabela 18: Dados das indústrias de insumos - Eólica

Insumos da Fonte Eólica	Empregos por setor	Produção anual (ton)	Ed	Fonte
Concreto	64996	56.611.225	0,00115	Instituto Aço Brasil (2019)
Aço	116390	35.400.000	0,00329	SNIC - Sindicato Nacional Indústria do Cimento (2019)
Polímeros	1366	7100000	0,00019	Associação Brasileira da Indústria de Plástico - ABIPLAST (2019)
Alumínio	35484	650.200	0,05457	ABAL - Associação Brasileira de Alumínio (2019)
Cobre	15500	1.129.500	0,01372	Instituto Brasileiro de Mineração (2019)

Tabela 19: Dados das indústrias de insumos - Solar Fotovoltaica

Insumos da Fonte Solar Fotovoltaica	Empregos por setor	Produção anual (ton)	Ed	Fonte
Vidro	41300	2.748.450	0,01503	Associação Brasileira de Vidros (2019)
Aço	116390	35.400.000	0,00329	Instituto Aço Brasil (2019)
Concreto	64996	56.611.225	0,00115	SNIC - Sindicato Nacional Indústria do Cimento (2019)
Alumínio	35484	650.200	0,05457	ABAL - Associação Brasileira de Alumínio (2019)
Cobre	15500	1.129.500	0,01372	Instituto Brasileiro de Mineração (2019)

## APÊNDICE G - Empregos Projetados - Base de Dados

As Tabelas 20 e 21 apresentam a projeção de empregos calculada para as fases de C&I e O&M das fontes eólica e solar fotovoltaica. Foi considerada a expansão projetada pelo Plano Decenal de Expansão Energética 2030 (EPE, 2020).

Tabela 20: Dados das usinas consideradas - Eólica

<b>Ano</b>	<b>Cap Inst. (MW)</b>	<b>Expansão (MW)</b>	<b>Empregos_d O&amp;M</b>	<b>Empregos_d C&amp;I</b>	<b>EmpregosInd C&amp;I</b>	<b>Total C&amp;I</b>	<b>Total</b>
<b>2020</b>	15870	0	8411	0	0	0	<b>8411</b>
<b>2021</b>	17086	1216	9056	11187	8597	19784	<b>28840</b>
<b>2022</b>	17149	63	9089	580	445	1025	<b>10114</b>
<b>2023</b>	18070	920	9577	8464	6504	14968	<b>24546</b>
<b>2024</b>	19320	1251	10240	11509	8845	20354	<b>30593</b>
<b>2025</b>	20356	1035	10789	9522	7317	16839	<b>27628</b>
<b>2026</b>	22731	2375	12047	21850	16791	38641	<b>50689</b>
<b>2027</b>	25106	2375	13306	21850	16791	38641	<b>51947</b>
<b>2028</b>	27481	2375	14565	21850	16791	38641	<b>53206</b>
<b>2029</b>	29856	2375	15824	21850	16791	38641	<b>54465</b>
<b>2030</b>	32230	2375	17082	21850	16791	38641	<b>55723</b>

Tabela 21: Dados das usinas consideradas - Solar Fotovoltaica

<b>Ano</b>	<b>Cap Inst. (MW)</b>	<b>Expansão (MW)</b>	<b>Empregos_d O&amp;M</b>	<b>Empregos_d C&amp;I</b>	<b>EmpregosInd C&amp;I</b>	<b>Total C&amp;I</b>	<b>Total</b>
<b>2020</b>	3110	0	2426	0	0	0	<b>2426</b>
<b>2021</b>	3401	291	2653	3591	1827	5418	<b>8071</b>
<b>2022</b>	4046	645	3156	7959	4051	12010	<b>15166</b>
<b>2023</b>	4249	204	3314	2517	1281	3798	<b>7113</b>
<b>2024</b>	4279	30	3338	370	188	559	<b>3896</b>
<b>2025</b>	4779	500	3728	6170	3140	9310	<b>13038</b>
<b>2026</b>	5511	731	4299	9021	4591	13611	<b>17910</b>
<b>2027</b>	6242	731	4869	9021	4591	13611	<b>18480</b>
<b>2028</b>	6974	731	5440	9021	4591	13611	<b>19051</b>
<b>2029</b>	7705	731	6010	9021	4591	13611	<b>19621</b>
<b>2030</b>	8436	731	6580	9021	4591	13611	<b>20191</b>