



**UFOP**

Universidade Federal  
de Ouro Preto

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**



**SAMUEL LIMA ALVES PEREIRA**

**IMPACTO DOS SUBSÍDIOS GOVERNAMENTAIS NA CAPACIDADE INSTALADA  
DE ENERGIA RENOVÁVEL NO BRASIL (2018-2023)**

MARIANA – MG

2025

SAMUEL LIMA ALVES PEREIRA

**IMPACTO DOS SUBSÍDIOS GOVERNAMENTAIS NA CAPACIDADE INSTALADA  
DE ENERGIA RENOVÁVEL NO BRASIL (2018-2023)**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Ouro Preto, no Instituto de Ciências Sociais Aplicadas, como requisito parcial a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

**Áreas de concentração:** Energias Renováveis.

**Orientador:** Prof. Dr. Luccas Assis Attílio

MARIANA – MG

2025

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

P436i Pereira, Samuel Lima Alves.  
Impacto dos Subsídios Governamentais na Capacidade Instalada de Energia Renovável no Brasil (2018-2023). [manuscrito] / Samuel Lima Alves Pereira. - 2025.  
43 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Luccas Assis Attílio.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Instituto de Ciências Sociais Aplicadas. Graduação em Ciências Econômicas .

1. Energia limpa - Brasil. 2. Política energética - Brasil. 3. Política pública - Brasil. 4. Subsídios governamentais - Brasil. 5. Variáveis (Matemática). I. Attílio, Luccas Assis. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 338.4(81)

Bibliotecário(a) Responsável: Essevalter De Sousa - Bibliotecário Coordenador  
CBICSA/SISBIN/UFOP-CRB6a1407



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Samuel Lima Alves Pereira**

Impacto dos Subsídios Governamentais na Capacidade Instalada de Energia Renovável no Brasil (2018-2023)

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel

Aprovada em 21 de agosto de 2025

### Membros da banca

Dr. Lucas Assis Atílio- Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dr. Martin Harry Vargas Barrenechea (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dra. Rosângela Aparecida Soares Fernandes (Universidade Federal de Ouro Preto)

Dr. Lucas Assis Atílio, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 02/09/2025



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Assis Atílio, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/09/2025, às 14:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0975830** e o código CRC **D383C4B7**.

## RESUMO

Este trabalho investiga a efetividade dos subsídios governamentais na expansão da capacidade instalada de energia renovável no Brasil entre os anos de 2018 e 2023. Através de uma abordagem quantitativa, foi estimado um modelo Vetor Autorregressivo (VAR) com variáveis macroeconômicas e setoriais, como o Produto Interno Bruto, Subsídios, Capacidade Instalada, Investimentos e o IPCA. Os principais instrumentos de análise incluíram testes de causalidade de Granger, funções impulso-resposta e decomposição da variância dos erros de previsão. Os resultados indicam que embora os subsídios apresentem algum grau de influência sobre a capacidade instalada de energia renovável, seu impacto direto é muito pequeno e estatisticamente não significativo no curto prazo, possivelmente em razão do reduzido número de observações disponíveis ou da transformação da série anual em mensal por meio do procedimento de Denton. A maior parte da variabilidade da série é explicada por seus próprios choques, sugerindo uma dinâmica endógena e de longo prazo. O estudo contribui ao oferecer evidências empíricas que reforçam a necessidade de políticas públicas estruturantes, com foco em estabilidade regulatória e incentivos de longo prazo, complementando abordagens anteriores que apontam efeitos positivos dos subsídios em contextos diferentes.

Palavras-chave: Energia renovável. Subsídios governamentais. Modelo VAR. Políticas públicas. Brasil.

## **ABSTRACT**

This study investigates the effectiveness of government subsidies in expanding the installed capacity of renewable energy in Brazil between 2018 and 2023. Using a quantitative approach, a Vector Autoregressive (VAR) model was estimated with macroeconomic and sectoral variables such as Gross Domestic Product, Subsidies, Installed Capacity, Investments, and the Consumer Price Index (IPCA). The main analytical tools included Granger Causality Tests, impulse response functions, and forecast error variance decomposition. The results indicate that although subsidies show some degree of influence on the installed capacity of renewable energy, their direct impact is very small and statistically insignificant in the short term, possibly due to the limited number of available observations or the transformation of the annual series into monthly data using the Denton procedure. Most of the variability in the series is explained by its own shocks, suggesting an endogenous and long-term dynamic. This study contributes by providing empirical evidence that reinforces the need for structural public policies focused on regulatory stability and long-term incentives, complementing previous approaches that highlight positive effects of subsidies in different contexts.

Keywords: Renewable energy. Government subsidies. VAR model. Public policies. Brazil.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Custo Médio Ponderado de Capital para Energia Eólica no Continente e Energia Solar Fotovoltaica por Nível de Receita do País ..... | 5  |
| Figura 2 – Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte .....   | 8  |
| Figura 3 – Brasil: Valor dos Subsídios no setor da Energia Elétrica (2023) .....  | 14 |
| Figura 4 – Capacidade Instalada x Subsídios governamentais.....   | 23 |
| Figura 5 – Função Impulso-Resposta D_RENOV para D_SUB .....   | 29 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Brasil: Subsídios às Fontes Renováveis (Produção e Consumo) (2018 a 2023) .....      | 12 |
| Tabela 2 – Brasil: Visão Geral dos Subsídios às Fontes Fósseis e Renováveis (2018 e 2023) ..... | 13 |
| Tabela 3 – Análise de Raiz Unitária .....   | 24 |
| Tabela 4 – Teste AIC .....  | 26 |
| Tabela 5 – Teste de Causalidade de Granger .....  | 27 |
| Tabela 6 – Decomposição da Variância com Diferenciação .....                                    | 30 |
| Tabela 7 – Decomposição da Variância em Nível .....   | 31 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 – variáveis do modelo VAR..... | 21 |
|---|----|

## **LISTA DE SIGLAS**

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FBCF – Formação Bruta de Capital Fixo

GW – Gigawatt

IEA – International Energy Agency

INESC – Instituto de Estudos Socioeconômicos

IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

MW – Megawatt

PIB – Produto Interno Bruto

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas

REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

TUSD/TUST – Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição e Transmissão

VAR – Vetores Autorregressivos

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| INTRODUÇÃO .....  | 1  |
| 1 ENERGIAS RENOVÁVEIS.....  | 3  |
| 1.1 Energia Renovável no Mundo .....                                  | 3  |
| 1.2 Desafios Para Implementação de energias renováveis no Mundo ..... | 5  |
| 1.3 Energia Renovável no Brasil .....                                 | 8  |
| CAPÍTULO 2 – POLÍTICAS PÚBLICAS .....                                 | 11 |
| 2.1 Subsídios às Energias Renováveis .....                            | 11 |
| 2.2 Dados dos Subsídios .....   | 13 |
| 2.3 Estudos sobre Subsídios às Energias Renováveis no Brasil .....    | 16 |
| CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....   | 18 |
| 3.1 Séries Temporais .....  | 18 |
| 3.2 Modelo VAR .....  | 19 |
| 3.3 Coleta de dados .....   | 20 |
| CAPÍTULO 4 - RESULTADOS.....  | 24 |
| 4.1 Análise de Raiz Unitária .....                                    | 24 |
| 4.2 Critério de Informação de Akaike .....                            | 26 |
| 4.3 Causalidade de Granger .....                                      | 27 |
| 4.4 Função Impulso-Resposta com diferenciação .....                   | 29 |
| 4.5 Decomposição da Variância .....                                   | 30 |
| 4.6 Discussão dos Resultados .....                                    | 32 |
| CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO.....   | 35 |
| 5.1 Resumo dos Resultados .....                                       | 35 |
| 5.2 Contribuição para a Literatura.....                               | 36 |
| 5.3 Limitações .....  | 37 |
| 5.4 Implicações de Política Econômica.....                            | 39 |
| REFERÊNCIAS .....   | 41 |

## INTRODUÇÃO

A crescente preocupação global com as mudanças climáticas e com a sustentabilidade ambiental tem impulsionado uma profunda transformação nas matrizes energéticas de diversos países, incentivando a adoção de fontes renováveis como alternativas aos combustíveis fósseis. Nesse contexto, políticas públicas de incentivo, como os subsídios governamentais, têm sido amplamente utilizadas como mecanismos de estímulo à expansão da capacidade instalada de energias limpas. No entanto, a efetividade desses instrumentos ainda é tema de debate, especialmente em economias emergentes como o Brasil, onde a implementação e os resultados dessas políticas encontram desafios estruturais, regulatórios e econômicos. (REN21, 2024)

O Brasil ocupa uma posição de destaque no cenário internacional devido à sua matriz energética majoritariamente composta por fontes renováveis em 2023, como hidrelétrica participando com 58,9%, eólica com 13,2%, solar com 7,0% e biomassa com 5,1%. Apesar desse potencial, o país ainda apresenta uma estrutura de incentivos contraditória, com significativa predominância de subsídios destinados a fontes fósseis, em detrimento das fontes limpas (INESC, 2024). Tal cenário levanta questões relevantes sobre a coerência das políticas energéticas brasileiras diante das metas climáticas internacionais assumidas pelo país, como as estabelecidas no Acordo de Paris<sup>1</sup>.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo principal investigar o impacto dos subsídios governamentais sobre a capacidade instalada de energia renovável no Brasil, no período compreendido entre 2018 e 2023. Para isso, utiliza-se a modelagem econométrica de Vetores Autorregressivos (VAR), que permite avaliar as relações dinâmicas e endógenas entre variáveis econômicas relevantes, como os subsídios, o Produto Interno Bruto (PIB), a Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF), o IPCA e a própria capacidade instalada de fontes renováveis.

A escolha desse período se justifica pelo contexto recente de reestruturação das políticas energéticas brasileiras e pelo aumento dos investimentos em energias

---

<sup>1</sup> O Acordo de Paris foi adotado em dezembro de 2015, com o objetivo principal de limitar o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais, e prosseguir os esforços para limitá-lo a 1,5°C para evitar as consequências mais severas das mudanças climáticas, como secas e ondas de calor mais frequentes. (Ministério do Meio Ambiente, 2017)

renováveis, o que permite observar possíveis efeitos diretos e indiretos das políticas públicas adotadas. Além disso, a metodologia proposta possibilita uma análise empírica consistente, baseada em séries temporais mensais, o que amplia a precisão dos resultados e a compreensão da dinâmica setorial.

A literatura sobre subsídios às energias renováveis no Brasil é ainda limitada. Borges e Salles (2021), por exemplo, analisaram a política de descontos aplicados às tarifas de uso dos sistemas de distribuição e transmissão (TUSD/TUST), destacando seus efeitos positivos e negativos. No entanto, poucos trabalhos buscaram mensurar empiricamente o impacto direto dos subsídios sobre a expansão da capacidade instalada. Nesse sentido, o presente estudo avança ao aplicar um modelo VAR para quantificar esses efeitos no período recente (2018–2023).

Com este trabalho, o objetivo é contribuir para a literatura sobre economia da energia e políticas públicas, oferecendo evidências empíricas atualizadas que possam subsidiar o aprimoramento das estratégias de fomento à transição energética no Brasil. Ao problematizar os efeitos reais dos subsídios sobre a infraestrutura energética nacional, a pesquisa visa também oferecer subsídios técnicos para o redesenho de políticas mais eficazes, alinhadas aos compromissos ambientais e ao desenvolvimento sustentável de longo prazo.

## **CAPÍTULO 1 - ENERGIAS RENOVÁVEIS**

O aumento da participação das energias renováveis em todo o mundo é, sem dúvida, resultado de uma grande mudança nos princípios energéticos e nas estratégias de desenvolvimento sustentável dos Estados em função do problema das mudanças climáticas e da necessidade de diversificação das fontes de energia. As renováveis, portanto, são apresentadas como a única alternativa para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e suas consequências para o meio ambiente. Neste capítulo, será discutido o papel das energias renováveis para o mundo e para o Brasil, e a análise contemplará os principais pontos relacionados com a adoção destas fontes, entre os quais são analisados os fatores que estimulam o seu desenvolvimento e as barreiras que ainda precisam ser removidas.

### **1.1 Energia Renovável no Mundo**

O desenvolvimento das energias renováveis em nível internacional constitui uma fase fundamental do processo voltado para uma transição energética mais sustentável. Este movimento resulta de pressões exercidas para que se atenuem os efeitos deletérios da mudança climática, assim como para diversificação das matrizes energéticas de cada país. A partir das projeções da International Energy Agency (IEA) a capacidade instalada de energias renováveis deverá alcançar cerca de 8200 GW até 2030, que será um aumento significativo comparado com o início da década de 2020. Essa expansão será conduzida em sua maior parte, pelos sistemas de energia solar fotovoltaica e eólica, que serão responsáveis por aproximadamente 95% do crescimento global projetado para este período.

O papel de países como a China, EUA e Índia torna-se fundamental nesse processo, tanto por meio de políticas públicas robustas, como também através de altos investimentos em infraestrutura e inovação tecnológica (REN21, 2024). A China, como ressalta, é a líder mundial, com cerca de 60% do aumento da capacidade renovável até 2030 (IEA, 2024). Este papel surgirá em função de um quadro bastante abrangente de incentivos e políticas de suporte, que incluem subsídios diretos, metas para a produção local e programas para integração das renováveis ao setor elétrico.

Um fator crucial para o aumento das energias renováveis no mundo é o barateamento das tecnologias associadas a elas (REN21, 2024). A redução de preço dos investimentos associados, como os painéis solares e as turbinas eólicas, favoreceu as implementações em larga escala, em particular nos países em desenvolvimento. Isso se deveu à redução dos custos proporcionados pelas economias de escala, às inovações técnicas e ao aumento da produtividade dos processos produtivos (IEA, 2024). Entretanto, a expansão do uso das renováveis também apresenta desafios. Em muitas regiões, o acesso ao financiamento e a falta de infraestrutura apropriada para a incorporação das novas fontes de energia figuram entre as barreiras mais desafiadoras. Ademais, os processos da regulamentação temporais e a ausência de grande variedade nos padrões dos leilões de energia aparecem como barreiras à rapidez da transição (REN21, 2024).

No plano internacional, os compromissos políticos têm grande peso. Na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP28), líderes mundiais reafirmaram o compromisso de triplicar a capacidade instalada das energias renováveis até 2030. Tal meta, apesar de um importante marco, precisa ainda amadurecer em ações efetivas e sinérgicas para se concretizar. Os países desenvolvidos têm sido os mais ativos nesse compromisso, ao passo que a realidade para as economias emergentes é mais penosa em função do escasso acesso ao financiamento e da baixa disponibilidade do apoio técnico necessário para desenvolver projetos maiores.

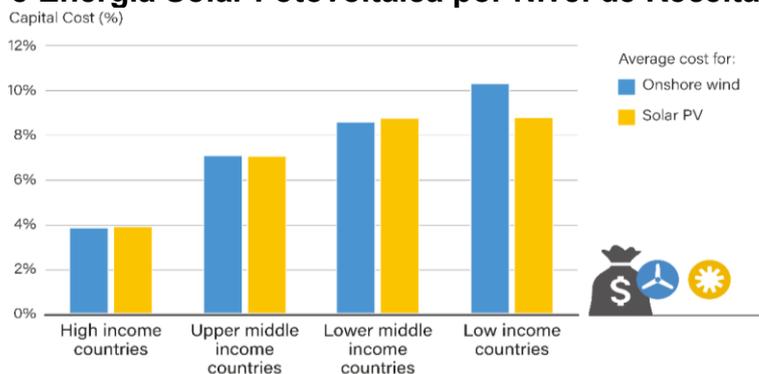
Não obstante os desafios, a trajetória mundial das energias renováveis, é indicativa do potencial de transformação que proporciona a conjugação entre políticas públicas firmes, inovação tecnológica e cooperação internacional. O crescimento acelerado dessa matriz energética é uma ilustração clara de como a oferta de soluções de baixo carbono pode ser estimulada, não para se alcançar as metas climáticas de responsabilidade global, mas para se atingir um desenvolvimento econômico sustentável. O completo aproveitamento desse potencial, entretanto, exige a superação dos desafios instalados, principalmente no que diz respeito à infraestrutura e ao financiamento, a fim de que novas energias sejam disponibilizadas adequadamente para todos os países.

## 1.2 Desafios Para Implementação De Energias Renováveis Nos Países Em Desenvolvimento

A implementação das energias renováveis no mundo, embora cada vez mais significativas e apresentando progressos nas últimas décadas, é submetida a diversos desafios estruturais, econômicos e tecnológicos, que tornam o processo de transição energética problemático (REN21, 2024). O caráter intermitente de algumas fontes renováveis como a solar e a eólica é um dos principais entraves, o que implica na necessidade de investimentos focados em soluções de armazenamento de energia e na modernização das redes elétricas (IEA, 2024). Sem uma infraestrutura que propicie essa interligação, a integração da eletricidade oriunda destas fontes à matriz elétrica pode resultar na instabilidade do sistema elétrico e no comprometimento da entrega contínua de energia que se espera (REN21, 2024).

De acordo com a Figura 1, outro desafio relevante se refere ao alto custo de implementação de projetos de energia renovável, particularmente nos países em desenvolvimento (REN21, 2024). Apesar das quedas expressivas dos custos dos equipamentos como turbinas eólicas e painéis solares, fruto da economia de escala e do aprimoramento constante, o acesso ao financiamento continua um desafio importante (IEA, 2024). Vários países em desenvolvimento apresentam dificuldades no acesso ao crédito que apresenta taxas de juros maiores do que as observadas nos países desenvolvidos, aumentando o custo do projeto e reduzindo a viabilidade econômica do mesmo. Além disso, a falta de políticas públicas firmes e previsíveis em algumas áreas provoca incertezas para os investidores e desincentiva a realização de novos projetos.

**Figura 1 - Custo Médio Ponderado de Capital para Energia Eólica no Continente e Energia Solar Fotovoltaica por Nível de Receita do País**



Fonte: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2024\\_GlobalOverview\\_Full\\_Report\\_with\\_endnotes\\_web.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2024_GlobalOverview_Full_Report_with_endnotes_web.pdf), REN21(2024)

As fontes renováveis possuem caráter intermitente, e necessitam de soluções tecnológicas para assegurar a estabilidade do sistema energético. A expansão da energia solar e eólica, por exemplo, requer mais baterias de alta capacidade e armazenagem para compensar as flutuações na saída destas energias. Entretanto, estas tecnologias ainda são mais dispendiosas e têm limitações em relação à eficiência e à durabilidade. Ao mesmo tempo, as redes de transmissão e de distribuição precisam ser compatíveis com a nova produção descentralizada e intermitente das renováveis, o que requer altos investimentos na modernização e na ampliação das infraestruturas existentes (REN21, 2024).

Os desafios se estendem também em relação à política regulatória e à governança. Os atrasos nos processos regulatórios, a falta de homogeneidade nos leilões de energia e a burocracia dos processos de aprovação de projeto, prejudicam a instalação das renováveis, particularmente nos mercados emergentes. A falta de um planejamento em longo prazo para o setor elétrico gera muitas vezes fragmentação de iniciativas, o que tem um efeito adverso sobre a eficiência e a confiança dos investidores quanto aos programas de incentivo (REN21, 2024).

No que se refere ao aspecto social, a transição energética enfrenta um problema de resistência, especialmente com o temor de perda de empregos nos setores tradicionais, principalmente no setor de combustíveis fósseis (REN21, 2024). Portanto, a transição para as fontes renováveis deve ser promovida por políticas que assegurem qualificação profissional e criação de novas oportunidades econômicas, assim como minimizar consequências socioeconômicas negativas, especialmente nas comunidades que dependem da atividade advinda de fontes não renováveis (REN21, 2024).

A desigualdade no acesso aos benefícios resultantes do uso da energia na transição para as energias renováveis é um ponto crítico. Embora os países desenvolvidos avancem em direção a matrizes energéticas mais limpas e diversificadas, muitos países em desenvolvimento ainda tentam desenvolver as tecnologias de energia renovável em larga escala (IEA, 2024). A falta de financiamento acessível a essa situação pode ainda ser atribuída à falta de experiência técnica e à dependência de tecnologias importadas e, portanto, o progresso em regiões de alto potencial, como a África Subsaariana ou partes da América Latina, é uma tarefa muito difícil (REN21,2024).

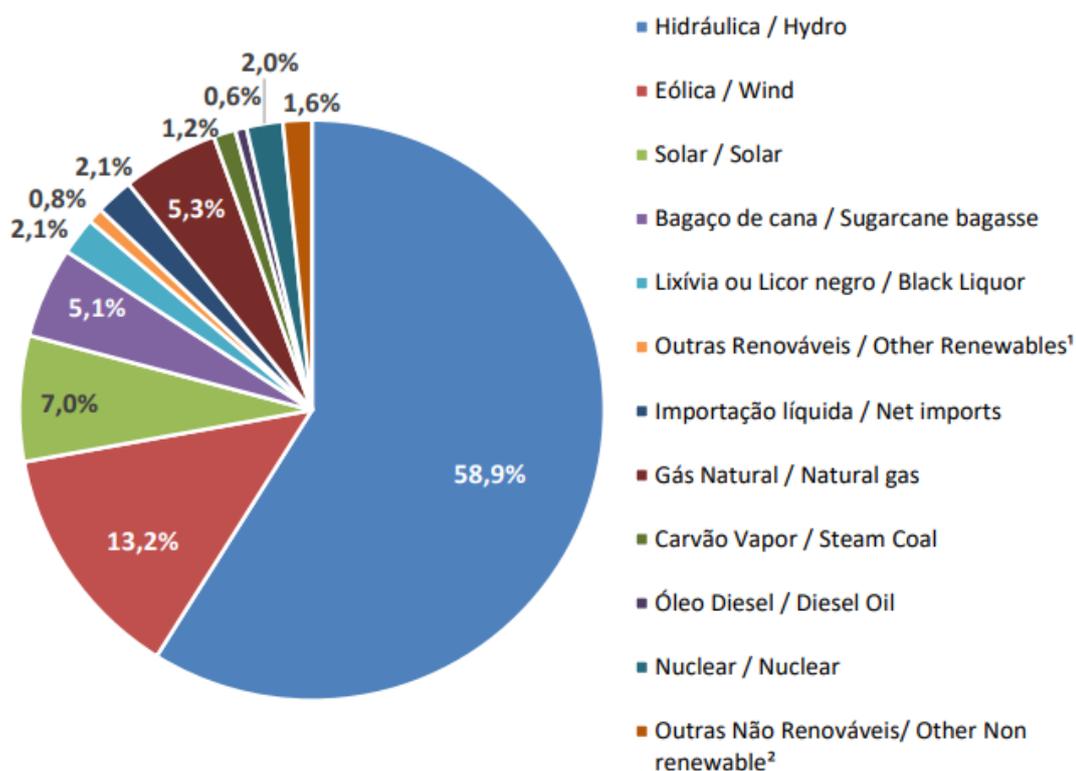
Contudo, existem atualmente iniciativas no nível global que buscam abordar estes problemas, assim como aceleram a transição energética. Agências internacionais, como a Agência Internacional de Energia (IEA) e a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), estiveram tentando trabalhar junto aos países pelos quais foram desenvolvidos programas de intercâmbio de know-how e financiamento para iniciativas que são consideradas estratégicas. Adicionalmente, programas de financiamento em clima, como o Fundo Verde Climático, têm desempenhado uma função insubstituível, pois garantem o financiamento, permitindo que os países em desenvolvimento invistam em infraestrutura de produção de energia renovável.

Assim sendo, a adoção de energias renováveis, embora mais desafiadora, oferece também oportunidades sem precedentes para os ecossistemas energéticos globais. O atendimento a estes obstáculos requer colaborações entre governos, setor privado e agências internacionais, assim como inovações que façam da transição para matrizes energéticas sustentáveis uma realidade de inclusão e economicamente viável. Se gerida corretamente, essa mudança contribuirá não apenas para lidar com as mudanças climáticas, mas também poderá dar um novo impulso ao desenvolvimento econômico e à criação de postos de trabalho mundiais.

### 1.3 Energia Renovável no Brasil

A matriz energética do Brasil é mundialmente reconhecida por seu percentual considerável de fontes renováveis, tornando o país um modelo em matéria de sustentabilidade energética. De acordo com a Figura 2 e historicamente, o Brasil desenvolveu uma infraestrutura baseada na hidreletricidade, que foi responsável por cerca de 58,9% da produção de eletricidade dos setores elétricos em 2023. Este domínio da hidreletricidade e o contínuo crescimento de outras fontes, como a solar e eólica, de tais como de biomassa, traduzem o Brasil em uma das principais potências mundiais em energia limpa.

**Figura 2 – Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte em 2023**



Notas / Notes:

1. Inclui Lenha, Biodiesel e Outras renováveis / Includes Firewood, Biodiesel and Other Renewables

2. Inclui Óleo Combustível, Gás de Coqueria, Outras Secundárias e Outras Não-Renováveis/ Includes Fuel Oil, Coke Oven Gas, Other Secondaries and Other Non-Renewables

Fonte: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-723/BEN2024.pdf>, EPE/MME (2024)

Nos anos mais recentes, a expansão da energia eólica assumiu proporções exponenciais, tornando-se a segunda maior fonte renovável do sistema elétrico nacional. Em 2023, a geração de eletricidade provenientes do vento atingiu 95,8 TWh, crescendo 17,4% em relação ao ano anterior (EPE,2024). Foi, em grande parte, na

região do Nordeste do Brasil, que a procura foi por suas melhores condições climáticas que incluem ventos contínuos e rápidos, que ocorreu uma parte relevante deste progresso. Além disso, foi através de leilões de energia que a energia eólica se inseriu no Brasil, gerando um ambiente competitivo e atraindo investimento nacional e internacional (EPE, 2024).

A energia solar fotovoltaica é outra das fontes mais promissoras em relação à matriz energética brasileira, devido à elevada radiação solar ao longo de todo o ano. O Brasil então obteve um crescimento significativo em capacidade instalada em energia solar fotovoltaica em 2023 representando um crescimento de 54,76% em relação a 2022 e alcançando 37.843,03 MW (MME – SIEBRASIL, 2024), merecendo destaque a geração distribuída, permitindo que os consumidores consigam produzir a sua própria energia elétrica. Todavia, mesmo diante de tanto potencial, a energia solar continua a ter papel reduzido na matriz elétrica. Os principais desafios enfrentados são custos iniciais altos e políticas públicas mais robustas para o estímulo à adoção dessa tecnologia em larga escala (REN21, 2024).

Outro componente importante da matriz energética da nação é a biomassa, em especial a do bagaço da cana-de-açúcar, desempenhando papel relevante na geração total de energia no Brasil. A biomassa não apenas desempenha função de diversificação da matriz, mas emprega resíduos de produtos agrícolas, proporcionando retorno adicional em termos de custos e benefícios ambientais. A produção de eletricidade com a biomassa em 2023 ainda prosseguiu em crescimento, corroborando sua função como alternativa sustentável, eficaz e de baixa emissão de carbono (EPE, 2024).

Não obstante estes avanços, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos na consolidação e na expansão do uso de energias renováveis (EPE, 2024). A dependência histórica da energia hidrelétrica, apesar de favorável em termos de emissões, revela-se vulnerável em situações de seca, quando a capacidade de armazenamento é reduzida (IEA, 2024). Portanto, a diversificação da matriz energética é essencial para garantir a resiliência energética e a redução dos riscos relacionados a eventos climáticos extremos.

Outro desafio a ser superado é a modernização da infraestrutura de transmissão e distribuição, buscando integrar as novas fontes de energia renovável, especificamente aquelas localizadas em regiões remotas, como os parques de

energias eólica no Nordeste e as usinas solares no interior do país. Em adição, um deles é a construção de uma cadeia produtiva nacional para fornecer os equipamentos e as tecnologias necessárias à expansão das energias renováveis, que proporcionem menor dependência das importações e promoção do desenvolvimento da economia local (EPE, 2024).

É importante ressaltar que as políticas públicas têm um papel fundamental nesse processo. Os subsídios fiscais, os incentivos à inovação tecnológica e os programas de financiamento são essenciais para que o setor de renováveis avance no Brasil (EPE, 2024). O governo vem promovendo leilões de energia e celebrado parcerias público-privadas como ferramentas efetivas de atração de investimentos (IEA, 2024). No entanto, ainda é possível aprimorar a regulamentação e criar um ambiente mais favorável para o desenvolvimento das tecnologias limpas, com incentivos à pesquisa e ao desenvolvimento (REN21, 2024).

As perspectivas em torno do fechamento de fontes alternativas de energia no Brasil são otimizadas, mas dependem de um competente e minucioso planejamento estratégico, efetuado na intersecção da integração de políticas ambientais com as políticas econômicas e sociais. O Brasil poderá, além de cumprir suas metas climáticas internacionais (como as do Acordo de Paris), tirar proveito da oportunidade de água do impulso da transição energética mundial, evidenciando-se através de seus esforços pela realização de um modelo de desenvolvimento, ao menos, de como obter o desenvolvimento econômico em equilíbrio com a sustentabilidade ambiental. A ampliação do uso de fontes de energia renováveis poderá, se acompanhada da inclusão e eficiência, não só ampliar os padrões de integração da segurança de energia que existe no Brasil, mas, também, gerar empregos, reduzir desigualdades regionais e permitir um crescimento sustentável.

## **CAPÍTULO 2 – POLÍTICAS PÚBLICAS**

As políticas públicas desempenham um importante papel no processo de transição energética, com influência sobre a governança regulatória, o direcionamento dos investimentos e a promoção da inovação em energias renováveis. No Brasil, onde as fontes renováveis já representam uma parte considerável da matriz elétrica, os incentivos e subsídios ajudaram a impulsionar este setor. Contudo, permanecem desafios, como a necessidade de modernização da infraestrutura existente e a continuidade dos investimentos em combustíveis fósseis. Este capítulo abordará o papel das políticas públicas no apoio às energias renováveis no Brasil, apresentando os principais programas de incentivo.

### **2.1 Subsídios às Energias Renováveis**

Os subsídios às energias renováveis no Brasil têm um papel importante no apoio à transição energética e ao avanço de uma matriz elétrica mais limpa e sustentável. No passado, esses incentivos surgiram como resposta a necessidade de diversificar a geração de energia e diminuir a dependência das fontes fósseis. Entretanto, a situação atual aponta tanto para significativas conquistas quanto para grandes dificuldades na implantação desses subsídios.

A Tabela 1 apresenta os subsídios destinados às fontes renováveis nos anos de 2018 a 2023, evidenciando o crescimento dos aportes totais, ainda que em patamar inferior ao destinado às fontes fósseis (INESC, 2024). Um dos pontos altos da história recente foi a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) pela Lei nº 10.438/2002, isto é, o primeiro programa a incorporar 3.300 MW a matriz elétrica nacional, advindos de fontes renováveis sendo compostas por eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). O programa não apenas aumentou a oferta de energia limpa como também impulsionou a indústria nacional através da exigência de conteúdo local para os equipamentos dos projetos, harmonizando a cadeia produtiva.

Outro avanço relevante foi a criação do Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (Reidi) em 2007, o qual isenta os projetos de infraestrutura energética, incluindo renováveis, de tributos federais como PIS/Pasep e

Cofins no período de instalação. Essa política foi capaz de reduzir os custos de instalação em até 9,25%, tornando as fontes renováveis competitivas em relação às tradicionais.

**Tabela 1 – Brasil: Subsídios às Fontes Renováveis (Produção e Consumo) (2018 a 2023)**

| Descrição   | Sigla                                     | em bilhões de R\$ |                  |                  |                  |                  |                  |
|---|---|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|   |   | 2018*             | 2019*            | 2020*            | 2021*            | 2022**           | 2023**           |
| Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica                  | Proinfra                                  | R\$ 4,42          | R\$ 5,10         | R\$ 4,57         | R\$ 4,28         | R\$ 6,38         | R\$ 5,45         |
| Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento de Infraestrutura            | Reidi                                     | R\$ 2,04          | R\$ 2,42         | R\$ 4,61         | R\$ 4,95         | R\$ 1,13         | R\$ 1,11         |
| Geração distribuída   | Geração Distribuída                       | R\$ 0,08          | R\$ 0,21         | R\$ 0,53         | R\$ 1,43         | R\$ 2,82         | R\$ 7,14         |
| Fontes Incentivadas – Redução de pagamento de TUST e TUSD (CDE)                   | TUST/TUSD                                 | R\$ 0,39          | R\$ 0,43         | R\$ 0,49         | R\$ 0,51         | R\$ 0,65         | R\$ 0,71         |
| Programa Mais Luz para a  | MLA                                       | R\$ -             | R\$ -            | R\$ -            | R\$ 0,11         | R\$ 0,41         | R\$ 0,86         |
| Sub-rogação da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE)                          | CCC                                       | R\$ 0,24          | R\$ 0,13         | R\$ 0,11         | R\$ 0,10         | R\$ 0,34         | R\$ 0,30         |
| Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores   | Padis                                     | R\$ 0,47          | R\$ 0,40         | R\$ 0,29         | R\$ 0,29         | R\$ 0,32         | R\$ 0,34         |
| Aerogeradores   | Aerogeradores                             | R\$ 0,07          | R\$ 0,06         | R\$ 0,15         | R\$ 0,18         | R\$ 0,00         | R\$ 0,00         |
| Biodiesel   | Biodiesel                                 | R\$ 2,55          | R\$ 2,58         | R\$ 0,11         | R\$ 0,10         | R\$ 0,02         | R\$ -            |
| Política nacional de biocombustíveis – Renovabio                                  | Renovabio                                 | R\$ -             | R\$ -            | R\$ -            | R\$ -            | R\$ 0,00         | R\$ -            |
| Fomento à participação da agricultura familiar nas cadeias de energias renováveis | Energia Renovável na agricultura familiar | R\$ -             | R\$ -            | R\$ -            | R\$ -            | R\$ 0,00         | R\$ 0,00         |
| Fomento à tecnologias aplicadas às energias renováveis e eficiência energética    | Tecnologia aplicada as fontes renováveis  | R\$ -             | R\$ -            | R\$ -            | R\$ -            | R\$ 0,00         | R\$ 0,00         |
| Isenções para consumo de etanol hidratado   | Consumo de Etanol                         | R\$ -             | R\$ -            | R\$ -            | R\$ -            | R\$ 2,19         | R\$ 2,14         |
| <b>Total</b>  |   | <b>R\$ 10,26</b>  | <b>R\$ 11,33</b> | <b>R\$ 10,86</b> | <b>R\$ 11,95</b> | <b>R\$ 14,25</b> | <b>R\$ 18,05</b> |
| * Valores constantes (do IPCA de dez/22)  |   |                   |                  |                  |                  |                  |                  |
| ** Valores nominais   |   |                   |                  |                  |                  |                  |                  |

Fonte: INESC (2023 e 2024)

Não obstante, os subsídios às fontes fósseis ainda são um grande obstáculo como será mencionado na Tabela 2. Em 2023 o Brasil concedeu subsídios no valor de R\$ 99,81 bilhões ao setor de energia, dos quais cerca de R\$ 81,74 bilhões, que representa mais de 80% foram subsídios às fontes fósseis. Em contrapartida, para as renováveis, o montante foi de somente R\$ 18,06 bilhões, o que equivale a R\$ 4,52 para cada R\$ 1,00 em energias limpas. Essa discrepância é incompatível com as metas climáticas definidas pelo país como, por exemplo, a meta de neutralidade do carbono até 2050, e ainda prejudica o desenvolvimento das renováveis competitivamente (INESC, 2024).

Além disso, programas como o Renovabio e o Mais Luz Para a Amazônia, resplandecem como exemplos de políticas públicas orientadas para fortalecer as

energias limpas. O Renovabio promove a descarbonização do setor de biocombustíveis e o Mais Luz para a Amazônia visa levar eletricidade renovável para comunidades remotas, promovendo inclusão social e desenvolvimento sustentável (EPE, 2024). No entanto, como demonstrado na tabela anexa, o Renovabio foi proporcionalmente nulo em termos nominais em 2023, evidenciando desafios na efetividade de sua implementação assim como o Biodiesel (INESC, 2024).

Nesse contexto, percebe-se que o Brasil ainda possui um potencial técnico e econômico para liderar a transição energética global. Porém, para que este potencial seja realizado, é fundamental que os subsídios para as renováveis sejam expandidos e alinhados às obrigações climáticas internacionais. Superar as barreiras atuais requer não apenas um incremento da alocação de recursos, mas também uma reforma estrutural nas políticas públicas, que garanta um ambiente regulatório estável, seguro e provido para atrair investimento de longo prazo. Somente dessa forma o Brasil pode tornar-se uma referência mundial em energia limpa e sustentável.

## 2.2 Dados dos Subsídios

Os dados a respeito dos subsídios alocados às fontes energéticas no Brasil indicam a existência de um quadro contraditório e desafiador, o qual afeta diretamente a transição para uma matriz mais sustentável. De acordo com a Tabela 2, em 2023, o Brasil empregou cerca de R\$ 99,81 bilhões em subsídios ao setor energético, sendo que a totalidade deste valor, ao redor de R\$ 81,74 bilhões, foi destinada às fontes fósseis, enquanto as renováveis receberam tão somente R\$ 18,06 bilhões, o que revela um aumento de 26,82% em relação a 2022. Contudo, essa tabela revela uma tendência histórica de apoio às fontes tradicionais, as quais, embora desempenhem um papel econômico significativo, possuem impactos ambientais em contrariedade aos compromissos internacionais do país em relação ao clima.

**Tabela 2 – Brasil: Visão Geral dos Subsídios às Fontes Fósseis e Renováveis (2018 e 2023)**

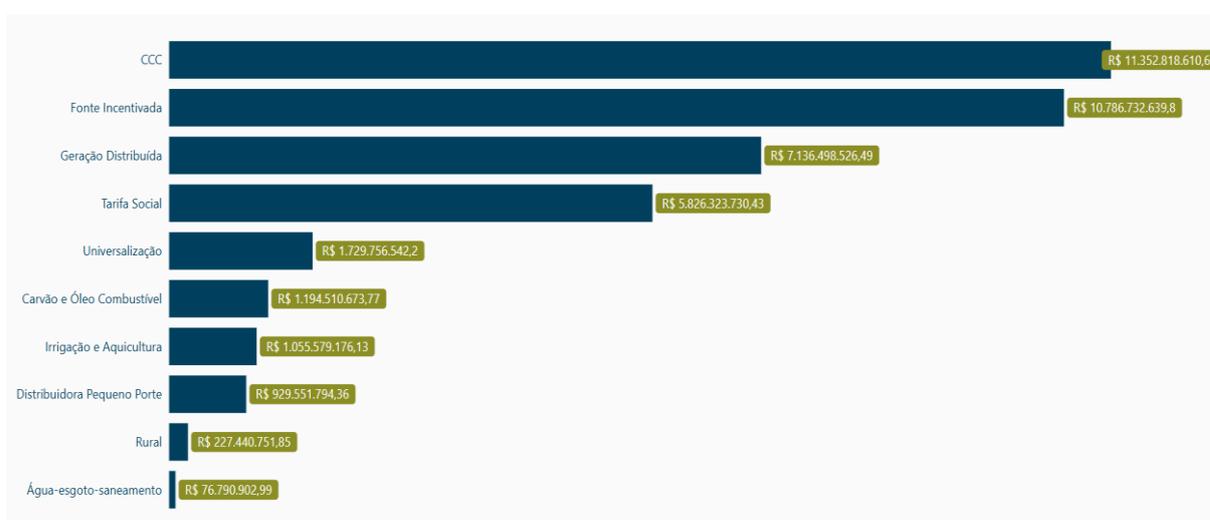
| Tipos e fontes dos subsídios | 2018*     | 2019*     | 2020*     | 2021*     | 2022      | 2023      |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Subsídios aos fósseis        | R\$ 36.15 | R\$ 62.59 | R\$ 87.25 | R\$ 67.67 | R\$ 82.11 | R\$ 81.74 |
| Subsídios às renováveis      | R\$ 0.25  | R\$ 11.33 | R\$ 10.87 | R\$ 12.08 | R\$ 14.25 | R\$ 18.07 |
| Total das duas fontes        | R\$ 36.40 | R\$ 73.92 | R\$ 98.12 | R\$ 79.75 | R\$ 96.36 | R\$ 99.81 |

\*Valores constantes (do IPCA de dez/2022) em bilhões de R\$

Fonte: INESC (2023 e 2024)

De acordo com a Figura 3, esta distribuição desigual de recursos se torna ainda mais evidente no caso dos subsídios do setor de energia elétrica. Em 2023, as fontes renováveis receberam cerca de R\$ 17,8 bilhões em incentivos tarifários e outros programas específicos, totalizando 44,4% do total de subsídios setoriais. Desse total, R\$ 10,8 bilhões foram direcionados a grandes usinas solares e eólicas, enquanto R\$ 7,1 bilhões foram alocados para apoiar a geração distribuída, como pequenos sistemas fotovoltaicos instalados em residências e empresas.

**Figura 3 – Brasil: Valor dos Subsídios no setor da Energia Elétrica (2023)**



Fonte: ANEEL (2024)

Embora os subsídios às fontes renováveis tenham contribuído para o aumento do setor, a comparação com os incentivos direcionados às fontes fósseis resalta uma contradição estrutural nas políticas públicas brasileiras. As renúncias fiscais e os incentivos dados ao petróleo, gás natural e carvão mineral continuam a ser predominantes no orçamento do setor energético. Na tabela 2, o INESC mostrou que em 2023 os subsídios dados às fontes fósseis no Brasil foram 4,52 maior do que as fontes renováveis, o que compromete a competitividade e a expansão de fontes limpas.

Entretanto, os efeitos dos subsídios às renováveis têm sido significativos. Entre 2018 e 2023, a capacidade instalada de energia eólica no Brasil aumentou de aproximadamente 14400 MW para mais de 28600 MW (MME – SIEBRASIL, 2024), sendo que o país se consolida como o segundo maior mercado dessa tecnologia na América (ABEEÓLICA, 2024). A energia solar partiu de 2360,32 MW e superou 37000

MW no mesmo período (MME – SIEBRASIL, 2024). Esses resultados mostram o potencial das fontes renováveis quando incentivadas com consistência e estratégia.

A eficiência dos subsídios às renováveis, contudo, também enfrenta desafios. Um dos principais limites refere-se à infraestrutura elétrica que deve ser modernizada para lidar com o caráter intermitente de fontes como solar e eólica (IEA, 2024). Além disso, o modelo atual de incentivos tarifários, apesar de ser essencial para promover a geração distribuída, vem suscitar debates sobre a sustentabilidade econômica da estratégia no longo prazo (REN21,2024). Estudos indicam que a aceleração dessa modalidade, poderá elevar o custo das contas de energia para consumidores sem acesso à geração própria gerando tensões sociais e desigualdades regionais (CASTRO; CÂMARA; MOSZKOWICZ, 2021).

Outro aspecto fundamental refere-se à falta de transparência e continuidade na execução das políticas públicas. A ausência de metas claras e a volatilidade nos programas de incentivo dificultam o planejamento de longo prazo para investidores e empresas do setor (CASTRO; CÂMARA; MOSZKOWICZ, 2021). Além disso, a predominância dos subsídios nas fontes fósseis não apenas reflete a inércia histórica, mas também a luta dos interesses econômicos contra as transformações necessárias para fomentar uma transição energética mais justa e sustentável (IEA, 2024).

Por outro lado, as iniciativas mais recentes como o programa Renovabio, voltado para a descarbonização do setor de biocombustíveis, e os leilões de energia renovável, têm demonstrado como os subsídios podem ser utilizados de forma útil. Esses programas têm gerado não somente um crescimento em capacidade instalada, como também efeitos econômicos, como são as novas ocupações geradas e a diminuição da dependência em combustíveis fósseis importados.

Desse modo, os dados da análise dos subsídios indicam um retrato de avanços e de contradições. Embora os incentivos às energias renováveis tenham gerado efeitos positivos, a desproporção em relação aos subsídios fósseis ainda representa um obstáculo à transição energética no Brasil. Para corrigir as distorções presentes, uma reforma estrutural precisa ser implementada, ajustando a política de subsídios de acordo com os compromissos climáticos do país e promovendo um sistema energético mais sustentável.

## 2.3 Estudos sobre Subsídios às Energias Renováveis no Brasil

O trabalho de Borges e Salles (2021) apresenta uma análise detalhada da política de subsídios às fontes incentivadas no setor elétrico brasileiro, com foco nos descontos aplicados nas Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição e Transmissão (TUSD/TUST). Segundo os autores, essa foi a primeira política pública implementada para promover o crescimento das energias renováveis no Brasil, exercendo papel relevante na expansão da matriz energética limpa, sobretudo em fontes como eólica, solar, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs).

O estudo argumenta que, embora os subsídios tenham sido importantes no estímulo inicial à competitividade das fontes renováveis, a continuidade e a expansão desses incentivos geraram desequilíbrios no setor. Entre os efeitos negativos, destacam-se: distorções tarifárias, subsídios cruzados entre consumidores, falta de critérios claros de transição e acúmulo de benefícios sem contrapartidas proporcionais. Os autores apontam ainda que, à medida que algumas fontes se tornaram mais competitivas, como a solar e a eólica, a manutenção irrestrita dos subsídios passou a comprometer a eficiência econômica e a equidade no setor.

Além disso, Borges e Salles discutem as propostas de reformulação desses subsídios, apresentadas pelo Ministério de Minas e Energia (MME), como a extinção gradual dos descontos na TUSD/TUST e a substituição por mecanismos que valorizem atributos técnicos e ambientais das fontes renováveis. O artigo adota uma abordagem crítica e normativa, sugerindo que a permanência de subsídios deve ser condicionada à real necessidade econômica da fonte, evitando o prolongamento artificial da competitividade via intervenção estatal.

O presente trabalho complementa a análise de Borges e Salles (2021) ao adotar uma abordagem empírica e quantitativa, estimando os efeitos reais dos subsídios sobre a expansão da capacidade instalada de energia renovável no Brasil no período recente (2018–2023), por meio de um modelo de Vetores Autorregressivos (VAR). Diferentemente do estudo anterior, que se concentra na avaliação institucional e nos efeitos sistêmicos da política de descontos, esta pesquisa busca mensurar o impacto direto e estatisticamente verificável dos subsídios sobre a infraestrutura renovável no país.

Os resultados obtidos corroboram parcialmente a hipótese de que os subsídios exercem influência sobre o setor, embora com magnitude reduzida no curto prazo. A análise da função impulso-resposta, dos testes de causalidade e da decomposição da variância indicam que os efeitos diretos dos subsídios sobre a capacidade instalada foram modestos, sugerindo que outros fatores estruturais e endógenos tiveram papel mais relevante no crescimento do setor no período analisado.

Portanto, esta pesquisa avança na literatura ao quantificar os efeitos econômicos dos subsídios, oferecendo uma base empírica para avaliar a efetividade dessa política pública. Seus achados reforçam as críticas apontadas por Borges e Salles (2021) quanto à baixa eficiência marginal dos subsídios atuais e fortalecem o argumento de que sua manutenção deve estar vinculada a uma avaliação periódica dos impactos reais, com base em evidências concretas. Em conjunto, os dois trabalhos contribuem para a compreensão crítica dos incentivos à energia renovável no Brasil e para o desenho de políticas públicas mais eficientes e sustentáveis.

## CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

### 3.1 Séries Temporais

Esta pesquisa utilizará a modelagem de séries temporais para explorar a inter-relação entre os subsídios concedidos pelo governo às fontes energéticas renováveis e a capacidade instalada de geração de energia renovável no Brasil. Tal escolha se justifica pela necessidade de examinar a evolução dessas variáveis ao longo do tempo e de verificar a existência de um possível relacionamento de causalidade entre elas. Através da utilização dessa abordagem, será factível examinar os padrões de evolução no passado e conduzir uma análise de seus impactos devido a políticas públicas que afetam o setor energético.

Os dados utilizados no estudo foram extraídos de bases do governo que reportam os valores dos subsídios concedidos às fontes renováveis e os dados anuais de capacidade instalada de geração de energia na forma proveniente das referidas fontes. Tal situação temporal é preferencial por abranger os anos mais próximos de um histórico que se efetivaram com modificações significativas nas políticas de estímulos à produção de energia renovável no Brasil. Dessa forma, a análise poderá captar possíveis efeitos decorrentes de variações nos subsídios sobre a infraestrutura energética do país.

Antes da implementação dos modelos econométricos, será realizada uma verificação da natureza das séries temporais para verificar se são estacionárias. A estacionariedade é uma condição necessária para que as inferências econométricas sejam válidas, considerando que as séries não estacionárias poderão levar a resultados errôneos com relação à presença de relações que não existem entre as variáveis. Para tal verificação de sua estacionariedade, percebida a presença de raiz unitária nos dados, será utilizado o teste ADF (Dickey-Fuller Aumentado) (GUJARATI; PORTER, 2011). Caso as séries reprovem no teste de estacionariedade na mediação, será aplicada a técnica de diferenciação, que consiste na medida da variação entre períodos sucessivos até alcançar a necessária estacionariedade.

Após o teste e assegurada a estacionarização das séries de dados, a investigação do vínculo entre a quantidade de subsídios e a capacidade instalada será conduzida pelo modelo de Vetores Autorregressivos (VAR). Tal modelagem permitirá

que todas as variáveis sejam tratadas enquanto endógenas e tornará possível analisar as interações dinâmicas entre elas. O VAR considera que o valor de cada uma das variáveis é explicado não apenas por seus próprios valores retardados, mas também pelos valores retardados das outras variáveis do sistema (GUJARATI; PORTER, 2011). O número de defasagens ideais a incluir no modelo será feito pelo critério de informação de Akaike (AIC), que servirá na escolha da especificação que prevalece aos dados.

Além da estimação do modelo de VAR, a estimação das funções impulso resposta (IRF) será feita, que permitirão avaliar como um choque nas variáveis independentes afeta a capacidade instalada ao longo do tempo. Essa técnica permitirá calcular a magnitude e a duração do efeito das variações nos subsídios sobre a capacidade instalada, permitindo a inferência sobre a efetividade das políticas públicas na área. Para complementar essa análise, a decomposição da variância será realizada, que irá avaliar até que ponto a flutuação da capacidade instalada é explicada pelas variações da variável subsídios, medindo a importância relativa de cada variável ao longo do tempo.

Essa metodologia permitirá um exame minucioso da interação entre os incentivos dos governos e o crescimento da capacidade instalada no setor de energia no Brasil. O estudo contribuirá para a melhor compreensão dos efeitos das políticas públicas em energia, auxiliando em futuras decisões de alocação de recursos sobre a expansão das fontes de energia sustentáveis. Dessa forma, a pesquisa não se esmera em formular apenas relações estatísticas entre suas variáveis, mas busca também gerar conhecimento que poderá ser utilizado na construção de estratégias que favoreçam a transição energética no Brasil.

### **3.2 Modelo VAR**

A análise da relação entre subsídios governamentais a fontes renováveis e a capacidade instalada de geração de energia no Brasil será feita por meio do Modelo Vetorial Autorregressivo (VAR). O modelo VAR é uma metodologia econométrica que é comumente utilizada para analisar interdependências entre séries temporais, permitindo que todas as variáveis sejam consideradas como endógenas. Sua utilização se fundamenta na necessidade de se entender como as variações dos

subsídios afetam a dinâmica da infraestrutura de energia renovável ao longo do tempo.

O modelo é especificado segundo a estrutura padrão do VAR(p), que pode ser expressa da seguinte forma:

$$Y_t = c + A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + \dots + A_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (1)$$

em que  $Y_t$  representa um vetor das variáveis endógenas no tempo  $t$ , composto pelos subsídios às energias renováveis e pela capacidade instalada de geração;  $c$  é um vetor de constantes;  $A_i$  são matrizes de coeficientes a serem estimadas;  $\varepsilon_t$  é um vetor de erros aleatórios, assumidos com média zero e variância constante.

A importância da aplicação do modelo VAR no setor energético é evidenciada pelo estudo de Theodoro (2021), que examinou as interações entre os preços do petróleo e os preços das ações de empresas do setor de energia renovável. Os resultados mostraram que as flutuações no preço do petróleo não exerceram um impacto estatisticamente significativo sobre as ações dessas empresas, ao mesmo tempo em que destacaram a relevância de variáveis macroeconômicas e da estrutura do mercado na definição das relações entre diferentes fontes de energia (THEODORO, 2021).

A implementação dessa metodologia possibilitará uma avaliação precisa dos efeitos das políticas de subsídios sobre o crescimento da infraestrutura de energia renovável no Brasil, oferecendo subsídios valiosos para a formulação de políticas públicas mais eficazes no setor.

### **3.3 Coleta de dados**

Os dados utilizados nesta pesquisa foram coletados para investigar a relação entre subsídios governamentais às fontes renováveis e a expansão da capacidade instalada de energia renovável no Brasil. Para isso, a escolha foi por séries temporais mensais, abrangendo um período recente compreendido entre janeiro de 2018 e dezembro de 2023. Essa escolha garante a possibilidade de analisar eventuais impactos mais recentes das políticas públicas implementadas no setor energético brasileiro, além de garantir um conjunto de dados suficientemente grande (72

observações mensais), a fim de assegurar uma análise robusta e confiável do modelo econométrico proposto. Para facilitar a realização do estudo foram coletados dados secundários provenientes de órgãos oficiais brasileiros o que confere confiabilidade e consistência à informação. O Quadro 1 apresenta essas séries utilizadas, que são compostas por variáveis principais, conforme segue:

**Quadro 1 – variáveis do modelo VAR**

| <b>Variáveis Utilizadas</b> | <b>Definição</b>   | <b>Fonte</b> |
|-----------------------------|--|--------------|
| RENOV                       | Contempla a capacidade mensal em megawatts (MW) das fontes renováveis disponíveis no sistema energético brasileiro em diferença de primeiro nível  | EPE          |
| SUB                         | Correspondem aos recursos financeiros aplicados pelo governo federal em programas e incentivos fiscais específicos destinados a promover o desenvolvimento e expansão das fontes de energia limpa em diferença de primeiro nível | INESC        |
| PIB                         | Medido em índice, que permite considerar a influência do nível de atividade econômica sobre os investimentos e a expansão da infraestrutura energética   | FGV IBRE     |
| IPCA                        | Medida pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), que permite captar os efeitos inflacionários sobre os custos e investimentos em energia   | IBGE         |
| INVEST                      | Representa o nível geral de investimentos na economia, relevante para a compreensão dos fatores que influenciam a expansão da capacidade energética instalada  | IPEA         |

Fonte: Elaboração própria

Inicialmente, a compilação dos dados concentrou-se na potência instalada de fontes renováveis no Brasil. Essa métrica foi escolhida por refletir a estrutura energética sustentável presente no território nacional. Assim, torna-se viável observar os impactos concretos das estratégias de fomento no crescimento dessa infraestrutura (ANEEL, 2023; EPE, 2023). A opção por essa variável é feita com os estudos já realizados, que a consideram um medidor eficiente para analisar o sucesso de ações governamentais que visam impulsionar as energias renováveis. É importante frisar que a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é uma organização estatal federal que

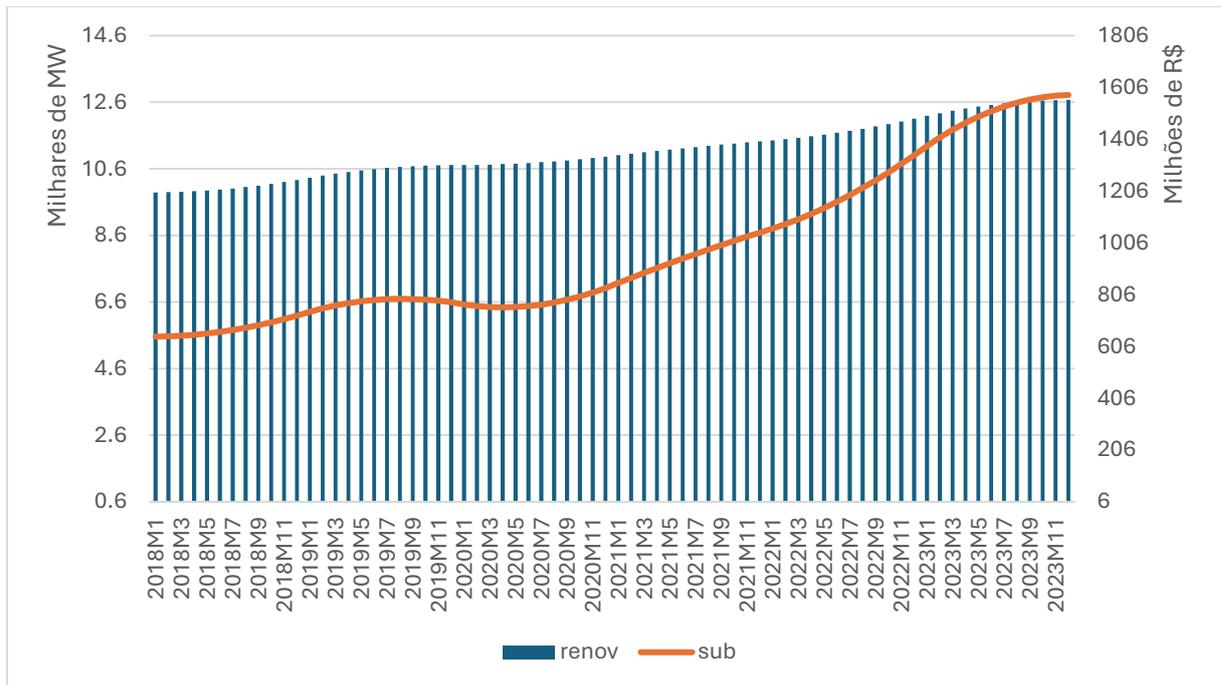
se dedica a efetuar análises e estudos que servem de base para o planejamento do setor energético do Brasil, disponibilizando informações técnicas e estatísticas sobre a performance e as projeções da matriz energética do país.

No segundo momento, foi feita a coleta da série de dados sobre os subsídios governamentais destinados às fontes renováveis. Os valores foram ajustados de acordo com o método de Denton devido ao formato de séries anuais (DENTON, 1971), que é uma abordagem estatística para desagregação temporal. Com esse método, foi possível tratar os dados de séries anuais para mensais e poder compará-los com as outras variáveis mensais e refletir a realidade, garantindo que as variações inflacionárias do período não afetem a comparação dos números (INESC, 2023). Esse procedimento segue as orientações da literatura, que enfatiza a importância de corrigir os valores monetários pela inflação ao realizar análises comparativas ao longo do tempo (GUJARATI & PORTER, 2011), porém possui algumas limitações que serão discutidas neste trabalho. É importante ressaltar que o Instituto de Estudos Socioeconômicos (INESC) é uma ONG brasileira dedicada à pesquisa e análise de políticas públicas, orçamento público e justiça socioeconômica. Eles realizam estudos regulares sobre os subsídios governamentais e seus impactos econômicos e sociais.

Além dessas, foram coletados dados adicionais com vistas a controlar para variações de influências macroeconômicas que poderiam afetar a relação principal em estudo. Encontramos entre essas variáveis o Produto Interno Bruto (PIB), em base mensal e em índice de volume em preço de mercado, que captura as influências da atividade econômica sobre os investimentos e sobre a expansão da infraestrutura de energia; a inflação, medida pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), que procura captar os efeitos inflacionários que afetam custos e investimentos em energia; e o Indicador de Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) do IPEA, pelo fato de representar o nível geral de investimentos da economia, que é importante para entender as influências sobre a expansão da capacidade instalada de energia.

Após a coleta dos dados, as séries receberam tratamento dos dados, sendo possíveis de serem analisadas em um formato eletrônico apropriado, podendo ser testadas em modelos quantitativos apropriados para sua análise econométrica. Em um primeiro passo, os dados foram tratados e foi realizado com cuidado o processo de checagem de inconsistências e de possíveis lacunas existentes nas séries mensais, assegurando uma base de dados completa e sem erros estruturais.

**Figura 4 – Capacidade Instalada x Subsídios governamentais**



Fonte: Elaboração Própria

A Figura 4, apresenta dados utilizados para estimar o modelo VAR sobre a Capacidade Instalada denominada “renov”, em milhares de MW, e os subsídios governamentais para produção de energias renováveis denominado “sub”, em milhões de reais. Com isso, podemos notar que há um crescimento nas duas variáveis e com um investimento se intensificando a partir de 2020.

Dessa maneira, com os dados estruturados e devidamente tratados, foi possível seguir para a próxima etapa, que consiste na aplicação da metodologia econométrica, a fim de se compreender a dinâmica e o impacto real das políticas públicas de incentivo sobre o desenvolvimento das energias renováveis no Brasil.

## CAPÍTULO 4 - RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da estimação do modelo VAR com as variáveis selecionadas. A análise é dividida em quatro etapas: testes de raiz unitária, teste de Akaike, testes de causalidade de Granger, funções impulso-resposta e decomposição da variância dos erros de previsão. Cada uma dessas etapas busca explorar as relações dinâmicas entre as variáveis do modelo, permitindo uma compreensão mais aprofundada sobre como choques em determinados indicadores afetam os demais ao longo do tempo.

### 4.1 Análise de Raiz Unitária

**Tabela 3 – Análise de Raiz Unitária**

| Teste | Variáveis | Em nível      |         | Em primeira diferença |         |
|-------|-----------|---------------|---------|-----------------------|---------|
|       |           | Estatística t | p-valor | Estatística t         | p-valor |
| ADF   | RENOV     | 0.269146      | 0.9750  | -3.392355             | 0.0146  |
| ADF   | SUB       | 0.412347      | 0.9822  | -2.665502             | 0.0853  |
| ADF   | PIB       | -3.279539     | 0.0196  | -9.415937             | 0.0000  |
| ADF   | IPCA      | -4.601488     | 0.0003  | -10.55865             | 0.0001  |
| ADF   | INVEST    | -2.449351     | 0.1324  | -10.40894             | 0.0001  |

Fonte: Elaboração Própria

A análise realizada através do teste Augmented Dickey-Fuller (ADF) na Tabela 3 teve como objetivo verificar a presença ou não de raiz unitária na série RENOV. A hipótese nula do teste supõe que a série possua raiz unitária, ou seja, que seja não estacionária, enquanto a hipótese alternativa considera a série estacionária. O teste resultou em um p-valor de 0,9750, indicando alta probabilidade de que a hipótese nula esteja correta. Dessa forma, não é possível rejeitar a hipótese de que a série RENOV possua uma raiz unitária. Isso significa que a série é não estacionária na forma original analisada, indicando a necessidade de realizar diferenciações adicionais antes de prosseguir com outras análises econométricas ou previsões.

Agora, realizando o teste Augmented Dickey-Fuller (ADF) na série RENOV após realizar a primeira diferença, os resultados mudaram significativamente. A hipótese nula ainda considera que a série tenha raiz unitária, isto é, não seja estacionária, enquanto a hipótese alternativa aponta para a ausência de raiz unitária, indicando uma série estacionária. O p-valor obtido foi de 0,0146, significativamente inferior aos níveis comuns de significância. Isso implica que, agora, é possível rejeitar

a hipótese nula de existência de raiz unitária. Portanto, após realizar a primeira diferenciação da série RENO, conclui-se que a série passou a ser estacionária, podendo ser utilizada para futuras análises econométricas e previsões sem a necessidade de diferenciações adicionais.

O teste Augmented Dickey-Fuller (ADF) aplicado à série SUB verificou a existência ou não de raiz unitária. Considerando que a hipótese nula afirma que a série possui uma raiz unitária, caracterizando-a como não estacionária, e a hipótese alternativa sugere que a série seja estacionária, o p-valor é extremamente alto 0,9822, sugerindo fortemente que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula. Dessa forma, conclui-se que a série SUB possui uma raiz unitária e, portanto, é não estacionária em sua forma original. Para posteriores análises econométricas e previsões, é recomendado realizar diferenciações adicionais para tornar a série estacionária.

Após realizar a primeira diferenciação da série SUB, foi novamente aplicado o teste Augmented Dickey-Fuller (ADF). O p-valor obtido foi de 0,0853, que é ligeiramente superior ao nível de significância de 5%, porém inferior ao nível de 10%. Dessa forma, considerando o nível de significância mais comum utilizado 5%, ainda não é possível rejeitar a hipótese nula com segurança. No entanto, ao considerar o nível de significância de 10%, o resultado permite rejeitar a hipótese nula, indicando estacionariedade da série após uma diferenciação. Portanto, pode-se afirmar que a série SUB tornou-se marginalmente estacionária após a primeira diferenciação, especialmente quando considerada a significância de 10%. Para análises mais rigorosas ou conservadoras, pode ser aconselhável realizar mais uma diferenciação, garantindo assim maior robustez nas futuras análises econométricas, porém será usado no modelo apenas a primeira diferenciação.

No teste Augmented Dickey-Fuller (ADF) aplicado à série IPCA, o objetivo foi verificar se a série possui uma raiz unitária, ou seja, se é não estacionária. A hipótese nula do teste assume que a série tem raiz unitária, enquanto a hipótese alternativa indica estacionariedade. O p-valor associado é de 0,0003, muito inferior aos níveis usuais de significância. Com base nesses resultados, rejeita-se a hipótese nula de que a série IPCA possui uma raiz unitária. Isso significa que a série é estacionária na forma em que foi testada, não sendo necessária nenhuma diferenciação para estabilizar sua média e variância ao longo do tempo. Assim, a série está pronta para

ser utilizada em análises e modelagens econométricas que requerem estacionariedade.

O teste Augmented Dickey-Fuller (ADF) aplicado à série INVEST teve como objetivo avaliar a presença de raiz unitária, isto é, verificar se a série é estacionária. O p-valor associado à estatística é 0,0135. Analisando esses resultados, observa-se que a estatística do teste é menor que o valor crítico de 5%, mas não ultrapassa o valor crítico de 1%. Isso significa que, ao nível de significância de 5% ou 10%, rejeita-se a hipótese nula de que a série possui raiz unitária. Logo, a série é estacionária nessas condições. Portanto, a série INVEST, na forma em que foi testada, não apresenta raiz unitária e é considerada estacionária, podendo ser utilizada diretamente em análises VAR.

O teste Augmented Dickey-Fuller (ADF) realizado para a série PIB teve como objetivo verificar a existência de raiz unitária, ou seja, se a série é não estacionária. A hipótese nula do teste assume a presença de raiz unitária, enquanto a hipótese alternativa considera a série estacionária. O p-valor obtido foi de 0,0196, o que indica que a hipótese nula pode ser rejeitada ao nível de significância de 5% ou 10%, mas não de 1%. Com isso, é observado que a série do PIB é estacionária, já que a estatística do teste ultrapassa os valores críticos de 5% e 10%, e o p-valor é inferior a 0,05. Portanto, não há necessidade de aplicar diferenciação à série para estabilizá-la, sendo possível utilizá-la diretamente em análises e modelos econométricos que exigem estacionariedade.

## 4.2 Critério de Informação de Akaike

**Tabela 4 – Teste AIC**

| <b>Defasagem</b> | <b>LogL</b> | <b>AIC</b> |
|------------------|-------------|------------|
| 0                | -2363.036   | 69.64811   |
| 1                | -1877.808   | 56.11201   |
| 2                | -1564.259   | 47.62527   |
| 3                | -1492.763   | 46.25774*  |
| 4                | -1475.808   | 46.49436   |

Fonte: Elaboração Própria

A Tabela 4 mostra o critério de seleção de defasagem para um modelo VAR com as variáveis endógenas D\_RENOV, D\_SUB, INVEST, IPCA e PIB, utilizando dados entre janeiro de 2018 e dezembro de 2023. O objetivo da análise é identificar o

número ótimo de defasagens a ser incluído no modelo com base em critérios estatísticos como o AIC (Akaike Information Criterion). Após realizado o teste AIC, que busca minimizar o valor da função para encontrar o melhor equilíbrio entre ajuste e penalização por complexidade, observa-se que o menor valor é obtido quando o modelo inclui 3 defasagens. O valor do AIC nessa configuração é de 26.2577, inferior aos obtidos com 0, 1, 2 ou 4 defasagens. Isso indica que, segundo o critério de Akaike, o modelo VAR com três defasagens é o mais apropriado para representar as relações dinâmicas entre as variáveis analisadas.

### 4.3 Causalidade de Granger

**Tabela 5 – Teste de Causalidade de Granger**

| Hipótese Nula            | Observações | Estatística F | p-valor |
|--------------------------|-------------|---------------|---------|
| D_SUB não causa D_RENOV  | 69          | 0.89255       | 0.4501  |
| D_RENOV não causa D_SUB  | 69          | 2.16308       | 0.1014  |
| INVEST não causa D_RENOV | 69          | 0.84145       | 0.4764  |
| D_RENOV não causa INVEST | 69          | 1.06422       | 0.3703  |
| IPCA não causa D_RENOV   | 69          | 0.51383       | 0.6743  |
| D_RENOV não causa IPCA   | 69          | 0.07415       | 0.9737  |
| PIB não causa D_RENOV    | 69          | 0.44194       | 0.7238  |
| D_RENOV não causa PIB    | 69          | 4.46373       | 0.0067  |
| INVEST não causa D_SUB   | 69          | 1.02218       | 0.3890  |
| D_SUB não causa INVEST   | 69          | 2.21085       | 0.0957  |
| IPCA não causa D_SUB     | 69          | 0.66474       | 0.5769  |
| D_SUB não causa IPCA     | 69          | 0.43764       | 0.7269  |
| PIB não causa D_SUB      | 69          | 0.30450       | 0.8220  |
| D_SUB não causa PIB      | 69          | 7.29458       | 0.0003  |
| IPCA não causa INVEST    | 69          | 1.28345       | 0.2879  |
| INVEST não causa IPCA    | 69          | 0.84693       | 0.4735  |
| PIB não causa INVEST     | 69          | 0.64255       | 0.5906  |
| INVEST não causa PIB     | 69          | 2.51880       | 0.0662  |
| PIB não causa IPCA       | 69          | 2.51880       | 0.0662  |
| IPCA não causa PIB       | 69          | 0.28817       | 0.8378  |

Fonte: Elaboração Própria

Os resultados do teste de causalidade de Granger realizados para este estudo, conforme apresentados na Tabela 5, fornecem informações importantes sobre as relações de precedência entre subsídios governamentais, capacidade instalada de energia renovável, investimento produtivo e crescimento econômico brasileiro. Ao analisar especificamente a hipótese central deste trabalho, que trata da influência dos subsídios governamentais sobre a capacidade instalada de energia renovável no Brasil, observa-se que o teste não apresentou evidências estatisticamente

significativas para afirmar a existência de uma relação de precedência direta e robusta no curto prazo ( $p$ -valor = 0,4501). De forma semelhante, ao investigar o efeito inverso, a capacidade instalada de energia renovável também não apresentou precedência estatisticamente significativa sobre os subsídios ( $p$ -valor = 0,1014), embora este último valor esteja próximo do nível convencionalmente adotado de 10%, indicando apenas uma fraca possibilidade de relação.

Contudo, ainda que o efeito direto entre subsídios e capacidade instalada não tenha sido confirmado estatisticamente, as demais relações observadas são particularmente relevantes. Destaca-se, sobretudo, a forte evidência estatística da capacidade instalada de energia renovável sobre o crescimento econômico, representado pelo PIB, com significância ao nível de 1% ( $p$ -valor = 0,0067). Esse resultado indica claramente que variações positivas na capacidade instalada têm um impacto significativo sobre o desempenho econômico nacional, reforçando a relevância econômica da expansão do setor renovável.

Além disso, os subsídios governamentais também apresentaram forte relevância na explicação das variações no PIB brasileiro ( $p$ -valor = 0,0003). Esse achado sustenta a ideia de que as políticas públicas voltadas para incentivos financeiros exercem um papel importante e estatisticamente robusto no estímulo ao crescimento econômico. Em relação à influência dos subsídios sobre o investimento produtivo, apesar do  $p$ -valor encontrado (0,0957) indicar uma significância estatística fraca, o resultado sugere um potencial moderado desses subsídios em incentivar o investimento produtivo na economia.

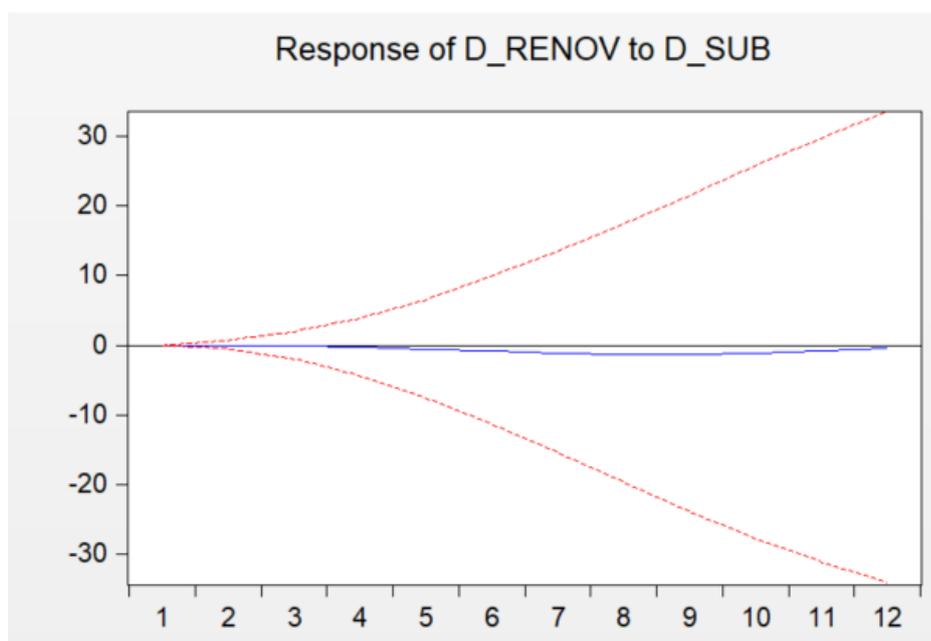
Por fim, destaca-se ainda a relação entre o investimento produtivo e o PIB, cujo resultado ( $p$ -valor = 0,0662) situa-se próximo do nível de significância de 10%. Embora esse valor sugira apenas uma relação de precedência moderada, ele reforça a relevância do investimento como variável importante para o desempenho econômico do país, estando alinhado com as proposições clássicas da literatura econômica.

De acordo com os testes realizados, é notável que embora não tenha sido verificada estatisticamente a precedência direta e imediata dos subsídios governamentais sobre a capacidade instalada de energia renovável, há evidências robustas de que tanto os subsídios quanto a própria expansão da capacidade instalada são variáveis importantes que indiretamente favorecem o crescimento econômico brasileiro. Esses achados reforçam a importância das políticas de incentivo

ao setor de energia renovável, não somente em virtude dos benefícios diretos ao setor energético, mas principalmente devido aos efeitos multiplicadores positivos sobre a economia como um todo.

#### 4.4 Função Impulso-Resposta com diferenciação

**Figura 5 – Função Impulso-Resposta D\_RENOV para D\_SUB**



Fonte: Elaboração Própria

A Figura 5 representa o gráfico da função impulso-resposta de D\_RENOV (capacidade instalada de energia renovável) a um choque em D\_SUB (subsídios governamentais) mostra que os efeitos de um impulso nos subsídios sobre a capacidade instalada são estatisticamente não significativos ao longo dos 12 períodos analisados. Observa-se que a linha azul, que representa a resposta estimada de D\_RENOV ao choque em D\_SUB, permanece muito próxima de zero durante todo o horizonte analisado.

Além disso, a linha azul permanece integralmente contida entre os intervalos de confiança (representadas pelas linhas tracejadas vermelhas), que abrangem tanto valores positivos quanto negativos. Essa característica indica que a resposta média não se distancia significativamente de zero, reforçando a ausência de significância estatística dos efeitos estimados.

Esse resultado é coerente com o teste de causalidade de Granger, que apresentou um p-valor de 0,4501 para a hipótese de que D\_SUB causa D\_RENOV, ou seja, não há evidências robustas de que os subsídios governamentais antecipem ou provoquem mudanças relevantes na capacidade instalada de energia renovável.

Portanto, a análise da função impulso-resposta confirma que, dentro do modelo estimado, choques nos subsídios não geram efeitos relevantes ou estatisticamente significativos sobre a evolução da infraestrutura de energias renováveis, reforçando a interpretação de que os incentivos governamentais analisados exerceram influência marginal sobre o crescimento do setor no período estudado.

#### 4.5 Decomposição da Variância

**Tabela 6 – Decomposição da Variância com Diferenciação**

| Variance Decomposition of D_RENOV: |           |          |          |          |          |
|------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Período                            | D_RENOV   | D_SUB    | PIB      | INVEST   | IPCA     |
| 1                                  | 100.00000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2                                  | 99.75842  | 0.000436 | 0.009473 | 0.195190 | 0.036482 |
| 3                                  | 99.33874  | 0.005277 | 0.079001 | 0.459107 | 0.117879 |
| 4                                  | 98.94674  | 0.016276 | 0.230251 | 0.638202 | 0.168532 |
| 5                                  | 98.59468  | 0.030595 | 0.439398 | 0.749009 | 0.186323 |
| 6                                  | 98.31606  | 0.044680 | 0.666534 | 0.792920 | 0.179802 |
| 7                                  | 98.12221  | 0.055185 | 0.880605 | 0.779948 | 0.162055 |
| 8                                  | 98.00046  | 0.059908 | 1.068158 | 0.730932 | 0.140546 |
| 9                                  | 97.93314  | 0.058619 | 1.224848 | 0.664361 | 0.119033 |
| 10                                 | 97.90604  | 0.052672 | 1.349800 | 0.592073 | 0.099418 |
| 11                                 | 97.90681  | 0.044284 | 1.445773 | 0.520598 | 0.082539 |
| 12                                 | 97.92389  | 0.035894 | 1.517713 | 0.453915 | 0.068590 |

Fonte: Elaboração Própria

Com base na decomposição da variância da variável RENO, observada no horizonte de 12 períodos, constata-se que a maior parte da variabilidade dessa série permanece explicada por seus próprios choques, totalizando 96,81% no primeiro período. Esse resultado evidencia uma elevada persistência endógena na expansão da capacidade instalada de energia renovável, indicando que o crescimento do setor é fortemente influenciado por fatores internos, como decisões empresariais, amadurecimento tecnológico e características estruturais do mercado de energia.

Entre os fatores exógenos analisados, destaca-se a Formação Bruta de Capital Fixo (INVEST), que contribui progressivamente para a variância de RENO, representando 2,11% no primeiro período e aumentando ao longo do tempo. O Produto Interno Bruto (PIB) e o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) apresentam influência relativamente menor, enquanto os subsídios governamentais (SUB) mostram uma contribuição praticamente nula nos primeiros períodos analisados.

É importante ressaltar que, inicialmente, o modelo foi estimado com as variáveis em primeira diferença para atender às exigências de estacionariedade, o que reduz as variações absolutas entre as observações e, conseqüentemente, pode atenuar a magnitude dos efeitos capturados, especialmente no caso dos subsídios. Para avaliar essa possível limitação, foi realizada uma nova decomposição da variância utilizando as variáveis em nível, desconsiderando a exigência de estacionariedade, como teste adicional.

**Tabela 7 – Decomposição da Variância em Nível**

| Variance Decomposition of RENO: |          |          |          |          |          |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Período                         | RENO     | SUB      | PIB      | INVEST   | IPCA     |
| 1                               | 96.80972 | 0.000000 | 0.261050 | 2.116461 | 0.812774 |
| 2                               | 95.17848 | 0.000959 | 0.168439 | 3.488241 | 1.163876 |
| 3                               | 94.01352 | 0.004006 | 0.062471 | 4.409468 | 1.510538 |
| 4                               | 93.35828 | 0.008440 | 0.027041 | 4.916368 | 1.689873 |
| 5                               | 92.97278 | 0.012941 | 0.066402 | 5.195204 | 1.752677 |
| 6                               | 92.80147 | 0.016349 | 0.151488 | 5.293588 | 1.737103 |
| 7                               | 92.79902 | 0.017568 | 0.251369 | 5.249544 | 1.682498 |
| 8                               | 92.91179 | 0.016211 | 0.347242 | 5.114740 | 1.610016 |
| 9                               | 93.09479 | 0.013059 | 0.429685 | 4.931957 | 1.530513 |
| 10                              | 93.31766 | 0.009703 | 0.494383 | 4.728005 | 1.450248 |
| 11                              | 93.56074 | 0.008038 | 0.541216 | 4.517079 | 1.372930 |
| 12                              | 93.80893 | 0.009931 | 0.572596 | 4.308057 | 1.300491 |

Fonte: Elaboração Própria

Na decomposição realizada com as variáveis em nível, embora a maior parte da variabilidade de RENO ainda permaneça explicada por seus próprios choques, observa-se um leve aumento na contribuição dos subsídios governamentais (SUB)

para a variância da capacidade instalada ao longo do horizonte. Esse resultado sugere que o tratamento das variáveis, especialmente com a diferenciação pode influenciar a interpretação da força dos impactos dos subsídios sobre a expansão da capacidade renovável.

Esse teste ilustra que, embora o impacto dos subsídios continue discreto, a metodologia de tratamento das séries pode afetar as magnitudes observadas, devendo ser interpretada com cautela. Assim, reforça-se a necessidade de políticas públicas mais estruturadas e de longo prazo para potencializar o papel dos subsídios na promoção efetiva da transição energética no Brasil.

#### **4.6 Discussão dos Resultados**

A análise empírica realizada por meio do modelo Vetorial Autorregressivo (VAR) permite refletir sobre os efeitos dos subsídios governamentais na expansão da capacidade instalada de energia renovável no Brasil, assim como sobre suas interações com variáveis macroeconômicas relevantes. Os resultados obtidos apresentam que os subsídios exercem influência sobre o crescimento da capacidade instalada renovável, porém o impacto observado é muito pequeno e de baixa magnitude no horizonte de curto prazo considerado na amostra (2018–2023). Este efeito reduzido pode estar relacionado ao número limitado de observações disponíveis e à transformação da série original, que era anual, para frequência mensal por meio do procedimento de interpolação de Denton, o que pode ter suavizado variações importantes.

A ausência de causalidade estatisticamente significativa entre subsídios (D\_SUB) e capacidade instalada (D\_RENOV), conforme o teste de Granger ( $p = 0,4501$ ), foi reforçada pelas funções impulso-resposta e pela decomposição da variância, que atribuíram papel marginal aos subsídios na explicação das flutuações da capacidade instalada (0,036% no 12º período). Esses achados sugerem que, embora a política de subsídios seja um instrumento tradicionalmente utilizado para fomentar o setor, sua efetividade recente pode estar limitada por defasagens temporais, dificuldades estruturais ou inconsistências nos mecanismos de implementação. Cabe considerar também que os efeitos de políticas públicas desse tipo podem ocorrer de maneira indireta, mediada por variáveis como investimento

produtivo, confiança regulatória ou inovação tecnológica, não capturadas diretamente no modelo especificado.

Em contrapartida, os dados revelam que a capacidade instalada de energia renovável possui efeitos relevantes sobre o crescimento econômico, como indicado pela causalidade de D\_RENOV sobre o PIB ( $p = 0,0067$ ). De forma semelhante, os subsídios apresentaram impacto significativo sobre o PIB ( $p = 0,0003$ ), o que evidencia sua relevância como ferramenta de estímulo à atividade econômica geral, mesmo que seus efeitos sobre o setor energético específico sejam difusos ou mediatos. Tais relações corroboram a literatura que aponta o setor de energia renovável como propulsor de externalidades positivas, entre elas a geração de emprego, inovação tecnológica e descentralização da produção energética.

Outro ponto de destaque é a elevada persistência endógena da capacidade instalada de renováveis, que se mostrou explicada, em mais de 97%, por seus próprios choques. Este comportamento sugere que o crescimento do setor tem se pautado por dinâmicas internas, como estratégias empresariais, investimentos privados e amadurecimento tecnológico, com menor dependência de variáveis exógenas no período estudado. Essa constatação reforça a necessidade de políticas públicas estruturantes e de longo prazo, voltadas à criação de um ambiente institucional estável e atrativo para o investimento, em vez de ações pontuais ou de curto prazo.

Por fim, os resultados sinalizam que os efeitos dos subsídios sobre variáveis como a Formação Bruta de Capital Fixo ( $p = 0,0957$ ) e o próprio crescimento do PIB, embora significativos em alguns casos, ainda demandam maior aprofundamento analítico, sobretudo quanto às interações com fatores estruturais, como a governança regulatória e a modernização da infraestrutura elétrica. Tais aspectos, não captados diretamente no modelo, constituem limitações importantes a serem consideradas nas interpretações dos achados.

Os resultados evidenciam que, embora os subsídios não tenham impactado diretamente a expansão da capacidade renovável no período analisado, eles exercem papel relevante na sustentação macroeconômica e podem, portanto, ser potencializados por meio de redesenho institucional e integração com políticas de longo prazo voltadas à transição energética. A pesquisa aponta, assim, para a

importância de revisões nos instrumentos de fomento existentes, de modo a torná-los mais eficazes em induzir transformações estruturais no setor energético brasileiro.

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

### 5.1 Resumo dos Resultados

Este estudo teve como objetivo investigar a relação entre os subsídios governamentais às fontes de energia renovável e a expansão da capacidade instalada dessas fontes no Brasil, utilizando modelagem econométrica por meio de Vetores Autorregressivos (VAR), com dados mensais entre 2018 e 2023. Os resultados empíricos revelaram que não há evidências estatísticas robustas de que os subsídios exerçam impacto direto e significativo sobre a capacidade instalada de energia renovável no curto prazo, conforme verificado nos testes de causalidade de Granger ( $p = 0,4501$ ), nas funções impulso-resposta e na decomposição da variância.

A decomposição da variância indicou que mais de 97% da flutuação da capacidade instalada de energia renovável é explicada por choques internos à própria série, evidenciando um comportamento inercial e endógeno. Essa elevada persistência sugere que a evolução do setor tem sido conduzida majoritariamente por fatores internos e estruturais, como decisões empresariais, maturidade tecnológica e estabilidade institucional, mais do que por intervenções governamentais recentes via subsídios.

Por outro lado, os resultados demonstraram que tanto os subsídios quanto a expansão da capacidade renovável possuem efeitos significativos sobre o Produto Interno Bruto (PIB). A causalidade de Granger mostrou que a capacidade instalada impacta positivamente o PIB ( $p = 0,0067$ ), e os subsídios também se mostraram estatisticamente relevantes para o crescimento econômico ( $p = 0,0003$ ), ainda que indiretamente. Tais achados ressaltam o papel das energias renováveis e das políticas de incentivo como indutores do desenvolvimento econômico nacional, mesmo que seus efeitos sobre a infraestrutura do setor energético não se manifestem de maneira imediata ou linear.

Adicionalmente, os subsídios apresentaram uma influência marginal sobre os investimentos produtivos (FBCF), com p-valor de 0,0957, indicando uma possível relação de estímulo ao investimento privado, embora ainda moderada. Esses resultados indicam que o redesenho dos mecanismos de fomento, aliado a estratégias de longo prazo e estabilidade regulatória, pode ser fundamental para maximizar os

efeitos das políticas públicas sobre o setor energético e sobre a economia como um todo.

Dessa forma, o estudo contribui para a compreensão da complexa dinâmica entre políticas públicas e desenvolvimento sustentável, ressaltando a importância de políticas estruturantes, coordenadas e de longo prazo para o fortalecimento das energias renováveis no Brasil.

## **5.2 Contribuição para a Literatura**

A presente pesquisa oferece contribuições relevantes para o campo dos estudos sobre transição energética, políticas públicas e economia da energia ao combinar evidências empíricas com um arcabouço metodológico robusto, baseado na modelagem de Vetores Autorregressivos (VAR). Em um contexto marcado pela crescente urgência da descarbonização e pela busca por alternativas sustentáveis de desenvolvimento, este trabalho amplia o entendimento acerca da efetividade das políticas de subsídios na indução do crescimento da infraestrutura energética renovável, com foco específico no caso brasileiro.

Ao contrário de parte significativa da literatura, que assume efeitos diretos e positivos entre incentivos governamentais e expansão da capacidade renovável, os resultados aqui apresentados demonstram que tais relações podem ser mais complexas e condicionadas a fatores estruturais e institucionais. A identificação de um impacto estatisticamente irrelevante dos subsídios sobre a variável de capacidade instalada contrasta com estudos que destacam os subsídios como principal motor da transição energética, sugerindo a necessidade de revisar modelos teóricos que pressupõem linearidade e imediatividade nos efeitos das políticas públicas.

Além disso, ao evidenciar que os subsídios e a própria expansão do setor renovável influenciam positivamente o desempenho macroeconômico, especialmente o PIB. Esta pesquisa contribui para o debate sobre os benefícios econômicos indiretos das energias limpas. Trata-se de um avanço importante em relação à literatura que tradicionalmente separa os efeitos ambientais e econômicos das políticas energéticas, ao mostrar que os investimentos em fontes renováveis podem, de fato, produzir externalidades positivas em múltiplas dimensões do desenvolvimento nacional.

Outro ponto de contribuição reside na abordagem metodológica adotada. Ao utilizar séries temporais mensais em um horizonte recente (2018–2023) e incorporar variáveis de controle macroeconômico, o estudo oferece uma análise atualizada e detalhada do comportamento das variáveis energéticas no Brasil, com potencial para subsidiar decisões de política pública baseadas em evidências empíricas. A aplicação da decomposição da variância e das funções impulso-resposta no contexto do setor energético, ainda pouco explorada na literatura nacional, representa um avanço analítico relevante.

Este trabalho se insere de forma contributiva no debate contemporâneo sobre políticas energéticas, ao problematizar a eficácia dos subsídios no Brasil e ao propor uma agenda de pesquisa que valorize a análise de impactos indiretos e de longo prazo, contribuindo para o aprimoramento dos modelos de incentivo e para o fortalecimento das bases empíricas da literatura sobre economia da energia e desenvolvimento sustentável.

### **5.3 Limitações**

Embora os resultados desta pesquisa forneçam importantes insights sobre a relação entre subsídios governamentais e o desenvolvimento da capacidade instalada de energias renováveis no Brasil, algumas limitações metodológicas e contextuais devem ser consideradas para uma interpretação adequada dos achados.

A primeira limitação refere-se à própria natureza dos dados utilizados. Apesar do esforço em selecionar séries mensais recentes e confiáveis, a disponibilidade e qualidade das informações sobre subsídios às fontes renováveis no Brasil ainda apresentam lacunas significativas. Parte dos incentivos governamentais pode não estar totalmente registrada nas bases utilizadas, seja por limitações orçamentárias, transparência institucional ou metodologias divergentes de mensuração dos benefícios fiscais. Isso pode comprometer a precisão da variável  $D\_SUB$  e, por conseguinte, limitar a capacidade explicativa do modelo.

Em segundo lugar, o modelo VAR, embora eficiente para identificar relações dinâmicas entre variáveis endógenas, não permite estabelecer relações de causalidade estrutural ou inferências de longo prazo com plena robustez. O uso de dados agregados também impede a análise de heterogeneidades regionais, setoriais

ou tecnológicas, que poderiam revelar padrões distintos de resposta aos subsídios como por exemplo, diferenças entre os impactos da energia solar, eólica ou biomassa em regiões com níveis de desenvolvimento desigual. A ausência de variáveis institucionais e qualitativas, como o ambiente regulatório, a estabilidade jurídica e a governança pública, também pode deixar de capturar fatores críticos que influenciam a efetividade das políticas energéticas.

Além disso, os efeitos das políticas públicas no setor energético frequentemente apresentam defasagens temporais mais longas do que o período amostral utilizado (2018–2023). Como o horizonte temporal da pesquisa cobre apenas seis anos, é possível que os impactos de determinadas políticas implementadas nos últimos anos ainda não tenham se manifestado plenamente nas séries de capacidade instalada. Isso é especialmente relevante para políticas que envolvem planejamento, licenciamento e execução de projetos de grande porte, como usinas eólicas ou solares, cuja maturação costuma ultrapassar ciclos econômicos de curto prazo.

Por fim, destaca-se que o modelo econométrico proposto, ao priorizar a mensuração de efeitos médios, não capta possíveis não linearidades ou interações complexas entre as variáveis como a possibilidade de que os subsídios tenham efeitos mais intensos em contextos de alta inflação, crises energéticas ou picos de crescimento econômico. A introdução de modelos não lineares, modelos estruturais ou abordagens de Machine Learning poderia ampliar a capacidade preditiva e interpretativa das relações estudadas.

Essas limitações, embora não invalidem os resultados obtidos, apontam para a necessidade de leituras cautelosas e reforçam a importância de pesquisas complementares que explorem os efeitos heterogêneos, institucionais e de longo prazo das políticas públicas no setor de energia renovável no Brasil.

Além disso, é importante destacar que a variável referente aos subsídios foi originalmente obtida em frequência anual, tendo sido transformada para frequência mensal por meio do procedimento de interpolação de Denton. Embora tal abordagem seja usual em estudos com séries agregadas, a suavização resultante pode ter atenuado oscilações significativas, dificultando a captação de choques mais abruptos. Esse fator, aliado ao número reduzido de observações (72 pontos mensais), pode ter contribuído para a identificação de efeitos estatisticamente não significativos dos subsídios sobre a capacidade instalada.

## 5.4 Implicações de Política Econômica

Os resultados empíricos obtidos nesta pesquisa trazem implicações relevantes para o desenho e a avaliação das políticas públicas voltadas à promoção das energias renováveis no Brasil. Em primeiro lugar, a constatação de que os subsídios governamentais não apresentaram efeitos significativos diretos sobre a capacidade instalada de geração renovável no curto prazo sugere que os atuais instrumentos de fomento necessitam de reformulação estrutural para que possam produzir impactos mais concretos e duradouros no setor.

A baixa efetividade observada pode estar relacionada à fragmentação e à instabilidade regulatória, ao caráter pontual dos incentivos e à ausência de planejamento de longo prazo. Nesse sentido, uma das principais implicações de política econômica é a necessidade de institucionalizar um ambiente regulatório previsível, estável e transparente, que estimule a confiança dos investidores e favoreça decisões de alocação de capital em projetos de infraestrutura energética sustentável.

Adicionalmente, os achados evidenciam que, embora não promovam diretamente a expansão da capacidade renovável, os subsídios governamentais influenciam de forma significativa o Produto Interno Bruto, o que os coloca como instrumentos relevantes de política econômica anticíclica e de estímulo ao crescimento. Essa dualidade de impacto indireto sobre o setor energético, mas direto sobre a atividade econômica reforça a necessidade de políticas integradas que articulem objetivos energéticos, ambientais e macroeconômicos de forma sinérgica.

Outro aspecto relevante diz respeito à predominância da explicação endógena na variação da capacidade instalada de energia renovável, o que aponta para a importância de estratégias baseadas na indução de comportamentos empresariais e no fortalecimento do setor privado. Políticas públicas que favoreçam a inovação tecnológica, a qualificação profissional, o desenvolvimento de cadeias produtivas nacionais e a modernização da infraestrutura de transmissão são essenciais para reduzir os custos estruturais e ampliar a competitividade das fontes renováveis.

Por fim, os resultados sugerem que políticas de subsídio devem ser complementadas por mecanismos que considerem os efeitos distributivos e a sustentabilidade econômica no longo prazo. A geração distribuída, por exemplo,

embora positiva do ponto de vista ambiental, pode gerar assimetrias tarifárias se não for acompanhada de modelos de compensação adequados. Nesse contexto, as implicações para a política econômica vão além do mero volume de subsídios: envolvem o redesenho dos instrumentos, a coordenação institucional entre os entes federativos e a priorização de investimentos estratégicos capazes de gerar externalidades positivas para a economia, o meio ambiente e a sociedade.

Portanto, os resultados desta pesquisa indicam que a promoção da energia renovável no Brasil exige uma abordagem mais ampla e estruturada das políticas públicas, ancorada na coerência entre os objetivos econômicos e climáticos, e no compromisso com um modelo de desenvolvimento sustentável de longo prazo.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Renewables 2024: Analysis and forecast to 2030**. Paris: International Energy Agency, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org>. Acesso em: 28 jan. 2025.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Matriz elétrica brasileira alcança 200 GW**. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcanca-200-gw>. Acesso em: 29 mar. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA E NOVAS TECNOLOGIAS. **Boletim anual 2024**. São Paulo: ABEEólica, 2025. 19 p. Disponível em: <https://www.abeeolica.org.br/>.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Consulta: Reporte Dato42 Jerarquizado. Sistema de Informações Energéticas do Brasil (SIE Brasil). Brasília, DF, [s.d.]. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/SIEBRASIL/consultas/reporte-dato42-jerarquizado.aspx?oc=30181&or=30182&ss=2&v=1>.

BONDARIK, Roberto; PILATTI, Luiz Alberto; HORST, Diogo José. **Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil**. *Revista Brasileira de Energia Renovável*, v. 43, n. 10, p. 680-683, out. 2018.

BORGES, Gustavo G.; SALLES, Mauricio B. C. **A política de descontos para as energias renováveis no Brasil**. *Revista Brasileira de Energia*, Rio de Janeiro, v. 27, n. 1, p. 91–114, jan./jun. 2021.

CASTRO, Nivalde de; CÂMARA, Lorrane; MOSZKOWICZ, Mauricio. **Reflexões sobre impactos da Geração Distribuída no Mercado de Energia Elétrica do Brasil**. Rio de Janeiro: Grupo de Estudos do Setor Elétrico – GESEL/UFRJ, 2021. (Texto de Discussão do Setor Elétrico, nº 105). ISBN: 978-65-86614-31-2. Disponível em: <https://gesel.ie.ufrj.br>. Acesso em: 28 jan. 2025.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Energia solar fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão**. Brasília, DF: CGEE, 2010. 40 p. (Série Documentos Técnicos 02-10).

CERVANTES LOZORNIO, Eduardo Jonan; MORO, Rita Lopes; TORRES DE SOUZA, Jhonathan Fernandes; SIMÕES, André Felipe. **Políticas públicas para o fomento da inserção da energia eólica na composição da matriz brasileira de oferta de energia elétrica**. *Revista Brasileira de Políticas Energéticas*, v. 2, n. 3, p. 1-20, dez. 2017.

Denton, F. T. (1971). **Adjustment of monthly or quarterly series to annual totals: an approach based on quadratic minimization**. *Journal of the American Statistical Association*, 66(333), 99-102.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional 2024: Ano base 2023**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 28 jan. 2025.

FGV – Fundação Getulio Vargas. **Consulta de dados econômicos – IBRE/FGV**. Disponível em: <https://extra-ibre.fgv.br/IBRE/sitefgvdados/consulta.aspx>. Acesso em: 29 mar. 2025.

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

INESC – Instituto de Estudos Socioeconômicos. **Metodologia de estimativa de subsídios aos combustíveis fósseis e renováveis: reformar para uma transição energética justa (2018-2022)**. Brasília, DF: INESC, dez. 2023.

INESC – Instituto de Estudos Socioeconômicos. **Subsídios às fontes fósseis e renováveis (2022-2023): reformar para uma transição energética justa**. 7<sup>a</sup> ed. Brasília, DF: INESC, 2024. Disponível em: <https://inesc.org.br>. Acesso em: 28 jan. 2025.

POWER BI. **ANEEL – Capacidade de Geração do Brasil**. [2024]. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiY2Q1YjdlZTEtMzQ2ZS00OTlyLTliODctZDY2NTRhMDFhMmFjliwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 29 mar. 2025.

REN21. **Renewables 2024: Global Status Report**. Paris: REN21, 2024. Disponível em: <https://www.ren21.net>. Acesso em: 28 jan. 2025.

THEODORO, Thaís Luany Cardoso. **O impacto do preço do petróleo nas empresas de energia renovável: uma análise empírica usando vetores autoregressivos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade da Beira Interior, 2021.