

VINÍCIUS DIAS BARBOSA

**OFERTA DE ENERGIA RENOVÁVEL NO BRASIL: QUAL O PAPEL DOS
PREÇOS DE PETRÓLEO?**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária da Universidade de São Paulo, como requisito para a conclusão do curso de graduação em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Menon Simões
Moita

Coordenador: Prof. Dr. Luís Eduardo Negrão
Meloni

SÃO PAULO

2022

VINÍCIUS DIAS BARBOSA

**OFERTA DE ENERGIA RENOVÁVEL NO BRASIL: QUAL O PAPEL DOS
PREÇOS DE PETRÓLEO?**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciências Atuariais da Universidade de São Paulo, como requisito para a conclusão do curso de graduação em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Menon Simões
Moita

Coordenador: Prof. Dr. Luís Eduardo Negrão
Meloni

SÃO PAULO

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Barbosa, Vinícius D.

Oferta de energia renovável no Brasil: Qual o papel dos preços de petróleo?
– São Paulo, 2022.

Nº de páginas: 44.

Área de concentração: Economia da Energia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Menon Simões Moita.

Monografia de conclusão do curso de graduação em Ciências Econômicas –
Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária da
Universidade de São Paulo.

1. Energia Renovável; 2. Preços de Petróleo; 3. Brasil; 4. VECM; 5. Gases
Estufa

Ao meu querido avô Teodoro (*in memoriam*), que sonhava cursar Economia...

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Rodrigo Moita, pela disponibilidade para a orientação e esclarecimento de dúvidas durante este período de aprendizado.

Aos professores e equipe de funcionários da FEA, pela dedicação em suas atividades que possibilita o fomento do conhecimento na sociedade.

Aos meus colegas, pela troca de experiências que me permitiram crescer como pessoa.

“Cada dia a gente tem sonhos novos. Quanto mais você conquista as coisas, vai sonhando mais. Sonho em estar feliz sempre, com muita saúde para todos e de estar sempre curtindo as coisas que faço.”

Gustavo Kuerten.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	VI
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VIII
RESUMO	IX
ABSTRACT	X
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
3 MATERIAL E MÉTODO.....	22
3.1 METODOLOGIA	22
3.2 FORMA FUNCIONAL DO MODELO	23
3.3 DADOS	24
4 RESULTADOS EMPÍRICOS E INTERPRETAÇÃO	27
5 CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS	35
ANEXO 1 - TRAJETÓRIA DAS VARIÁVEIS DE INTERESSE	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC	<i>Akaike Information Criteria</i>
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ARDL	<i>Autoregressive Distributed Lag</i>
BOE	Barril de Óleo Equivalente
BEN	Balanço Energético Nacional
CO ₂	Dióxido de Carbono
CPI	<i>Consumer Price Index</i>
CCR	<i>Canonical Cointegrating Regression</i>
DOLS	<i>Dynamic Ordinary Least Squares</i>
EIA	<i>United States Energy Information Administration</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
E.U.A.	Estados Unidos da América
FRED	<i>Federal Reserve Economic Data</i>
FMOLS	<i>Fully Modified Ordinary Least Squares</i>
FOB	<i>Free on Board</i>
G7	Grupo das 7 maiores economias globais
GMM	<i>Generalized Method of Moments</i>
GW	<i>Gigawatt</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEADATA	Base de dados mantida pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
NARDL	<i>Nonlinear Autoregressive Distributed Lag</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PPI	<i>Producer Price Index</i>
SC	<i>Schwarz Information Criteria</i>
STSM	<i>Structural Time Series Model</i>
TEP	Toneladas Equivalentes de Petróleo
TON	Tonelada

VAR	<i>Vector Autorregresion</i>
VECM	<i>Vector Error Correction Model</i>
WTI	<i>West Texas Intermediate</i>

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

GRÁFICO 1 - COMPOSIÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA NO BRASIL, OCDE E MUNDO	12
GRÁFICO 2 - PRODUÇÃO ANUAL DE PETRÓLEO NO BRASIL	13
GRÁFICO 3 - EXPORTAÇÕES LÍQUIDAS ANUAIS DE PETRÓLEO E DERIVADOS NO BRASIL	14
GRÁFICO 4 - PREÇOS NOMINAIS DE PETRÓLEO NO MERCADO INTERNACIONAL	15
TABELA 1 - RESUMO DA LITERATURA RECENTE SOBRE O RELACIONAMENTO ENTRE PREÇOS DO PETRÓLEO E ENERGIA RENOVÁVEL	20
TABELA 2 - FONTES DE DADOS	24
TABELA 3 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS	25
TABELA 4 - TESTE ADF DE RAÍZ UNITÁRIA	27
TABELA 5 - SELEÇÃO DO NÚMERO ÓTIMO DE DEFASAGENS	27
TABELA 6 - TESTE DE JOHANSEN	28
TABELA 7 - EQUAÇÃO DE COINTEGRAÇÃO	28
TABELA 8 - RESUMO DO MODELO VECM	29
TABELA 9 - TESTE DE GRANGER-CAUSALIDADE / EXOGENEIDADE DE BLOCO DE WALD	30
TABELA 10 - TESTE DE AUTOCORRELAÇÃO SERIAL	31
TABELA 11 - TESTE DE NORMALIDADE DOS RESÍDUOS	31
TABELA 12 - TESTE DE HETEROCEDASTICIDADE	31
GRÁFICO 5 - VARIAÇÃO PERCENTUAL ANUAL DAS TAXAS DE INFLAÇÃO PARA O CONSUMIDOR E PRODUTOR NOS E.U.A.	40
GRÁFICO 6 - PROJEÇÃO 2008 DA POPULAÇÃO DO BRASIL	40
GRÁFICO 7 - CAPACIDADE INSTALADA DE GERAÇÃO EM OPERAÇÃO	41
GRÁFICO 8 - PRODUTO INTERNO BRUTO DO BRASIL CONVERTIDO PARA BILHÕES DE DÓLARES AMERICANOS COM A UTILIZAÇÃO DO CÂMBIO MÉDIO ANUAL	41
GRÁFICO 9 - CORRENTE DE COMÉRCIO FOB DO BRASIL	42
GRÁFICO 10 - SALDO DA BALANÇA COMERCIAL FOB DO BRASIL	42
GRÁFICO 11 - EMISSÃO DE GASES ESTUFA NO BRASIL	43
GRÁFICO 12 - PRODUÇÃO DE ENERGIA DO BRASIL	43
GRÁFICO 13 - OFERTA INTERNA DE ENERGIA DO BRASIL	44

RESUMO

OFERTA DE ENERGIA RENOVÁVEL NO BRASIL: QUAL O PAPEL DOS PREÇOS DE PETRÓLEO?

Objetivo: Investigar o impacto de possíveis determinantes da oferta de energia renovável no Brasil, com destaque para a avaliação do papel dos preços do petróleo.

Material e Método: Modelo VECM utilizando dados anuais entre 1995 e 2020 da oferta interna de energia renovável, PIB, preços de petróleo, emissões de gases estufa e corrente de comércio.

Resultados: Os testes de raiz unitária indicaram que todas as variáveis de interesse são integradas de ordem 1 ou $I(1)$. O teste de Johansen indicou a existência de um relacionamento de longo prazo entre as variáveis, o que levou a estimação do termo de correção dos erros e do VECM. Testes de robustez adicionais foram executados e as hipóteses nulas de ausência de autocorrelação serial, normalidade dos resíduos e homoscedasticidade não foram rejeitadas. **Conclusão:** A estimação revelou que a elasticidade de longo prazo da oferta de energia renovável com relação aos preços de petróleo é negativa, indicando que fontes fósseis podem ser pensadas como complementares às renováveis no caso brasileiro. O crescimento econômico apresenta impacto negativo no longo prazo, o que mostra que o país pode não priorizar a transição energética no seu crescimento. A integração comercial tem impacto positivo sobre a oferta de energia renovável, fruto possível dos intercâmbios tecnológicos. A emissão de gases estufa não apresentou impacto significativo sobre a oferta de energia renovável no longo prazo.

Descritores: energia renovável, preços de petróleo, Brasil, VECM, gases estufa

ABSTRACT

RENEWABLE ENERGY SUPPLY IN BRAZIL: WHAT IS THE ROLE OF OIL PRICES?

Purpose: To investigate the relationship of possible determinants of the renewable energy supply in Brazil, highlighting the role of oil prices. **Material and Method:** VECM model using annual data from 1995 to 2020 on internal renewable energy supply, GDP, oil prices, greenhouses gases emissions and international trade. **Results:** The unit root tests revealed that all variables were integrated of order 1 or $I(1)$. The Johansen test for cointegration indicated the existence of a long-term relationship among the variables, which led to the estimation of the VECM and the error correction term. Additional tests were run and the null hypothesis of no serial correlation, normality of residuals and homoskedasticity were not rejected. **Conclusion:** The estimation revealed that the long-term internal energy supply elasticity to oil prices is negative, pointing out that fossil fuels can be thought as complementary to renewables in Brazil. Economic growth has a negative impact on renewable energy supply, which is an indicative that the country might not be prioritizing clean energy transition in its development. Commercial integration has a positive effect on renewable energy supply, a possible result of technology transfer. Greenhouse gases emissions have no significant impact on long-term renewable energy supply.

Key words: renewable energy, oil prices, Brazil, VECM, greenhouse gases

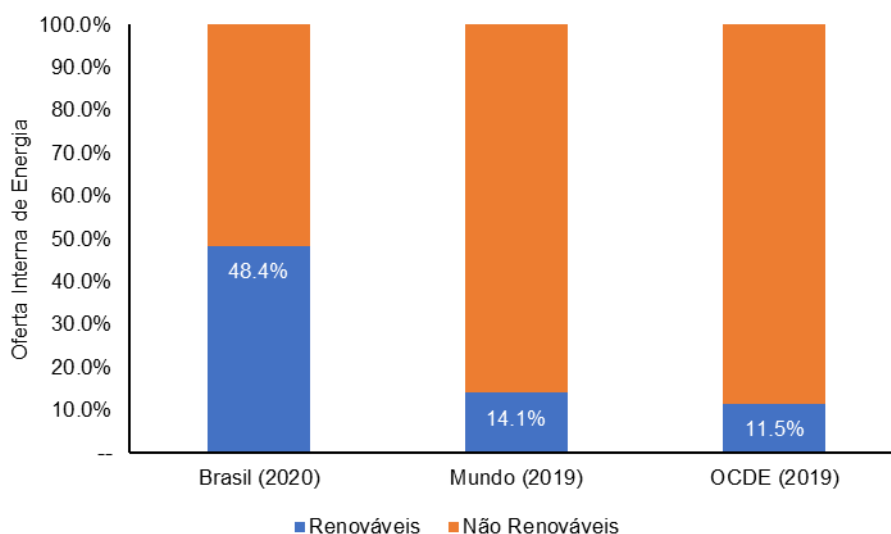
1 INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A relevância do desenvolvimento sustentável para o progresso das nações consolidou-se na elaboração da Agenda 2030 pela ONU. O documento foca-se em três dimensões de desenvolvimento sustentável – ambiental, econômico e social – com a proposição de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e 169 metas a serem alcançadas até 2030.

O objetivo 7 destaca a importância de “Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos” (ONU, 2015, p.26). Dentre as metas inerentes, a meta 7.2 explicita a importância de “Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global” (ONU, 2015, p.26). Tal meta reflete um crescente escrutínio global acerca da participação dos combustíveis fósseis na matriz energética mundial, ainda muito dependente dos mesmos, como ilustra o gráfico abaixo.

GRÁFICO 1 - COMPOSIÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA NO BRASIL, OCDE E MUNDO



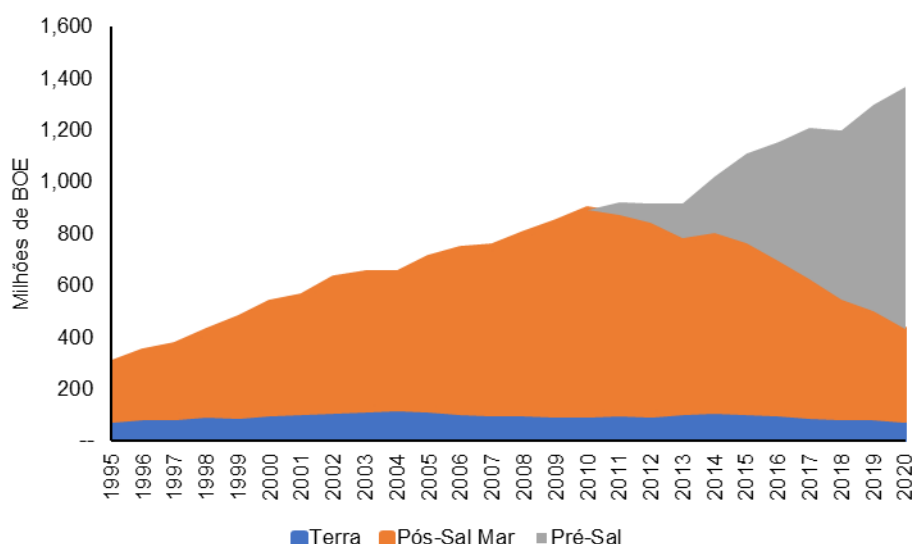
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da EIA e EPE.

O caso brasileiro é particularmente interessante de ser avaliado tendo em vista que o país possui uma matriz energética com uma participação de renováveis historicamente desenvolvida. Não obstante, o país convivia com um passado recente traumático no que tange o setor energético, com os apagões na virada do século XXI.

O passar dos anos reservaria uma grande descoberta que mudaria a relevância do Brasil no contexto energético mundial: o pré-sal.

A descoberta do pré-sal em meados da década de 2000 marcaria uma oportunidade ímpar de desenvolvimento da cadeia produtiva de petróleo nos anos seguintes. Antes restrito à extração em terra, cuja produção não vinha crescendo, e ao pós-sal, o país agora tinha a oportunidade de desenvolver uma tecnologia mais avançada, com ganhos de escala. O resultado seria visto nos anos seguintes, com destaque para os anos 2010, que apresentaram sensível aumento na produção nacional de petróleo.

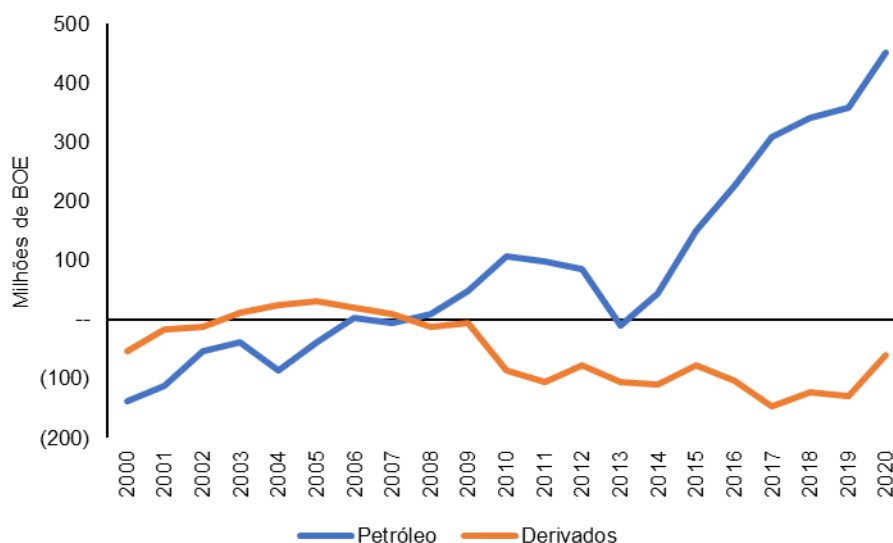
GRÁFICO 2 - PRODUÇÃO ANUAL DE PETRÓLEO NO BRASIL



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP.

Com o aumento da produção nacional no século XXI, a dependência do mercado externo para importação de hidrocarbonetos foi diminuída. Antes importador, o país passou a ser exportador líquido de petróleo. Cabe destacar que, apesar do aumento da produção, o país ainda necessita da importação de determinados tipos de óleo para utilização em suas refinarias por questões tecnológicas. No que tange os derivados, o país ainda é um importador líquido para suprimento das necessidades energéticas internas.

GRÁFICO 3 - EXPORTAÇÕES LÍQUIDAS ANUAIS DE PETRÓLEO E DERIVADOS NO BRASIL



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP.

Usualmente, fontes de energia fósseis, como o petróleo, poderiam ser tratadas como substitutas para fontes renováveis, a exemplo da energia fotovoltaica e eólica. Diante disso, o uso de fontes renováveis não poderia levar em consideração somente o preço de aquisição destas, mas também o preço do petróleo, cujos principais *benchmarks* internacionais são o Brent e o WTI.

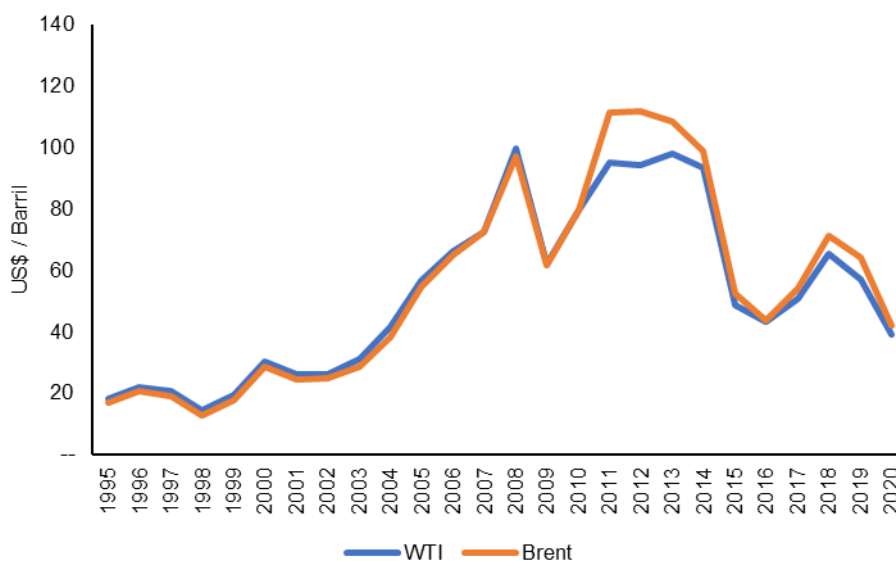
O petróleo é uma commodity que atrai atenção global devido a sua enorme relevância para os mercados. A volatilidade dos preços tem a capacidade de impactar significativamente diversas economias. O Brasil não deixa de ser um dos países vulneráveis à dinâmica do mercado internacional.

Historicamente, uma das principais empresas nacionais é a Petrobras, que outrora deteve monopólio de toda a cadeia de produção e comercialização de petróleo e derivados. Tendo o governo como principal acionista, apesar de ser uma empresa de economia mista, a Companhia é alvo de debates políticos constantemente. Sua relevância na economia nacional não pode ser subestimada, já que é fonte de recursos para os governos nacionais e subnacionais, via pagamento de dividendos, *royalties* e criação de empregos em larga escala.

Diante do papel significativo de renováveis e de petróleo no Brasil, surge o questionamento: a volatilidade dos preços do petróleo no mercado internacional gera incentivos ou desincentivos para a transição para renováveis? De acordo com a ótica

de substitubilidade dos bens, em um país importador de petróleo, caso do Brasil até os anos 2000, seria esperado que o aumento dos preços atuasse como estimulante da transição para redução da dependência internacional. O caso do exportador de petróleo, que representa o Brasil recente, indicaria que o país poderia retardar sua transição para favorecer os investimentos na cadeia do petróleo, que seria mais rentável economicamente.

GRÁFICO 4 - PREÇOS NOMINAIS DE PETRÓLEO NO MERCADO INTERNACIONAL



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da EIA.

Este trabalho tem como objetivo geral investigar o impacto do preço de petróleo, crescimento econômico, emissão de gases estufa e integração comercial sobre a oferta interna de energia proveniente de fontes renováveis no Brasil entre os anos de 1995 e 2020. De modo a atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos serão relevantes:

1. Formular um modelo multivariado de séries temporais com a metodologia VECM;
2. Analisar o comportamento da oferta interna de energia renovável em caso de desvios no curto prazo e a velocidade de convergência para o equilíbrio de longo prazo;
3. Avaliar a existência de Granger-causalidade entre as variáveis.

O restante do trabalho está organizado de acordo com a descrição que segue. A segunda seção apresenta uma revisão da literatura recente com a inclusão de referências empíricas para consecução dos objetivos. A terceira seção indica as fontes de dados, tratamento aplicado e etapas para a execução da modelagem proposta. A quarta seção apresenta os resultados encontrados em conjunto com uma discussão dos mesmos. Por fim, a seção final apresenta as conclusões derivadas de todo o processo de elaboração.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2 REVISÃO DE LITERATURA

Desde o trabalho pioneiro de Sadorsky (2009a), diversos outros trabalhos foram elaborados com vistas a identificar a natureza dos determinantes do consumo, oferta e investimento em renováveis. Nesse trabalho, o autor analisou o grupo de países do G7 e mostrou que, no longo prazo, o crescimento econômico e nas emissões de CO₂ eram os principais determinantes do consumo de energia renovável. O preço do petróleo desempenharia papel menos relevante e teriam impacto negativo. Salim e Rafiq (2012) analisaram seis países emergentes e chegaram as mesmas conclusões para Brasil, China e Índia.

Payne (2012) utilizou o teste de causalidade Toda-Yamamoto e indicou que o crescimento econômico, emissões de CO₂ e preços de petróleo não tinham impacto causal no consumo de renováveis no caso dos EUA. Resultado similar para os preços de petróleo foi encontrado por Brini, Amara e Jemmali (2017), por Shah, Hiles e Morley (2018), no caso do Reino Unido, e por Nguyen e Kakinaka (2019), no painel de países de renda média. Troster, Shahbaz e Uddin (2018) chegaram a mesma conclusão quando todos os quantis são levados em consideração, encontrando causalidade apenas na cauda inferior da distribuição.

Apergis e Payne (2014) encontraram para um painel de 25 países da OCDE uma relação de *feedback* entre preços de petróleo e consumo de renováveis no curto prazo, além de um impacto unidirecional dos preços de petróleo no longo prazo.

Apergis e Payne (2015) trabalharam com um painel de 11 países da América Latina, incluindo o Brasil. Os autores encontraram uma causalidade bidirecional no curto e longo prazo entre consumo de energia renovável, crescimento econômico, emissões de dióxido de carbono e preços de petróleo.

Omri e Nguyen (2014) encontraram impacto significativo da degradação ambiental para todos os 4 painéis de renda analisados. Os preços do petróleo tiveram impacto pequeno mas significativo. O crescimento econômico só teve impacto nos países de renda média. A abertura econômica teve efeito significativo em todos os painéis com a exceção do painel de alta renda.

Omri, Daly e Nguyen (2015) diagnosticaram um papel importante das emissões de CO₂, crescimento econômico e comércio internacional no uso de energia

renovável. O impacto dos preços de petróleo, por sua vez, explicava apenas marginalmente a dinâmica de uso de renováveis.

Deniz (2019) analisou um grupo de países separados entre importadores e exportadores líquidos de petróleo. Nos importadores, foi observado que choques no preço de petróleo induziriam o aumento do consumo de energia renovável. O sinal oposto foi encontrado para os exportadores, indicando que os incentivos para a transição energética nestes países. A análise é compatível com os resultados encontrados por Karacan et al. (2021); Mukhtarov et al. (2020); Mukhtarov, Humbatova e Hajiyeu (2021) nos casos de Rússia, Azerbaijão e Cazaquistão, países com grande produção de hidrocarbonetos. Ayodele e Alege (2021) encontram um resultado divergente no caso da Nigéria, exportadora de petróleo.

Murshed e Tanha (2021) encontraram uma associação não-linear na análise do impacto dos preços de petróleo sobre o consumo de renováveis com um painel de 4 países do sudeste asiático. A indução da transição para renováveis não ocorreria em todos os níveis de preço apesar de serem países importadores, mas só ocorreria a partir de um patamar de preço bastante elevado.

O aumento dos preços de petróleo são vistos como positivo para o consumo de energia renovável nos casos de Padhan et al. (2020); Wang, Li e Pisarenko (2020). Raggad (2021) encontra um resultado similar para alguns períodos nos Estados Unidos.

Chen, Pinar e Stengos (2021) incluem o aspecto de qualidade das instituições na análise. Em países menos democráticos, mudanças no preço do petróleo induziriam a transição para renováveis. Nos países mais democráticos, o impacto não foi significativo.

De acordo com o melhor conhecimento do autor baseado no estudo prévio, o presente trabalho é o primeiro com foco exclusivo no Brasil, a despeito da inclusão esporádica do país em estudos de painel anteriores, a saber: Apergis e Payne (2015); Chen, Pinar e Stengos (2021); Salim e Rafiq (2012); Wang, Li e Pisarenko (2020). Ademais, o foco temporal proposto trabalha com os dados mais recentes disponíveis e já engloba um período que compreende a descoberta do pré-sal na região, fator diferencial na relevância energética do país.

A seguir, estará uma tabela com o resumo dos achados na literatura recente:

TABELA 1 - RESUMO DA LITERATURA RECENTE SOBRE O RELACIONAMENTO ENTRE PREÇOS DO PETRÓLEO E ENERGIA RENOVÁVEL

#	Artigo	Período de Análise	Modelo	Países	Causalidade (Sinal do choque)
1	APERGIS e PAYNE (2014)	1980 a 2011	Cointegração em Painei (FMOLS, DOLS, VECM)	25 da OCDE	LP: OIL → RE (+) CP: OIL ↔ RE
2	APERGIS e PAYNE (2015)	1980 a 2010	Cointegração em Painei (FMOLS, DOLS, VECM)	11 da América do Sul	LP: OIL ↔ RE CP: OIL ↔ RE
3	AYODELE e ALEGE (2021)	1986 a 2017	VECM	Nigéria	LP: OIL → RE (+) CP: RE → OIL (+)
4	BRINI, AMARA e JEMMALI (2017)	1980 a 2011	ARDL	Tunísia	Neutralidade
5	CHEN, PINAR e STENGOS (2021)	1995 a 2015	FDGMM	97	OIL → RE (+)* *Em países menos democráticos
6	DENIZ (2019)	1995 a 2014	Efeitos fixos, GMM e VAR	24	OIL → RE (+)* *Em países importadores de petróleo
7	GUO et. al. (2021)	1980 a 2018	NARDL	G7	Resultado variado entre países
8	KARACAN et. al. (2021)	1990 a 2015	VECM e CCR	Rússia	OIL → RE (-)
9	LEE e HUH (2017)	1993 a 2014	Modelo logístico	Coreia do Sul	OIL → RE (+)
10	MUKHTAROV et. al. (2020)	1992 a 2015	STSM	Azerbaijão	OIL → RE (-)
11	MUKHTAROV, HUMBATOVA e HAJIYEV (2021)	1992 a 2015	FMOLS e CCR	Cazaquistão	OIL → RE (-)
12	MURSHED e TANHIA (2021)	1990 a 2018	Cointegração em Painei (FMOLS, DOLS, VECM)	4 do sudeste asiático	Impacto depende do nível de preço
13	NGUYEN e KAKINAKA (2019)	1990 a 2013	Cointegração em Painei (FMOLS, DOLS, VECM)	107	OIL → RE (+)* *Menos para países de renda média
14	OMRI e NGUYEN (2014)	1990 a 2011	GMM de efeitos dinâmicos	64	OIL → RE (-)* *Nos painéis globais e de renda média
15	OMRI, DALY e NGUYEN (2015)	1990 a 2011	Modelos estáticos e dinâmicos de estimação em painei	64	Neutralidade
16	PADHAN et. al. (2020)	1970 a 2015	Cointegração quantílica em Painei	30 da OCDE	OIL → RE (+)
17	PAYNE (2012)	1949 a 2009	Teste de causalidade Toda- Yamamoto	EUA	Neutralidade
18	RAGGAD (2021)	Jan/1986 a Ago/2020	Causalidade de Granger com variação temporal	EUA	OIL → RE (+)* *Em alguns períodos
19	SADORSKY (2009)	1980 a 2005	Cointegração em Painei (FMOLS, DOLS, VECM)	G7	OIL → RE (-)
20	SALIM e RAFIQ (2012)	1980 a 2006	Cointegração em Painei (FMOLS, DOLS, VECM)	6 emergentes	OIL → RE (-)* * Para China e Indonésia
21	SHAH, HILES e MORLEY (2018)	1960 a 2015	VAR	EUA, Reino Unido e Noruega	OIL → RE* *Com exceção do Reino Unido
22	TROSTER, SHAHBAZ e UDDIN (2018)	Jul/1989 a Jul/2016	VAR estrutural quantílico	EUA	OIL → RE (-)* *Na cauda inferior
23	WANG, LI e PISARENKO (2020)	1990 a 2017	Cointegração em Painei (FMOLS, DOLS, VECM)	G20	OIL → RE (+)

3 MATERIAL E MÉTODO

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 METODOLOGIA

De modo a contemplar os objetivos anteriormente descritos, o presente estudo utilizará as seguintes metodologias passo-a-passo:

1. Avaliação do melhor critério de informação para cada variável entre os critérios AIC e SC baseado na estimação de um AR (2) arbitrário para cada variável
2. Teste ADF de raiz unitária nas variáveis em nível e em primeira diferença para avaliar se as variáveis são $I(1)$;
3. Estimação de um modelo VAR arbitrário com as variáveis de interesse e testagem para seleção do número ótimo de defasagens (k) seguindo o critério obtido no passo 1;
4. Aplicação do teste de cointegração de Johansen considerando o número de defasagens (k) obtido no passo anterior;
5. Caso ocorra a rejeição da hipótese nula de não existência de equações de cointegração no passo anterior, será executada a estimação de um modelo VEC com a utilização de $(k-1)$ defasagens;
6. Análise da significância dos coeficientes dos regressores e do termo de correção dos erros;
7. Teste de Granger-causalidade nos coeficientes;
8. Testes diagnósticos para checagem de robustez dos resultados: teste LM para avaliação de autocorrelação serial, teste de normalidade dos resíduos e teste de heterocedasticidade;
9. Avaliação crítica dos resultados obtidos nos pontos anteriores.

Em razão da grande utilização das metodologias econométricas acima descritas, o trabalho se furtará da explicação detalhada do embasamento teórico por trás de cada método. Para mais detalhes ver: Akaike (1974); Breusch e Pagan (1979); Dickey e Fuller (1979); Engle e Granger (1987); Granger (1969); Johansen (1988, 1991); Johansen e Juselius (1990); Lutkepohl (2005); Said e Dickey (1984); Schwarz (1978); Sims (1980); White (1980).

Para fins analíticos, foi utilizado o software econométrico *Eviews 12 Student Version Lite*, disponível para *download* gratuito. Um nível de significância de 5% foi utilizado para rejeição das hipóteses nulas de modo a manter uniformidade ao longo do estudo.

3.2 FORMA FUNCIONAL DO MODELO

A forma funcional do modelo VEC a ser estimado está descrita abaixo:

$$\begin{aligned}
 \Delta lnoie &= a + \sum_{i=1}^{k-1} \beta_i \Delta lnoie_{t-i} + \sum_{j=1}^{k-1} \gamma_j \Delta lnpib_{t-j} + \sum_{m=1}^{k-1} \delta_m \Delta lnestufa_{t-m} + \sum_{q=1}^{k-1} \mu_q \Delta lnbrent_{t-q} + \sum_{r=1}^{k-1} \rho_r \Delta lncomint_{t-r} + \lambda_1 ECT_{t-1} + u_{1t} \\
 \Delta lnpib &= b + \sum_{i=1}^{k-1} \beta_i \Delta lnoie_{t-i} + \sum_{j=1}^{k-1} \gamma_j \Delta lnpib_{t-j} + \sum_{m=1}^{k-1} \delta_m \Delta lnestufa_{t-m} + \sum_{q=1}^{k-1} \mu_q \Delta lnbrent_{t-q} + \sum_{r=1}^{k-1} \rho_r \Delta lncomint_{t-r} + \lambda_2 ECT_{t-1} + u_{2t} \\
 \Delta lnestufa &= c + \sum_{i=1}^{k-1} \beta_i \Delta lnoie_{t-i} + \sum_{j=1}^{k-1} \gamma_j \Delta lnpib_{t-j} + \sum_{m=1}^{k-1} \delta_m \Delta lnestufa_{t-m} + \sum_{q=1}^{k-1} \mu_q \Delta lnbrent_{t-q} + \sum_{r=1}^{k-1} \rho_r \Delta lncomint_{t-r} + \lambda_3 ECT_{t-1} + u_{3t} \\
 \Delta lnbrent &= d + \sum_{i=1}^{k-1} \beta_i \Delta lnoie_{t-i} + \sum_{j=1}^{k-1} \gamma_j \Delta lnpib_{t-j} + \sum_{m=1}^{k-1} \delta_m \Delta lnestufa_{t-m} + \sum_{q=1}^{k-1} \mu_q \Delta lnbrent_{t-q} + \sum_{r=1}^{k-1} \rho_r \Delta lncomint_{t-r} + \lambda_4 ECT_{t-1} + u_{4t} \\
 \Delta lncomint &= e + \sum_{i=1}^{k-1} \beta_i \Delta lnoie_{t-i} + \sum_{j=1}^{k-1} \gamma_j \Delta lnpib_{t-j} + \sum_{m=1}^{k-1} \delta_m \Delta lnestufa_{t-m} + \sum_{q=1}^{k-1} \mu_q \Delta lnbrent_{t-q} + \sum_{r=1}^{k-1} \rho_r \Delta lncomint_{t-r} + \lambda_5 ECT_{t-1} + u_{5t} \\
 ECT_{t-1} &= lnoie_{t-1} - \gamma_1 lnpib_{t-1} - \delta_1 lnestufa_{t-1} - \mu_1 lnbrent_{t-1} - \rho_1 lncomint_{t-1}
 \end{aligned}$$

Onde:

$(k - 1)$ – Número de defasagens reduzido em 1;

$\beta_i, \gamma_j, \delta_m, \mu_q, \rho_r$ – Coeficientes de curto prazo do ajuste do modelo para o equilíbrio de longo prazo;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$ – Parâmetros de velocidade do ajuste;

ECT_{t-1} – Termo de correção dos erros, que contém os valores defasados dos resíduos obtidos da regressão de cointegração da variável dependente nos regressores;

$u_{1t}, u_{2t}, u_{3t}, u_{4t}, u_{5t}$ – Termos de erro estocásticos;

a, b, c, d, e – Constantes;

$lnoie$ – Logaritmo natural da oferta interna de energia renovável *per capita* do Brasil;

$lnpib$ – Logaritmo natural do produto interno bruto *per capita* do Brasil;

$lnestufa$ – Logaritmo natural da emissão de gases estufa *per capita* do Brasil;

$lnbrent$ – Logaritmo natural do preço do brent no mercado internacional;

Incomint – Logaritmo natural da corrente de comércio (exportações + importações) *per capita* do Brasil.

3.3 DADOS

Os dados quantitativos utilizados para a realização deste trabalho foram coletados em bases de dados de acesso público das instituições governamentais e educacionais a seguir: IBGE, EIA, IPEADATA, SEEG, EPE.

TABELA 2 - FONTES DE DADOS

Dado	Fonte	Comentário
Oferta Interna de Energia Proveniente de Fontes Renováveis	EPE	Hidraulica, lenha e carvão vegetal, derivados de cana, eólica, solar e outras
PIB	IPEADATA	Convertido para dólares americanos com a utilização do câmbio médio anual
Preços de Petróleo	EIA	Preço <i>spot FOB</i> do Brent
Emissão de Gases Estufa	SEEG	C2F6, CF4, CH4, CO, CO2, CO2e GTP-AR2, CO2e GTP-AR4, CO2e GTP-AR5, CO2e GWP-AR2, CO2e GWP-AR4, CO2e GWP-AR5, COVNM, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-23, HFC-32, N2O, NOx, SF6
Corrente de Comércio (Exportações + Importações)	IPEADATA	<i>FOB</i> em dólares americanos
População	IBGE	Revisão 2008 - projeção da população do Brasil

Por conta das limitações temporais das séries de dados, foi escolhido o período compreendido entre os anos de 1995 e 2020 para análise temporal, o que resulta em um total de 26 observações anuais por variável. Este intervalo compreende o período de estabilização econômica do Brasil após a introdução do Plano Real.

A oferta interna de energia foi computada em termos de TEP / habitante. O preço do Brent está em dólares americanos nominais. O PIB per capita foi computado em dólares americanos / habitante, com a utilização da taxa de câmbio médio anual

para conversão entre reais brasileiros e dólares americanos no período de análise. A corrente de comércio está expressa em dólares americanos por habitante e frete FOB. A emissão de gases estufa foi calculada em termos de toneladas por habitante.

Abaixo está disposta uma tabela com as estatísticas descritivas das séries de dados:

TABELA 3 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

	Variáveis				
	LNOIE	LNPIB	LNESTUFA	LNBRENT	LNCOMINT
Média	-0.600592	8.802713	4.271022	3.813669	7.124295
Mediana	-0.535622	8.883720	4.167307	3.974384	7.306972
Máximo	-0.398260	9.503922	4.669149	4.715190	7.815918
Mínimo	-0.837645	7.966227	3.960632	2.546315	6.370830
Desvio Padrão	0.140480	0.486087	0.253669	0.655063	0.542447
Assimetria	-0.263775	-0.225182	0.221578	-0.289348	-0.203772
Curtose	1.503959	1.755787	1.442399	1.892172	1.358527
Jarque-Bera	2.726151	1.896802	2.841052	1.692353	3.098904
Probabilidade	0.255873	0.387360	0.241587	0.429052	0.212364
Soma	-15.61539	228.8705	111.0466	99.15539	185.2317
Soma Desv. Padrões ao Quadrado	0.493363	5.907013	1.608698	10.72769	7.356209
Número de Observações	26	26	26	26	26

4 RESULTADOS EMPÍRICOS E INTERPRETAÇÃO

4 RESULTADOS EMPÍRICOS E INTERPRETAÇÃO

Primeiramente, foi estimado um VAR com cada variável para avaliação do critério de informação que seria utilizado nas etapas seguintes e o critério AIC foi o que apresentou menor valor em todos os casos.

Todas as series foram testadas para a hipótese de existência de raiz unitária e a hipótese de existência não foi rejeitada em nível e foi rejeitada para a primeira diferença utilizando ADF, conforme demonstrado na tabela 4, o que indica que as séries são I(1).

TABELA 4 - TESTE ADF DE RAÍZ UNITÁRIA

Variáveis	P-valor		Ordem de Integração	Decisão
	Nível	Primeira Diferença		
LNOIE	0.8561	0.0158	I(1)	Não estacionária em nível, mas estacionária na primeira diferença
LNPIB	0.6503	0.0335	I(1)	Não estacionária em nível, mas estacionária na primeira diferença
LNESTUFA	0.5633	0.0421	I(1)	Não estacionária em nível, mas estacionária na primeira diferença
LNBRENT	0.4472	0.0051	I(1)	Não estacionária em nível, mas estacionária na primeira diferença
LNCOMINT	0.6950	0.0032	I(1)	Não estacionária em nível, mas estacionária na primeira diferença

* Considera teste com constante e sem tendência

Em seguida, foi estimado um modelo VAR arbitrário para a seleção da defasagem que seria utilizado posteriormente. O teste para o número ótimo de defasagens indicou que a utilização de 2 defasagens seria adequada de acordo com AIC, que apresentou o menor valor comparada a SC.

TABELA 5 - SELEÇÃO DO NÚMERO ÓTIMO DE DEFASAGENS

Defasagens	AIC	SC
0	-4.910542	-4.665114
1	-10.29383	-8.821267*
2	-11.51324*	-8.813530

* Indica o número de defasagens escolhido pelo critério de informação

Para avaliação da existência de cointegração entre as variáveis, foi executada a técnica de Johansen, que rejeitou a hipótese de não-cointegração tanto considerando o traço como o autovalor máximo. Como a equação de cointegração de interesse deste artigo considera normalização para *lnoie*, somente será utilizada uma equação de cointegração para análise, mesma abordagem utilizada em Brini, Amara e Jemmali (2017) e Brooks (2008).

TABELA 6 - TESTE DE JOHANSEN

Traço				
# Eq. de Cointegração	Autovalor	Estatística ¹	Valor Crítico a 0.05	P-valor
Zero*	0.983917	196.1204	69.81889	0.0000
No máximo 1*	0.921546	101.1309	47.85613	0.0000
No máximo 2*	0.654629	42.59034	29.79707	0.0010
No máximo 3*	0.479265	18.13822	15.49471	0.0195
No máximo 4	0.127248	3.13038	3.841465	0.0768

* denota rejeição da hipótese nula

¹ Considera intercepto na equação de cointegração e no VAR, sem tendência

Autovalor Máximo				
# Eq. de Cointegração	Autovalor	Estatística ¹	Valor Crítico a 0.05	P-valor
Zero*	0.983917	94.98951	33.87687	0.0000
No máximo 1*	0.921546	58.54053	27.58434	0.0000
No máximo 2*	0.654629	24.45212	21.13162	0.0164
No máximo 3*	0.479265	15.00784	14.2646	0.0381
No máximo 4	0.127248	3.13038	3.8415	0.0768

* denota rejeição da hipótese nula

¹ Considera intercepto na equação de cointegração e no VAR, sem tendência

Diante disso, seguiu-se com a estimação do modelo VEC com a utilização de 1 defasagem temporal, que levou a estimação da seguinte equação de cointegração:

TABELA 7 - EQUAÇÃO DE COINTEGRAÇÃO

Equação de Cointegração		
Parâmetro	Coefficiente	Estatística t
LNOIE(-1)	1.000000	
LNPIB(-1)	0.217047	9.549700
LNESTUFA(-1)	-0.040706	-1.132090
LNBRENT(-1)	0.208752	12.007300
LNCOMINT(-1)	-0.669423	-17.432400
Constante	2.834403	

* Considera constante na equação de cointegração e no VAR, sem tendência

O sinal dos coeficientes da equação de cointegração deve ser revertido na equação normalizada do modelo de Johansen que representa o longo prazo. Como todas as variáveis estão em logaritmo natural, as elasticidades podem ser computadas. *lnoie* é a variável dependente. *lnpiib* tem um impacto negativo e significativo em *lnoie* no longo prazo. Um aumento percentual em *lnpiib* levará a uma

queda de 0.21% em *lnoie*, o que indica que o país não utiliza o crescimento econômico para acelerar a transição para fontes renováveis, o que vai de encontro aos resultados de Sadorsky (2009b) para países emergentes, mas é compatível com Chen, Pinar e Stengos (2021) para países menos democráticos, painel que inclui o Brasil. No caso de *lnestufa*, o impacto é positivo, porém não significativo. Para *lncomint*, o impacto é positivo e significativo, com um aumento percentual em *lncomint* levando a um aumento de 0.66% em *lnoie*, o que é um indicativo de que a abertura econômica pode facilitar a transferência de tecnologia entre países e estimular a transição para fontes renováveis. Este resultado é compatível com o encontrado por Omri e Nguyen (2014) para todos os painéis, com a exceção do painel de renda mais alta.

Quando se analisa *lnbrent*, verifica-se que o impacto é negativo e significativo, com um aumento percentual em *lnbrent* levando a uma diminuição de 0.20% em *lnoie*. Este resultado indica que o petróleo, referência enquanto fonte fóssil, não teria comportamento compatível com o de um bem substituto, mas sim com o de um bem complementar a energia renovável, com elasticidade negativa. Desta forma, a elevação dos preços de petróleo no mercado internacional não estimularia o Brasil a ampliar a sua transição para fontes de menor impacto. O mesmo resultado foi encontrado em: Sadorsky (2009a) para países do G7; Salim e Rafiq (2012) para China e Indonésia; Omri e Nguyen (2014) no caso de países de renda média; Deniz (2019) para países exportadores de petróleo; Mukhtarov et al. (2020) para o Azerbaijão; Mukhtarov, Humbatova e Hajiyev (2021) para o Cazaquistão; Karacan et al., (2021) para a Rússia.

TABELA 8 - RESUMO DO MODELO VECM

	D(LNOIE)	D(LNPIB)	D(LNESTUFA)	D(LNBRENT)	D(LNCOMINT)
Constante	0.004918	-0.038927	0.008813	-0.025546	0.018263
P-Valor da Constante	0.413900	0.339300	0.675800	0.770400	0.634800
ECT(-1)	-0.690341	1.301551	0.008596	-1.152415	0.547683
P-Valor do ECT(-1)	0.000800	0.334600	0.990200	0.691000	0.667000
R ²	0.590734	0.459574	0.384455	0.096752	0.401509
R2 Ajustado	0.446287	0.268835	0.167204	-0.222041	0.190277
Estatística F	4.089623	2.409442	1.769636	0.303495	1.900797

* Considera ausência de tendência e inclusão de constante na equação de cointegração e no VAR

O coeficiente do termo de correção dos erros indica a velocidade dos ajustes para que o modelo retorne ao equilíbrio em caso de algum desvio. O coeficiente do termo de correção dos erros de *lnoie* apresenta o sinal correto e é estatisticamente

significante, com velocidade de convergência para o equilíbrio de 69%. Desta forma, no curto prazo, a oferta interna de energia é ajustada por 69% do desvio passado do equilíbrio. Isso confirma a estabilidade do sistema. No caso das demais variáveis, o coeficiente não é significativo, o que indica a ausência de ajustes em direção ao equilíbrio de longo prazo em uma situação de desequilíbrio. Isto indica que apenas choques nas outras variáveis tem impacto sobre *lnoie* no longo prazo.

TABELA 9 - TESTE DE GRANGER-CAUSALIDADE / EXOGENEIDADE DE BLOCO DE WALD

Variável Dependente: D(LNNOIE)			
Excluída	Qui-Quadrado	df	P-valor
D(LNPIB)	6.608781	1	0.0101
D(LNESTUFA)	9.231238	1	0.0024
D(LNBRENT)	1.410588	1	0.2350
D(LNCOMINT)	7.926785	1	0.0049
Variável Dependente: D(LNPIB)			
Excluída	Qui-Quadrado	df	P-valor
D(LNNOIE)	4.349502	1	0.0370
D(LNESTUFA)	0.852029	1	0.3560
D(LNBRENT)	0.358044	1	0.5496
D(LNCOMINT)	0.109464	1	0.7408
Variável Dependente: D(LNESTUFA)			
Excluída	Qui-Quadrado	df	P-valor
D(LNNOIE)	1.425009	1	0.2326
D(LNPIB)	0.208366	1	0.6481
D(LNBRENT)	0.658198	1	0.4172
D(LNCOMINT)	0.065054	1	0.7987
Variável Dependente: D(LNBRENT)			
Excluída	Qui-Quadrado	df	P-valor
D(LNNOIE)	0.989758	1	0.3198
D(LNPIB)	0.024853	1	0.8747
D(LNESTUFA)	0.839628	1	0.3595
D(LNCOMINT)	0.336368	1	0.5619
Variável Dependente: D(LNCOMINT)			
Excluída	Qui-Quadrado	df	P-valor
D(LNNOIE)	2.176805	1	0.1401
D(LNPIB)	0.597534	1	0.4395
D(LNESTUFA)	0.877004	1	0.3490
D(LNBRENT)	1.393024	1	0.2379

Para avaliação do relacionamento causal de curto prazo, foi feita a análise das estatísticas qui-quadrado para checagem de significância das variáveis endógenas defasadas. A análise da tabela 8 indica a existência de uma causalidade de Granger bidirecional entre PIB e oferta interna de energia no curto prazo. No que tange o relacionamento das demais variáveis, pode-se verificar existência de relacionamento causal unidirecional no sentido de Granger da emissão de gases estufa e da corrente

de comércio para a oferta interna de energia. O preço do petróleo não apresenta relação causal com a oferta interna de energia no curto prazo.

Adicionalmente, foram executados alguns testes diagnósticos para checagem de robustez dos resultados. O resultado do teste de autocorrelação serial indicou a rejeição da hipótese nula de existência de autocorrelação serial. O teste de normalidade dos resíduos não rejeitou a hipótese de normalidade dos resíduos individualmente ou em conjunto, de acordo com os valores encontrados para Jarque-Bera. Ademais, não foram encontradas evidências de heterocedasticidade nos resíduos do VEC.

TABELA 10 - TESTE DE AUTOCORRELAÇÃO SERIAL

Defasagem	Estat. LRE*	P-valor	Estat. F RAO	P-valor
1	36.95482	0.0583	1.7172	0.0761

TABELA 11 - TESTE DE NORMALIDADE DOS RESÍDUOS

Exclusão	Jarque-Bera	df	P-valor
1	0.313701	2	0.8548
2	0.398391	2	0.8194
3	0.121010	2	0.9413
4	5.546618	2	0.0625
5	0.257842	2	0.8790
Conjunto	6.637562	10	0.7592

TABELA 12 - TESTE DE HETEROCEDASTICIDADE

Var. Dependente	F(12,11)	P-valor	Qui-Quadrado (12,11)	P-valor
res 1 * res 1	1.290601	0.3398	14.03293	0.2986
res 2 * res 2	1.080578	0.4524	12.98482	0.3701
res 3 * res 3	0.993191	0.508	12.48082	0.4079
res 4 * res 4	0.506302	0.8711	8.539635	0.7417
res 5 * res 5	0.342602	0.9606	6.529543	0.8871
res 2 * res 1	1.363922	0.3073	14.35337	0.2787
res 3 * res 1	0.570268	0.8257	9.204466	0.6854
res 3 * res 2	0.572005	0.8244	9.221726	0.6839
res 4 * res 1	0.550418	0.8402	9.004274	0.7026
res 4 * res 2	0.560196	0.8331	9.103561	0.6941
res 4 * res 3	0.692712	0.7314	10.33013	0.5870
res 5 * res 1	0.405495	0.9319	7.360579	0.8329
res 5 * res 2	0.552814	0.8385	9.028724	0.7005
res 5 * res 3	0.351074	0.9572	6.646290	0.8801
res 5 * res 4	0.448158	0.9082	7.880718	0.7944
Conjunto			185.1160	0.3813

5 CONCLUSÕES

O relacionamento de longo prazo entre os preços internacionais do petróleo e a oferta de energia renovável é de significativa importância devido ao fato de refletir os incentivos para a transição energética de um país. O principal objetivo deste estudo é investigar o relacionamento de longo prazo entre os preços do petróleo e a oferta de energia renovável, além de analisar o comportamento de outras variáveis como crescimento econômico, emissão de gases estufa e integração comercial aplicando técnicas de cointegração e modelagem de um modelo VECM. Foram utilizados dados anuais de oferta interna de energia per capita, PIB per capita, preços de petróleo, corrente de comércio per capita e emissão de gases estufa per capita para o período compreendido entre os anos de 1995 e 2020.

Os resultados dos testes ADF de raiz unitária indicam que todas as séries analisadas não são estacionárias em níveis, mas são estacionárias na primeira diferença, ou seja, integradas de ordem 1. Em seguida, foi aplicado o teste de Johansen para avaliação de cointegração e foi demonstrado que as variáveis tinham relacionamento de longo prazo.

A elasticidade de longo prazo indica que um aumento dos preços do petróleo impacta a oferta de energia renovável de maneira negativa, o que indica que o petróleo, no caso brasileiro, atua como um bem complementar às fontes renováveis e não substituto. O crescimento econômico apresentou impacto negativo sobre a oferta de renováveis, indicando que o país pode estar priorizando fontes fósseis na busca do crescimento. A maior integração comercial tem efeito positivo sobre a oferta de renováveis, possível fruto do intercâmbio de tecnologias com outros países. A emissão de gases estufa, por sua vez, tem impacto positivo, mas não significativo no longo prazo.

Foi testada a estabilidade do equilíbrio usando VECM. O termo de correção dos erros da variável oferta de energia interna renovável apresenta o sinal correto, ou seja, negativo, e é estatisticamente significativo a 5%. Isto indica que o sistema converge para o equilíbrio em caso de qualquer desequilíbrio, com a velocidade de convergência de 69%. Os coeficientes do termo de correção dos erros das demais variáveis das demais séries não foi significativo.

No curto prazo, foi revelada uma causalidade de Granger bidirecional entre PIB e oferta interna de energia. Para as demais variáveis, verificou-se a existência de relacionamento causal unidirecional no sentido de Granger da emissão de gases estufa e da corrente de comércio para a oferta interna de energia. O preço do petróleo não apresentou impacto com significância estatística no curto prazo.

REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. AC-19, n. 6, p. 716–723, 1974.
- APERGIS, N.; PAYNE, J. E. The causal dynamics between renewable energy, real GDP, emissions and oil prices: evidence from OECD countries. **Applied Economics**, v. 46, n. 36, p. 4519–4525, 2014.
- APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Renewable energy, output, carbon dioxide emissions, and oil prices: evidence from South America. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy**, v. 10, n. 3, p. 281–287, 2015.
- AYODELE, M. T.; ALEGE, P. O. Oil price volatility and renewable energy consumption in Nigeria. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 11, n. 4, p. 470–478, 2021.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Painel Dinâmico de Produção Diária da ANP**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-dinamicos-sobre-exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/paineis-dinamicos-de-producao-de-petroleo-e-gas-natural>>. Acesso em: 24 mai. 2022.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicações-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031>>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2021**. Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Interativo**. Disponível em: <<http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/ben/>>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. **Econometrica**, v. 47, n. 5, p. 1287–1294, 1979.
- BRINI, R.; AMARA, M.; JEMMALI, H. Renewable energy consumption, international trade, oil price and economic growth inter-linkages: the case of Tunisia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 620–627, 2017.
- BROOKS, C. **Introductory Econometrics for Finance**. v. 2. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2008.

CHEN, C.; PINAR, M.; STENGOS, T. Determinants of renewable energy consumption: Importance of democratic institutions. **Renewable Energy**, v. 179, p. 75–83, 2021.

DENİZ, P. Oil prices and renewable energy: oil dependent countries. **Journal of Research in Economics**, v. 3, n. 2, p. 139–152, 2019.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. **Journal of the American Statistical Association**, v. 74, n. 366, p. 427–431, 1979.

EIA. **Spot Prices for Crude Oil and Petroleum Products**. U.S. Energy Information Administration. Disponível em: <http://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_a.htm>. Acesso em: 27 mai. 2022.

ENGLE, R. F.; GRANGER, C. W. J. Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. **Econometrica**, v. 55, n. 2, p. 251–276, 1987.

E.U.A. Federal Reserve Bank of St. Louis. Economic Research Division. **Producer Price Index and Consumer Price Index**. Disponível em: <<https://fred.stlouisfed.org>>. Acesso em: 27 mai. 2022.

GRANGER, C. W. J. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. **Econometrica**, v. 37, n. 3, p. 424–438, 1969.

GUO, Y. et al. Asymmetric between oil prices and renewable energy consumption in the G7 countries. **Energy**, v. 226, p. 1–14, 2021.

IBGE. **Revisão 2008 da Projeção de População do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=10&op=0&vcodigo=POP300&t=revisao-2008-projecao-populacao-brasil>>. Acesso em: 24 mai. 2022.

IPEA. **Dados Econômicos, Financeiros e Regionais – IPEADATA**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em: 20 mai. 2022.

JOHANSEN, S. Statistical analysis of cointegration vectors. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 12, p. 231–254, 1988.

JOHANSEN, S. Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in gaussian vector autorregressive models. **Econometrica**, v. 59, n. 6, p. 1551–1580, 1991.

JOHANSEN, S.; JUSELIUS, K. Maximum likelihood estimation and inference on cointegration — with applications to the demand for money. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, v. 52, n. 2, p. 169–210, 1990.

KARACAN, R. et al. The impact of oil price on transition toward renewable energy consumption? Evidence from Russia. **Energies**, v. 14, n. 2947, p. 1–14, 2021.

LEE, C. Y.; HUH, S. Y. Forecasting the diffusion of renewable electricity considering the impact of policy and oil prices: the case of South Korea. **Applied Energy**, v. 197, p. 29–39, 2017.

LUTKEPOHL, H. **New Introduction to Multiple Time Series Analysis**. v. 1. Berlim: Springer, 2005.

MUKHTAROV, S. et al. Do high oil prices obstruct the transition to renewable energy consumption? **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 4689, p. 1–16, 2020.

MUKHTAROV, S.; HUMBATOVA, S.; HAJIYEV, N. G. O. Is the transition to renewable energy consumption hampered by high oil prices? **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 11, n. 5, p. 377–380, 2021.

MURSHED, M.; TANHA, M. M. Oil price shocks and renewable energy transition: Empirical evidence from net oil-importing South Asian economies. **Energy, Ecology and Environment**, v. 6, n. 3, p. 183–203, 2021.

NGUYEN, K. H.; KAKINAKA, M. Renewable energy consumption, carbon emissions, and development stages: Some evidence from panel cointegration analysis. **Renewable Energy**, v. 132, p. 1049–1057, 2019.

OMRI, A.; DALY, S.; NGUYEN, D. K. A robust analysis of the relationship between renewable energy consumption and its main drivers. **Applied Economics**, v. 47, n. 28, p. 2913–2923, 2015.

OMRI, A.; NGUYEN, D. K. On the determinants of renewable energy consumption: International evidence. **Energy**, v. 72, p. 554–560, 2014.

ONS. **Capacidade Instalada de Geração**. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <<https://dados.ons.org.br/dataset/capacidade-geracao>>. Acesso em: 27 mai. 2022.

ONU. **Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Organização das Nações Unidas. Disponível em: <<https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

PADHAN, H. et al. Renewable energy consumption and robust globalization(s) in OECD countries: do oil, carbon emissions and economic activity matter? **Energy Strategy Reviews**, v. 32, p. 1–15, 2020.

PAYNE, J. E. The causal dynamics between US renewable energy consumption, output, emissions, and oil prices. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy**, v. 7, n. 4, p. 323–330, 2012.

RAGGAD, B. Time varying causal relationship between renewable energy consumption, oil prices and economic activity: new evidence from the United States. **Resources Policy**, v. 74, p. 1–13, 2021.

SADORSKY, P. Renewable energy consumption, CO2 emissions and oil prices in the G7 countries. **Energy Economics**, v. 31, n. 3, p. 456–462, 2009.

SADORSKY, P. Renewable energy consumption and income in emerging countries. **Energy Policy**, v. 37, n. 10, p. 4021–4028, 2009.

SAID, S. E.; DICKEY, D. A. Testing for unit roots in autoregressive-moving average models of unknown order. **Biometrika**, v. 71, n. 3, p. 599–607, 1984.

SALIM, R. A.; RAFIQ, S. Why do some emerging economies proactively accelerate the adoption of renewable energy? **Energy Economics**, v. 34, n. 4, p. 1051–1057, 2012.

SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a model. **The Annals of Statistics**, v. 6, n. 2, p. 461–464, 1978.

SEEG. **Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa**.

Observatório do Clima. Disponível em:

<https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission>. Acesso em: 25 mai. 2022.

SHAH, I. H.; HILES, C.; MORLEY, B. How do oil prices, macroeconomic factors and policies affect the market for renewable energy? **Applied Energy**, v. 215, p. 87–97, 2018.

SIMS, C. A. Macroeconomics and Reality. **Econometrica**, v. 48, n. 1, p. 1–48, 1980.

TROSTER, V.; SHAHBAZ, M.; UDDIN, G. S. Renewable energy, oil prices, and economic activity: A Granger-causality in quantiles analysis. **Energy Economics**, v. 70, p. 440–452, 2018.

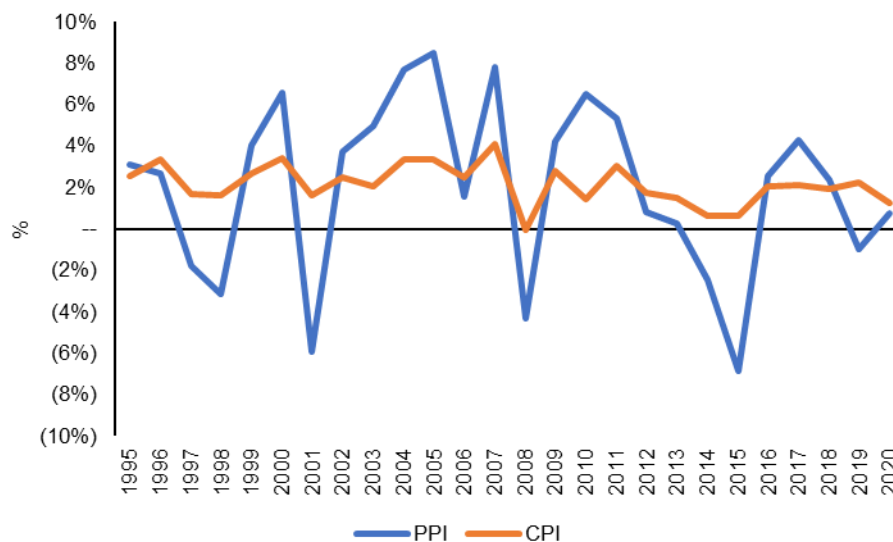
WANG, Q.; LI, S.; PISARENKO, Z. Heterogeneous effects of energy efficiency, oil price, environmental pressure, R&D investment, and policy on renewable energy – evidence from the G20 countries. **Energy**, v. 209, p. 1–13, 2020.

WHITE, H. A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity. **Econometrica**, v. 48, n. 4, p. 817–838, 1980.

ANEXO 1

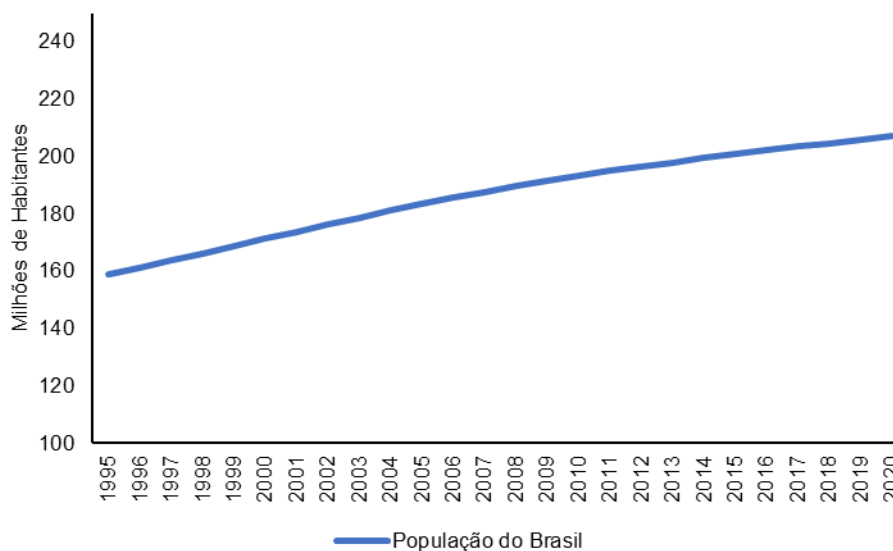
ANEXO 1 - TRAJETÓRIA DAS VARIÁVEIS DE INTERESSE

GRÁFICO 5 - VARIAÇÃO PERCENTUAL ANUAL DAS TAXAS DE INFLAÇÃO PARA O CONSUMIDOR E PRODUTOR NOS E.U.A.



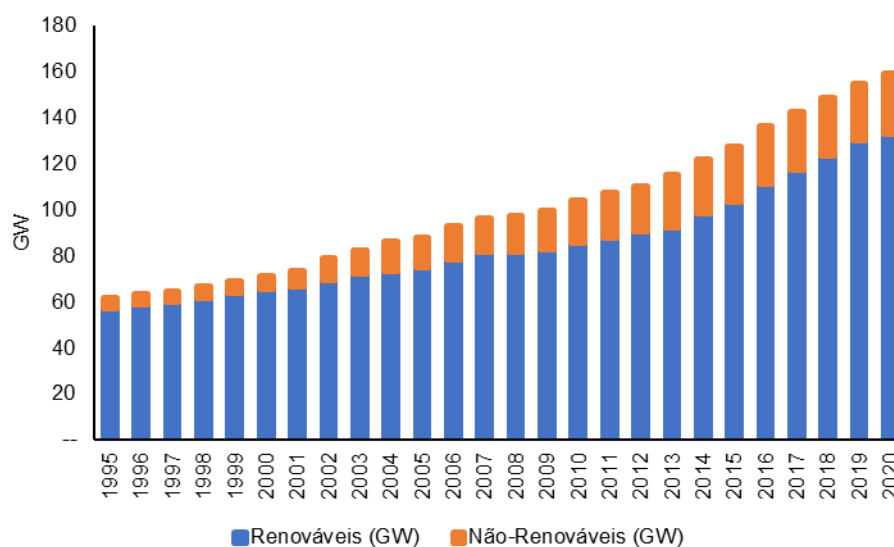
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do FRED.

GRÁFICO 6 - PROJEÇÃO 2008 DA POPULAÇÃO DO BRASIL



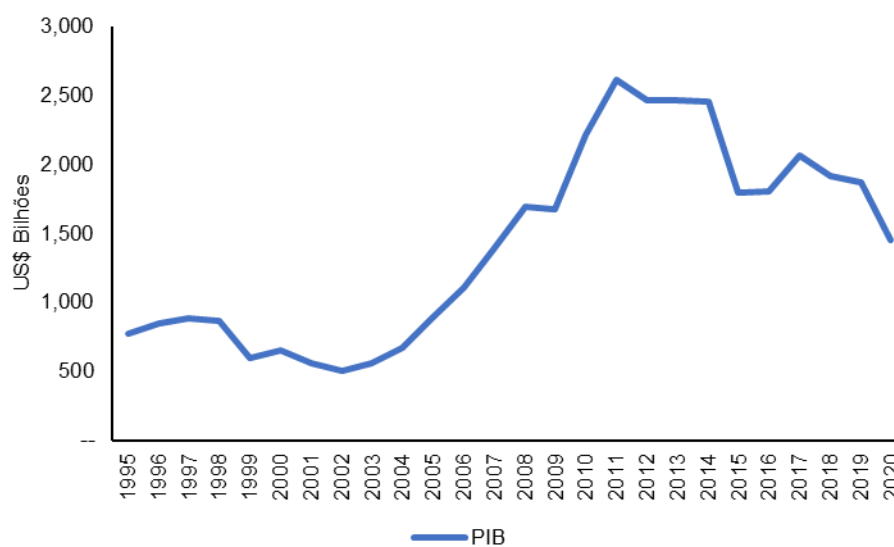
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE.

GRÁFICO 7 - CAPACIDADE INSTALADA DE GERAÇÃO EM OPERAÇÃO



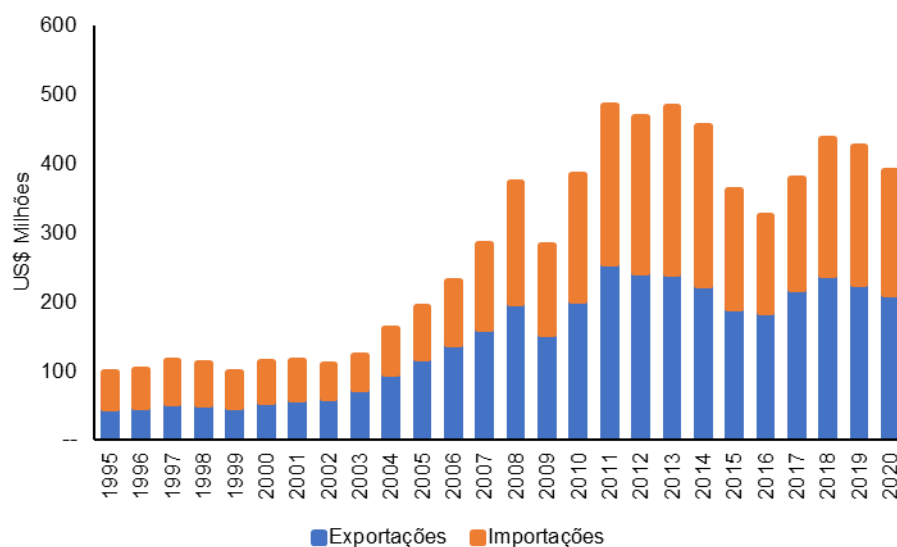
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ONS.

GRÁFICO 8 - PRODUTO INTERNO BRUTO DO BRASIL CONVERTIDO PARA BILHÕES DE DÓLARES AMERICANOS COM A UTILIZAÇÃO DO CÂMBIO MÉDIO ANUAL



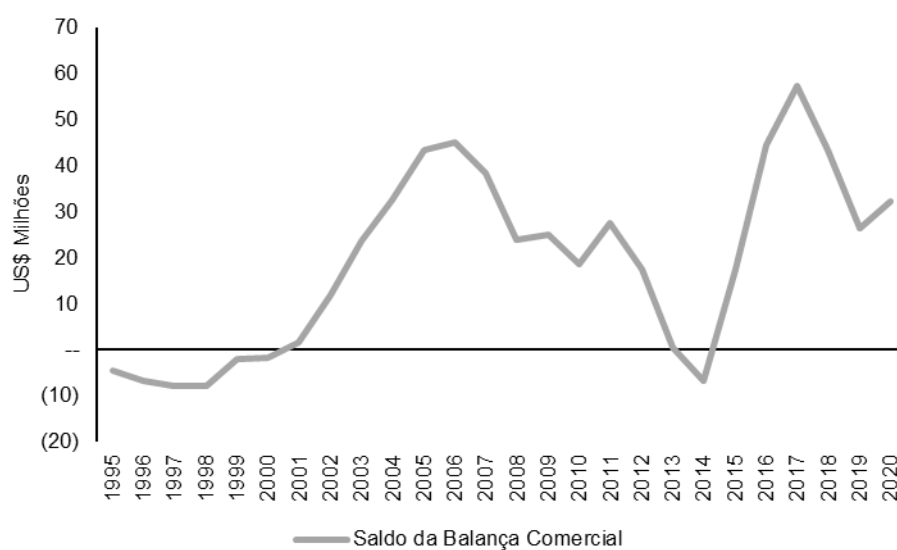
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IPEADATA.

GRÁFICO 9 - CORRENTE DE COMÉRCIO FOB DO BRASIL



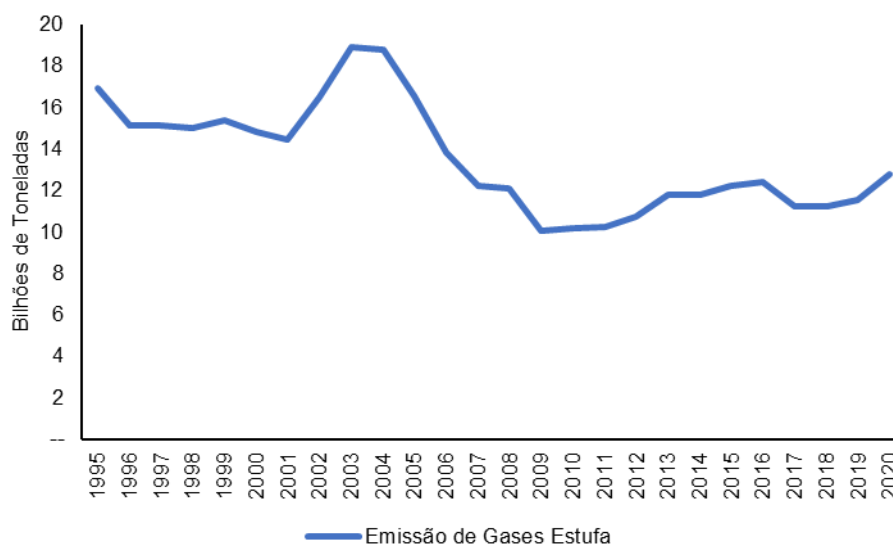
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IPEADATA.

GRÁFICO 10 - SALDO DA BALANÇA COMERCIAL FOB DO BRASIL



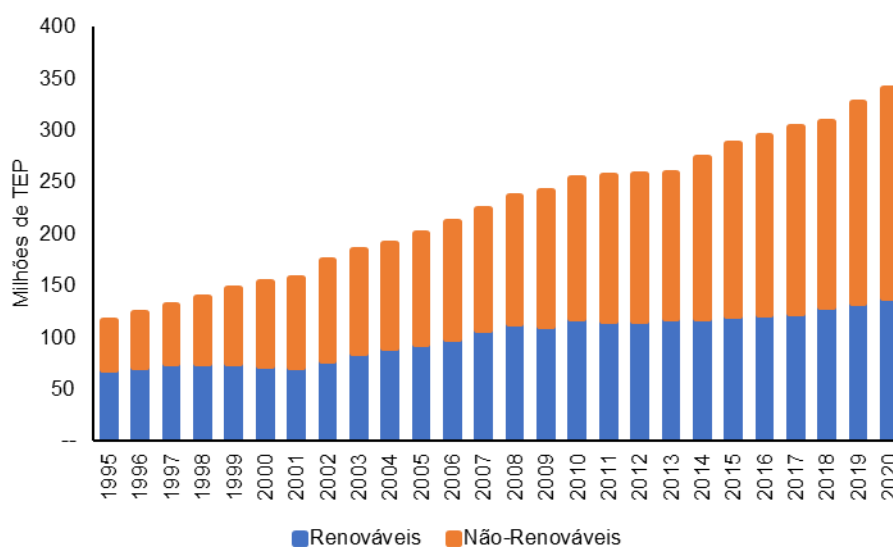
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IPEADATA.

GRÁFICO 11 - EMISSÃO DE GASES ESTUFA NO BRASIL



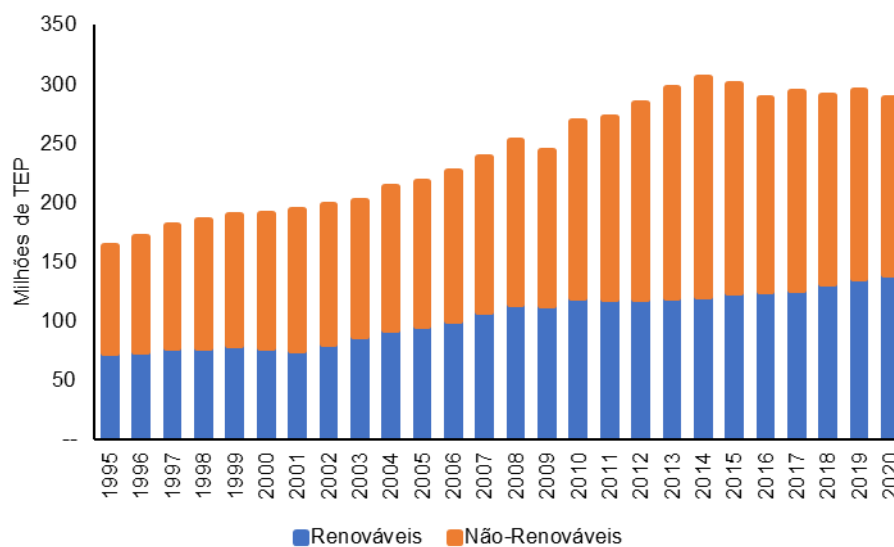
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da SEEG.

GRÁFICO 12 - PRODUÇÃO DE ENERGIA DO BRASIL



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da EPE.

GRÁFICO 13 - OFERTA INTERNA DE ENERGIA DO BRASIL



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da EPE.