

O uso de recursos energéticos renováveis e não renováveis e sua influência na variação da renda nacional

The use of renewable and non-renewable energy resources and their influence on national income variation

Elen Presotto¹
Edson Talamini²

RESUMO

A preocupação com utilização de recursos da natureza na economia e o equilíbrio com o meio ambiente são um ponto de convergência e de interesse para toda a sociedade. O objetivo deste estudo é mensurar o impacto da produção e consumo de energia renovável e não renovável, capital e trabalho frente ao crescimento econômico do Brasil, buscando evidenciar se esse crescimento foi induzido por políticas públicas de geração de energia renováveis ou não. Para tanto, foram estimados dois modelos através do método de Mínimos Quadrados Ordinários, para o período de 1970 a 2017. Os resultados encontrados demonstram a influência positiva das energias renováveis frente as variações da renda e negativas para as variações da produção de energias não renováveis. Aumentos de 1% na produção de energia renovável causam aumentos de 0,39% na renda. Os períodos da inversão da matriz energética e o mercado pelo incentivo à produção de biocombustíveis, mostraram-se significativos para influenciar a variação da renda nacional.

Palavras-chave: produção de energia; crescimento da renda; energia renovável; energia não renovável;

Abstract

The concern with the use of natural resources in the economy and the balance with the environment are a point of convergence and interest for the whole society. The objective of this study is to measure the impact of the production and consumption of renewable and non-renewable energy, capital and labor in the face of Brazil's economic growth, seeking to show whether this growth was induced by public policies for renewable energy generation or not. To this end, two models were estimated using the Ordinary Least Squares method, for the period from 1970 to 2017. The results found demonstrate the positive influence of renewable energies in the face of variations in income and negative for variations in the production of non-renewable energies. Increases of 1% in the production of renewable energy cause increases of 0.39% in income. The periods of the inversion of the energy matrix and the period marked

¹ Mestra em Economia e Desenvolvimento -UFSM, Doutoranda do PPG Agronegócios do Centro Interdisciplinar de Estudos e Pesquisas em Agronegócios - CEPAN da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. E-mail: elenpresotto@yahoo.com.br
ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0001-9897-7159>

² Professor associado do Departamento de Economia e Relações Internacionais - DERI, Faculdade de Economia - FCE, e Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios – CEPAN, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Rio Grande do Sul – UFRGS. Email: edson.talamini@ufrgs.br
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2349-0447>

by the incentive to the production of biofuels, proved to be significant to influence the variation of the national income.

Keywords: production of energy; income growth; renewable energy; non-renewable energy

JEL: O13; P18; P48.

INTRODUÇÃO

A quantidade consumida de energia é um fator importante na atividade econômica de um país, e conseqüentemente, no crescimento econômico do mesmo. O Brasil tem intensificado ações para diversificar a matriz energética nacional, como por exemplo, na utilização de etanol e biodiesel, ações originadas por políticas de estruturação para a produção, em larga escala, de energia renovável tendo como base a biomassa, por exemplo (ANP, 2018). Estas ações são influenciadas por metas firmadas pelo Brasil frente as suas Contribuições Determinadas Nacionalmente (NDC)³ para cooperar com o alcance dos objetivos da Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, os quais consistem em aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030, expandido a produção de biocombustíveis, como o biodiesel (BRASIL, 2019).

Dentre as alternativas de energia que compõem a matriz energética nacional, a maior produção de energia renovável é de energia hidráulica (10,6%), energia de lenha (7,8%) outros (22,1%). A produção da energia não renovável é liderada pela energia do petróleo (45,1%) seguida do gás natural (13,2%) e outras energias (1,2%) (BRASIL, 2018). No mundo, a intensificação do uso de energia no processo produtivo aumentou 23% entre os anos de 1990 a 2005 nos países membros da OCDE. Nos países não membros esse aumento foi ainda maior, configurando o petróleo como a maior fonte energética de uso (OECD/IEA, 2008).

O efeito do crescimento econômico em função da energia disponível vem sendo pauta em discussões não só limitadas aos olhares puramente da economia. Soddy criticou a visão econômica cartesiana, o referido autor define que a riqueza do ser humano está nas formas úteis de matéria e energia (CLEVELAND, 1987). A atividade humana se utiliza de recursos naturais escassos e produz externalidades, ano a ano o consumo cresce, e o rendimento das atividades humanas, incluindo os combustíveis fósseis, aumentou 800% no século XX, com uma grande quantidade de resíduos devolvidos ao meio ambiente (VICTOR, 2010).

A problemática entre crescimento econômico e uso de recursos da natureza, se intensifica em função da geração de resíduos e problemas ambientais, somado aos recursos finitos da natureza fez aumentar a preocupação com relação à dependência da matriz energética de recursos não renováveis e questões ambientais. Com isso, à medida que as instituições políticas direcionam políticas ambientais e de crescimento econômico para um cenário, a favor ou contra a natureza, percebe-se a relação direta entre a influência de políticas públicas e a degradação ambiental (CONGLETON, 1992).

³Em razão do Acordo de Paris, os países devem se organizar frente a um ciclo de cinco anos e apresentar seus planos de ações climáticas, para a redução das emissões de gases do efeito estufa, conhecidos como **Contribuições Determinadas Nacionalmente (NDCs, do Inglês: “Nationally Determined Contributions”)**, mais detalhes em: (UNFCCC, 2021).

À medida que a sociedade se desenvolve, maior é o uso de energia (DAHL, 2004). Fato este evidenciado desde a revolução industrial onde se percebeu desde então, a intensificação energética que continuou aumentando no processo produtivo (AUSUBEL et al., 1991). Diante disso, este estudo está focado em compreender se dois eventos, incentivados por políticas públicas, em dois períodos de tempos podem ou não ter influenciado as variações da renda nacional de uma forma mais ou menos renovável. O primeiro evento foi a inversão da matriz energética nacional brasileira, ocorrido nos anos 2000, em que se intensificou a produção de energias não renováveis. Ao contrário disso, a partir de 2004, se percebe o incentivo à produção de energias renováveis como o biodiesel.

Com isto a energia renovável, que deriva de fontes que são naturalmente reabastecidas, mas com fluxo e quantidade de energia disponível por unidade de tempo limitados, podem ser atrativos a políticas de redução de emissões e uma alternativa à dependência de combustível fóssil. Porém, a produção de energias renováveis, no Brasil no caso dos biocombustíveis, pode as vezes se tornar um tanto mais cara que as não renováveis, isso em função da possibilidade oscilação dos preços do mercado de *commodities* como é o caso do Biodiesel e da possibilidade de variação de rendimento das culturas e alterações de condições climáticas, o que traz incerteza e custos significativos para a produção de biocombustíveis (EIA, 2017).

Todos esses fatores são desafios a serem enfrentados pelos formuladores de políticas públicas, produtores e consumidores. Se por um lado, a energia pode ser considerada como um bem escasso, com estoques limitados, e que merece estudos para o uso eficiente de recursos, por outro, a energia configura-se como um importante meio do processo produtivo, que não possui substitutos, segundo Peet (2004). No entanto, percebe-se uma falta de consenso sobre a relação entre as variáveis crescimento econômico, sinônimo de renda, e uso de recursos naturais.

Os primeiros modelos neoclássicos, da chamada economia ambiental surgiram na década de 1960. Os estudos dividiram-se entre a teoria da poluição e a teoria dos recursos naturais. A primeira é baseada na teoria do bem-estar e dos bens públicos de Pigou (1932), que aponta a necessidade de internalização dos custos sociais da poluição visando alcançar um nível ótimo de poluição. Ao contrário disso, a segunda é influenciada pela análise de Hotelling (1931) e foca na necessidade de solucionar a questão da alocação intertemporal da extração dos recursos naturais (MUELLER, 1998; SAES, 2015).

Na literatura foram encontrados inúmeros trabalhos que abordam a temática do crescimento econômico e energia com estudos empíricos em diversos países. Dentre os trabalhos encontrados em Liu (2018) e Zaidi; Gmiden; Saidi (2018) destacam quatro possíveis grupos de análise nesta temática. O primeiro grupo são trabalhos que comprovam a hipótese de crescimento (ANG, 2007; LEE; CHANG, 2008), o uso de energia impacta positivamente no crescimento. O segundo grupo é conservador, admite-se uma ligação de causalidade unidirecional do crescimento econômico para o uso de recursos naturais (HERRERIAS; JOYEUX; GIRARDIN, 2013; ZHANG; CHENG, 2009), ou seja, uma redução do uso de recursos não afetaria o crescimento econômico.

Diferentemente dos demais, o terceiro grupo defende o feedback, resguarda uma ligação causal bidirecional entre consumo de energia e o crescimento econômico (BOWDEN; PAYNE, 2009; ERDAL; ERDAL; ESENGÜN, 2008), ou seja, quaisquer mudanças no uso de recursos para a produção influencia a economia e vice-versa. Por último, o grupo neutro, os mesmos não admitem que exista qualquer relação

causal entre o crescimento econômico e o uso de energia (MENEGAKI, 2011; PAYNE, 2009).

Assim, o questionamento que este estudo procura responder é: em que medida as variações na renda podem ser influenciadas com maior ou menor intensidade pelas variações na produção e consumo de energia renovável ou não renovável? Com isso, este estudo tem por objetivo geral mensurar o impacto das variações da renda do Brasil, a partir de evidências em relação ao êxito ou não do Brasil estar logrando um crescimento mais renovável. A análise se estrutura como uma extensão da função de produção com o incremento na análise da quantidade produzida e consumida de energia renovável e não renovável nacional.

Neste sentido não há relato de estudos com análises da inversão da matriz energética nacional, para expressar um panorama mais claro sobre o impacto das políticas públicas que fomentam a produção de energia renovável influenciando o crescimento da renda do Brasil. Para tanto, foram estimados dois modelos, para o período de 1970 à 2017, via Mínimos Quadrados Ordinários (MQO): o primeiro busca identificar de que maneira os fatores de produção trabalho e capital e produção de energia renovável e não renovável influenciam as variações da renda nacional, incluindo na análise o impacto da inversão da matriz energética no ano de 2000, com a intensificação da produção de energias não renováveis; o segundo mensura a demanda energética, identificando como o consumo de diferentes fontes de energia, capital e trabalho podem influenciar nas variações da renda nacional, com o incremento de uma variável capaz de identificar o impacto da produção em escala de biodiesel, a partir de 2004.

Os dois modelos trazem respostas que podem servir como bases de sugestões para formuladores de políticas públicas que visam entender a relação de crescimento renovável e se preocupam com o estoque de recursos da natureza disponíveis. As relações de consumo são estudadas de forma mais aprofundada na análise desagregada, por tipo de consumo, como por exemplo, energia hidráulica, lenha, gás natural e petróleo.

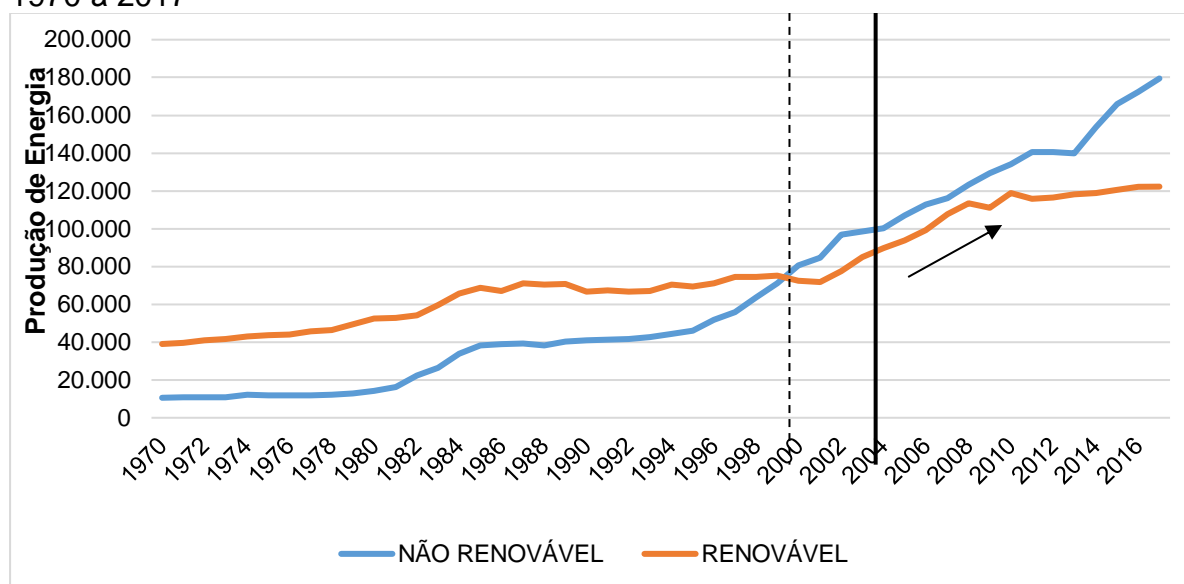
Por fim, a título de revisão expôs-se nesta seção introdutória os principais artigos que fomentaram a discussão sobre o assunto a nível global. Na sequência apresentam-se um panorama de produção de energia nacional e a metodologia. Por fim, analisam-se os resultados encontrados e tece-se algumas considerações finais.

A estrutura energética brasileira

A produção energética nacional com base em combustíveis fósseis intensificou-se principalmente a partir dos anos 1990. Em 2017, cerca de 41% da produção de energia nacional era renovável (energia hidráulica, lenha, produtos da cana, eólica, solar e outras) e 59% de fontes não renováveis definidas como energia de fonte do petróleo, gás natural, carvão a vapor, carvão metalúrgico, urânio e outras fontes (BRASIL, 2018). No que tange a relação de consumo de energia nacional, de forma mais desagregada, por tipo de consumo, a energia hidráulica, lenha, gás natural e petróleo estão entre as energias mais consumidas no Brasil (BRASIL, 2018).

A Figura 1 destaca três fatos relevantes frente a características da produção energética nacional no período entre 1970 à 2017: o primeiro deles a inversão da matriz em 2000 (linha preta tracejada), o segundo é a produção de biodiesel em larga escala a partir de 2004 (linha preta sólida) e por último a intensificação de produção de energia (seta inclinada).

Figura 1: Produção total de Energia primária da Matriz Energética em 10³ tep (toe) de 1970 à 2017



Fonte: (BRASIL, 2018).

Em relação à produção energética nacional, frente aos dados da Figura 1, percebe-se a utilização do petróleo se intensifica depois de 1984, período em que se visualiza a crescente utilização de energias não renováveis, e que em 2000, ocorre a inversão da matriz energética, ou seja, a partir desse período a matriz energética nacional passa por uma reconfiguração onde as energias derivadas de combustível fóssil, não renovável, ultrapassam a produção das renováveis (BRASIL, 2018).

A atuação de políticas públicas voltadas a produção e expansão da matriz energética nacional foram influenciadas a partir da Lei n° 9.478 de 1997. Conhecida como “Lei do Petróleo”, a qual dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo e outros (BRASIL, 1997).

Em contraponto, a partir de 2004, com a preocupação voltada a utilização de recursos renováveis, a regulamentação da produção de biodiesel da soja e de outros bens foi estruturada pelo Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) implantado em 2004. Influenciadas, pela NDC nacional como a meta de aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira de 18% até 2030, expandindo a produção de etanol e biodiesel (BRASIL, 2019). Apesar da pesquisa sobre a produção de biodiesel existirem desde 1980, é com o PNPB, que o Brasil regulamenta e o governo federal organiza a cadeia produtiva, define as linhas de financiamento e estrutura a base tecnológica, evidenciando em 2004, um marco regulatório para a produção nacional em larga escala (BRASIL, 1997).

A mistura permitida do biodiesel ao diesel de petróleo é realizada pelas distribuidoras, da mesma maneira que é feita a adição e álcool na gasolina, o processo também é permitido para que seja realizado nas refinarias, e essas entregarem o biodiesel as distribuidoras, ou seja, a mistura permite que com uma menor quantidade de combustíveis fósseis sejam necessários para cada litro de diesel, reduzindo o impacto ambiental pelo biocombustível ser um combustível renovável. Mais recentemente em 2017, o governo implanta a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), que busca entre outros, promover uma expansão na produção de biocombustíveis preocupando-se com a regularidade desse abastecimento, e contribuir para melhorar a eficiência energética e a redução das emissões tanto na

produção, como na comercialização, utilizando-se de mecanismos de avaliação de ciclo de vida, por exemplo (BRASIL, 2017).

O processo histórico apresentado, salienta que o Brasil tem se preocupado com relação a dependência de combustíveis fósseis da matriz energética nacional, e com isso, as fontes de energias que são fontes de crescimento econômico traduzem a grande importância de lançar estratégias sustentáveis, a partir de crescimento limpo (pautado na produção de energias renováveis) que tem seu objetivo focado na mitigação das mudanças climáticas.

DADOS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Dados

O período estudado corresponde aos anos de 1970 a 2017. Período que foi escolhido em função de dois fatores: primeiro pela questão que envolve energia ganhar destaque durante conflitos e o embargo do petróleo árabe, principalmente no início dos anos 1970. Internamente, alguns fatos foram importantes como: o desenvolvimento do Programa Nacional do Alcool ou *Proálcool*⁴ criado em 1975, com o objetivo de estimular a produção do álcool, posteriormente a aprovação da “Lei do Petróleo⁵” em 1997 e a implantação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) em 2004⁶.

A partir disso, os dados utilizados são: a variável força de trabalho total (L_t) que mensura a quantidade total de pessoas ocupadas no Brasil. Essa variável compreende pessoas com quinze anos ou mais que fornecem mão de obra para a produção de bens e serviços durante um período específico, dados do Banco Mundial, (2018). A variável capital (K_t) mensura a formação bruta de capital que consiste em despesas com adições aos ativos fixos da economia mais variações líquidas no nível de estoques, dados do Banco Mundial (2018). A variável Y_t é definida como o Produto Interno Bruto do Brasil, é a soma do valor acrescentado bruto de todos os produtores residentes na economia somada aos impostos sobre produtos e menos quaisquer subsídios não incluídos no valor dos produtos. Para os valores correntes em dólar (US\$) por ano (BANCO MUNDIAL, 2018)

Todos os dados anuais pertinentes a energia renovável (ER_t), energia não renovável (ENR_t), Energia de Lenha (EL_t), Energia Hidráulica (EH_t), Gás Natural (GN_t) e Energia de Petróleo (PE_t) foram coletados junto ao Ministério de Minas e Energia (MME), por meio da publicação do Balanço Energético Nacional (BEN) (BRASIL, 2018). As variáveis desagregadas foram escolhidas em função da sua participação na matriz energética nacional. O Quadro 1 resume todas as informações dos dados utilizados, assim como suas unidades.

⁴ Mais detalhes no Decreto nº 76593, de 14 de novembro de 1975.

⁵ Mais detalhes consultar a Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997.

⁶ Mais detalhes consultar a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005.

Quadro 1- Resumo da descrição e unidades das variáveis utilizadas

Sigla	Nome	Descrição de medida	Fonte
L_t	Força de trabalho	Mensura a força de trabalho total por ano. A força de trabalho compreende pessoas com 15 anos ou mais que fornecem mão-de-obra para a produção de bens e serviços durante um determinado período.	(BANCO MUNDIAL, 2018)
Y_t	Produto Interno Bruto	Representa a soma do valor acrescentado bruto de todos os produtores residentes na economia mais quaisquer impostos sobre produtos e menos quaisquer subsídios não incluídos no valor dos produtos, mensurado em US\$/ano.	(BANCO MUNDIAL, 2018)
K_t	Capital	Representa a formação bruta de capital em US\$ correntes/ano, consiste nas despesas com adições aos ativos fixos da economia mais variações líquidas no nível de estoques.	(BANCO MUNDIAL, 2018)
ER_t	Energia Renovável	Mensura o total de energia renovável produzida em 10^3 tep (toe)* ano. (Considera-se como energia primária renováveis: Energia hidráulica, lenha, produtos da cana, eólica, solar e outras renováveis).	(BRASIL, 2018)
NR_t	Energia Não renovável	Mensura o total de energia não renovável produzida em 10^3 tep (toe) ano. (Considera-se como energia primária não renováveis: petróleo, Gás Natural, carvão vapor e metalúrgico, Urânio e outras energias não renováveis)	(BRASIL, 2018)
EL_t	Energia de Lenha	Reflete o total de energia consumida de lenha por ano em 10^3 m ³ .	(BRASIL, 2018)
EH_t	Energia Hidráulica	Reflete o total de energia consumida como fonte de energia hidráulica em GWh** ano.	(BRASIL, 2018)
GN_t	Gás Natural	Reflete o total de energia consumida como fonte de gás natural em 10^3 m ³ ano.	(BRASIL, 2018)
PE_t	Energia de Petróleo	Reflete o total de energia consumida como fonte de petróleo em 10^3 ton ano.	(BRASIL, 2018)

Fonte: elaborado pelos autores a partir da base de dados. * 10^3 tep (1000 toneladas equivalentes em petróleo);**Gigawatts-hora (GWh);

A partir disso a seção que segue formaliza o modelo utilizado, assim como descreve os procedimentos metodológicos utilizados como: os testes e especificações realizados no estudo.

Procedimentos Metodológicos

Baseada na função de produção Cobb-Douglas aplicada por Liu (2018) e Zaidi; Gmiden; Saidi (2018), este trabalho testa a relação entre renda, energia, capital e trabalho como demonstrado na Equação 1, a forma clássica da função Cobb-Douglas, seguida pela Equação 2, que define o modelo matemático da função:

$$Y_t = f(K_t, L_t, EN_t) \quad (1)$$

$$Y_t = L_t^{\beta_1} K_t^{\beta_2} EN_t^{\beta_3} \quad (2)$$

em que: Y_t ; K_t ; L_t ; e EN_t representam a renda, o capital, trabalho e fluxo de energia produzida pelo Brasil, respectivamente.

A Equação 3, representa a aplicação das propriedades de logaritmo nas variáveis transformando a Equação 2 em uma equação linear. A Equação 4 representa o modelo empírico a ser testado por este estudo pela produção de

energias: Renovável (ER_t) e Não renovável (ENR_t) e a Equação 5 representa a forma desagregada de consumo das energias a serem testadas, definidas como o consumo: EH_t de energia hidráulica; PE de petróleo, GN_t de Gás natural e LE_t de lenha.

$$\ln Y_t = \beta_1 \ln L_t + \beta_2 \ln K_t + \beta_3 \ln ENR_t \quad (3)$$

$$\ln Y_t = \delta_1 \ln L_t + \delta_2 \ln K_t + \delta_3 \ln ER_t + \delta_4 \ln ENR_t + \delta_5 d_1 + e_t \quad (4)$$

$$\ln Y_t = \rho_1 \ln L_t + \rho_2 \ln K_t + \rho_3 \ln EH_t + \rho_4 \ln PE_t + \rho_5 \ln LE_t + \rho_6 \ln GN_t + \rho_7 d_2 + e_t \quad (5)$$

Procurou-se analisar previamente o comportamento das variáveis. Testes adicionais de estacionariedade, autocorrelação, heterocedasticidade e normalidade dos resíduos foram aplicados para testar o comportamento dos dados. A presença de heterocedasticidade não causa viés ou inconsistências nos parâmetros estimados, mas invalida os erros-padrão. A importância do teste de heterocedasticidade se dá especialmente em amostras relativamente pequenas.

O teste de Breusch-Godfrey testa a autocorrelação com ordem superior a 1. Tem-se como hipóteses do teste $H_0: \rho = 0$ e $H_1: \rho > 0$; a consequência da presença de autocorrelação é de estimadores não-viesados, mas ineficientes, como por exemplo, com R-quadrado, estatísticas t e F tendem a ser exagerados (WOOLDRIDGE, 2010).

A hipótese nula para o teste de *Dickey Fuller Aumentado* (DFA) é estacionária e hipótese alternativa como série não estacionária. O objetivo do teste de DFA é testar a existência de raízes unitárias com um vetor autoregressivo; como por exemplo, em: $\Delta h = \partial h_{t-1} + e_t$, em que $\partial = \rho - 1$. Matematicamente, tem-se: $H_0: \partial = 0$ e $H_1: \partial < 0$. Se a hipótese nula for rejeitada, a série temporal h_t é estacionária, ao contrário disso, a série é não estacionária (tem raiz unitária) (WOOLDRIDGE, 2010). O teste de raiz unitária de KPSS é alternativo ao de DFA, tem o mesmo princípio de identificar a ordem de integração das séries, porém com a hipótese do teste contrária. O Teste Reset para especificação do modelo também foi realizado.

Depois de aplicados os testes característicos da modelagem de séries temporais, segue-se para a análise das variáveis a serem estudadas por essa pesquisa pelas Equações 4 e 5 a serem estimadas. O *software* utilizado para a estimação dos modelos analisados neste o estudo foi o Gretl, com o auxílio do Microsoft Excel para a organização dos dados, tabelas e gráficos. Os resultados dos testes e das estimativas dos modelos são apresentados a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os primeiros resultados apresentados para o estudo são os testes de raiz unitária de DFA e KPSS, a Tabela 1 resume os resultados encontrados. Observa-se que o teste de DFA indica algumas variáveis são estacionárias em nível, ao nível de 5% de significância, com exceção das variáveis $\ln ER$, $\ln GN_t$, $\ln EH_t$ e $\ln LE_t$ que se revelaram estacionárias na 1 diferença, o p-valor do teste não rejeita a hipótese nula a 5% de significância. Ao contrário disso, o teste de KPSS, indica que somente a variável $\ln EH_t$ e $\ln L_t$ são não estacionárias em nível a 1% de significância. A partir dos resultados obtidos, utiliza-se o modelo de regressão de Mínimos Quadrados Ordinários para estimar a relação entre as variáveis estudadas.

Tabela 1—Resultados dos testes de raiz unitária

Teste	DFA*	DFA*	KPSS	KPSS
Variável	p-valor (nível)	p-valor (1ª diferença)	p-valor (nível)	p-valor (1ª diferença)
$\ln PIB_t$	0,0201	-----	0,10	-----
$\ln L_t$	0,064	-----	0,01	-----
$\ln K_t$	0,0192	-----	0,10	-----
$\ln ER_t$	0,5827	0,0005	0,10	-----
$\ln ENR_t$	0,0446	-----	0,091	-----
$\ln EH_t$	0,4903	0,0000	0,01	0,10
$\ln LE_t$	0,7389	0,0001	0,10	-----
$\ln PE_t$	0,0007	-----	0,088	-----
$\ln GN_t$	0,6054	0,000	0,06	-----

Fonte: elaborado pelos autores a partir da base de dados. *o teste foi realizado com constante e tendência.

Os resultados dos testes de autocorrelação, heterocedasticidade, especificação e normalidade dos resíduos, para a Equação 4, são apresentados no Quadro 2. Pode-se constatar que os resultados apontam para um modelo com ausência de autocorrelação, o erro tem distribuição normal e a especificação está adequada.

Quadro 2- Resultados dos Testes para a Equação 4

Teste	Hipótese	P-valor
Teste LM/Breusch-Godfrey	H ₀ : Ausência de autocorrelação H ₁ : Autocorrelação	0,1311*
Normalidade dos resíduos	H ₀ : o erro tem distribuição Normal H ₁ : caso contrário	0,4501
White	H ₀ : Homocedasticidade H ₁ : Heterocedasticidade	0,0420
Teste Reset para especificação	H ₀ : a especificação é adequada H ₁ : caso contrário	0,1578

Fonte: elaboração própria. *O teste de Autocorrelação foi testado com a ordem de defasagem 20.

A partir destes resultados estimou-se o modelo linear de Heterocedasticidade corrigida, os resultados são apresentados na Tabela 2. Todos os parâmetros do modelo são significativos a 1%*** e 10%*. A partir de 2000 a produção de energia não renovável supera a produção de energia renovável. Por isso, a variável *dummy* (d_1) foi acrescentada ao modelo com intuito de identificar esse fenômeno de inversão da produção energética nacional.

O efeito encontrado para a variável *dummy* (base) é negativo 0,13%, para o período em que a produção de energia não renovável é maior. Com o sinal negativo, tem-se uma relação causal inversa entre a produção de energia e a renda, ou seja, o aumento da produção de energia não renovável pós 2000, tem influência negativa sobre a renda, *ceteris paribus*. Esta análise, não foi capaz de identificar o porquê da relação inversa de sinal, pois acredita-se que a produção de energia tenha uma relação semelhante com o crescimento na renda. Uma alternativa que explicaria esse comportamento de sinal é o aumento da eficiência energética, onde o aumento de eficiência energética pode significar um aumento do crescimento econômico com redução de consumo.

Tabela 2- Resultados da estimação Equação 4

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	razão-t	p-valor	Significância
const	-18,73	3,2106	-5,836	0,0000	***
<i>lnK</i>	0,6861	0,0311	22,05	0,0000	***
<i>lnL</i>	1,3909	0,2055	6,767	0,0000	***
<i>lnENR</i>	-0,1542	0,0806	-1,912	0,0628	*
<i>lnER</i>	0,3984	0,1561	2,552	0,0144	***
<i>d</i> ₁	-0,1366	0,0485	-2,813	0,0074	***

Fonte: elaborado pelos autores a partir da base de dados. *** 1%, **5% e *10% de significância.

Ao se analisar os parâmetros estimados na Tabela 2, percebe-se que o parâmetro que representa a variável energia renovável (*lnER*) é maior (0,39) do que da energia não renovável (*lnENR*) (-0,15), com isto, pode-se afirmar que a energia renovável tende a influenciar positivamente o aumento do PIB e de forma mais expressiva do que a produção de energia não renovável. Espera-se que a cada aumento de 1% na produção de energia renovável obtenha-se um aumento de 0,39% no PIB brasileiro, “*ceteris paribus*”. Analogamente, com a queda de 1% na produção de energia renovável espera-se uma queda de 0,39% no PIB brasileiro. Este mesmo resultado foi encontrado por Liu (2018) para economia da China, o desenvolvimento de energia renovável é mais benéfico e produtivo do que o desenvolvimento de energia não renovável para o crescimento econômico.

A exemplo disto, no Brasil em dezembro de 2017, foi estabelecida a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) que fomenta a participação de biocombustíveis na matriz energética nacional. A produção de biocombustíveis como a cana-de-açúcar e soja, tem-se uma vasta cadeia produtiva, no plantio, colheita e transporte que geram emprego e renda em inúmeros setores, tanto na produção como na comercialização e serviços. Outro motivo positivo, são as emissões evitadas quanto aos biocombustíveis líquidos (etanol e biodiesel), em comparação com os equivalentes fósseis (gasolina e diesel), somaram 66,3 MtCO₂ em 2018 (BRASIL, 2019).

Os parâmetros que representam as variáveis capital (*lnK*) e trabalho (*lnL*), também são passíveis de análise. É possível observar a grande influência que a força de trabalho tem sobre o PIB, a cada aumento de 1% na variável espera-se um aumento de 1,39% no PIB do Brasil, considerando a variável capital o aumento esperado é menor 0,68%. A mesma lógica pode ser empregada em caso de possíveis quedas das variáveis.

O Quadro 3 apresenta o resumo dos resultados dos testes encontrados para a Equação 5. Pode-se constatar que os resultados apontam para um modelo com ausência de heterocedasticidade, o erro tem distribuição normal e a especificação está adequada.

Quadro 3- Resultados dos Testes para a Equação 5

Teste	Hipótese	P-valor
Teste LM/Breusch-Godfrey	H ₀ : Ausência de autocorrelação H ₁ : Autocorrelação	0,6546*
Normalidade dos resíduos	H ₀ : o erro tem distribuição Normal H ₁ : caso contrário	0,3794
White	H ₀ : Homocedasticidade H ₁ : Heterocedasticidade	0,3473
Teste Reset para especificação	H ₀ : a especificação é adequada H ₁ : caso contrário	0,4735

Fonte: elaboração própria. *O teste de Autocorrelação foi testado com a ordem de defasagem 20.

A Tabela 3 resume os principais resultados encontrados na estimação da Equação 5. Como já mencionado, a partir de 2004 a produção de biodiesel foi regulamentada no Brasil. Por isto, a variável *dummy* (d_2) foi acrescentada ao modelo com intuito de identificar modelar este fenômeno que pode influenciar uma variação de consumo nos diferentes tipos de combustíveis considerados por estes estudos. O efeito encontrado é positivo para a variável *dummy* (categoria base, variável *dummy* omitida), de 0,27%. Espera-se que um aumento da produção de biodiesel influencie incrementos a renda nacional, *ceteris paribus*. Este resultado corrobora os estudos já realizados em países não membros da OCDE em que biomassa e o carvão permanecem importantes fontes de energia (OECD/IEA, 2008).

Cabe salientar a importância de estudos que avancem e que possibilitem a análise desagregada do impacto da produção de biocombustíveis estar influenciando o crescimento do PIB. Esta observação se deve, principalmente, a natureza da formação de preços das *commodities*, no caso da soja, que está vinculado ao mercado internacional, e pela possível oscilação de preços interna que pode ser gerada na produção de ração e do complexo carnes, por exemplo..

Tabela 3- Resultados da estimação Equação 5

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	razão-t	p-valor	Significância
Const.	35,4848	11,9819	2,962	0,0051	***
$\ln K$	0,704889	0,0346718	20,33	<0,0001	***
$\ln L$	-1,02700	0,548719	-1,872	0,0686	*
$\ln EH_t$	0,426130	0,107222	3,974	0,0003	***
$\ln PE_t$	-0,262249	0,138972	-1,887	0,0664	*
$\ln LE_t$	-1,00732	0,224332	-4,490	<0,0001	***
$\ln GN_t$	0,187521	0,0951560	1,971	0,0557	*
d_2	0,275700	0,0647808	4,256	0,0001	***

Fonte: elaborado pelos autores a partir da base de dados. *** 1%, **5% e *10% de significância.

Na Tabela 3, os parâmetros encontrados para as variáveis capital ($\ln K$) e trabalho ($\ln L$), também são passíveis de análise. É possível observar a influência negativa que a força de trabalho tem sobre o PIB, resultado que difere da análise anterior. A cada aumento de 1% na variável espera-se uma queda de 1,02% no PIB do Brasil. A variável capital ($\ln K$) se manteve com sinal da estimação anterior, um aumento de 1% na variável espera-se um aumento de 0,7% no PIB brasileiro, a mesma lógica é válida em caso de possíveis quedas da variável.

Os resultados da análise das energias desagregadas permitem perceber que o consumo de gás natural ($\ln GN$) e energia hidráulica ($\ln EH$) influenciam positivamente o crescimento do PIB quando as variáveis aumentam, ou seja, espera-se que o aumento do consumo em 1% de energia hidráulica, espera-se um aumento de 0,42% aumento no PIB brasileiro. As variáveis de energia de lenha ($\ln LE$) e de petróleo ($\ln PE$) impactam negativamente a variável PIB. Espera-se que um aumento de 1% no consumo de energia de lenha reduza o PIB em 1,07%. A mesma lógica de análise é utilizada para a variável $\ln PE$ (0,26%).

Assim como encontrado uma redução na intensidade energética maior nos países não pertencentes à OCDE (OECD/IEA, 2008), no Brasil este resultado não é diferente. Esses resultados só foram possíveis pela combinação de mudanças

estruturais e de melhorias de eficiência, influenciadas pelo incentivo de políticas públicas.

Entretanto, estudos apontam que em alguns casos as melhorias de eficiência energética, tendem a induzir a mudanças que reduzem, anulam ou por vezes superam os benefícios ambientais e de recursos. Uma alternativa é que os países desenvolvidos busquem o crescimento econômico, mas ao mesmo tempo, consigam reduzir os impactos no planeta, ou seja, é apostar que o crescimento econômico pode ser dissociado com sucesso e rapidez dos insumos materiais e energéticos (VICTOR, 2010). Frente a essa perspectiva, a saída talvez esteja em uma visão voltada para a sustentabilidade do processo econômico, a ecoeficiência, onde os países através da tecnologia e com o passar do tempo, desmaterializariam o processo econômico (VEIGA, 2010).

Todavia, o desenvolvimento de políticas econômicas pautadas no uso eficiente de recursos, influenciando a redução da dependência dos combustíveis fósseis na matriz energética nacional, fundamentadas nas NDC continua a ser uma alternativa para a sustentabilidade e de prolongar o esgotamento dos recursos. Os resultados do estudo, apontam que o impacto mais significativo nas variações da renda está nas variáveis de produção consideradas de fonte de energia renovável. Ou seja, é possível verificar que o Brasil tem conseguido lograr êxito em políticas públicas de crescimento limpo.

A partir destas discussões e resultados, ainda é possível se ponderar que apesar do uso de energias renováveis, por exemplo, energia hidráulica, não se deve esquecer de que análises de eficiência energética devem ser complementares, pois além de ser renovável a energia utilizada deve ser eficiente na sua forma de produção e uso de recursos. Uma grande evolução nesse cenário de políticas públicas, é a utilização de análise de ciclo de vida, como indicadores pela RenovaBio.

CONCLUSÃO

A proposta de investigação deste estudo foi mensurar a relação entre a variável renda e os fatores capital, trabalho e a produção e consumo de energias renováveis e não renováveis. A partir disto estimou-se um primeiro modelo para mensurar a relação entre a renda, capital, trabalho e produção energética. Posteriormente, uma segunda análise foi realizada em função do consumo, porém com as energias desagregadas por tipo de energia.

Em síntese, as duas análises mostraram-se eficientes para entender como a produção e consumo de energia, capital e força de trabalho podem influenciar nas variações da renda nacional. Os resultados se mostraram significativos para se perceber a importância e a variação de impacto que as políticas públicas podem interferir no consumo e produção dos diferentes tipos de energias analisadas por este estudo.

Cabe salientar o impacto significativo que a variável força de trabalho tem sobre a renda nacional. Outro resultado que chama atenção é à forte influência da produção de energias renováveis em função das variações da renda. Logrando-se um resultado positivo, para as políticas econômicas de redução de emissão e também, influenciam positivamente para o país que visa a redução da dependência econômica dos recursos não renováveis.

Este estudo ficou restrito a análise da relação renda e o uso de recursos como energias renováveis e não renováveis, sugere-se que um olhar sistêmico possa trazer mais detalhes e que além da renda nacional, sejam analisados fatores que estejam

ligados ao desenvolvimento e a sustentabilidade do processo econômico, por exemplo. Apesar de indicadores robustos, pode-se avançar neste sentido e entender algumas lacunas em relação a inversão de sinais e de possíveis fatores para ter-se encontrado estes sinais.

Por fim, o trabalho se mostrou significativo frente aos resultados encontrados, foi possível perceber que políticas públicas bem planejadas impactam no crescimento da renda do país, por estarem fortemente ligadas a produção e consumo de energia. Assim sendo, com a população crescente e a dicotomia entre o uso dos recursos e disponibilidade dos mesmos só aumenta, e indicadores que evidenciem o uso e a eficiência energética e de resultados de políticas públicas preocupadas com a finitude dos recursos e do processo econômico são fundamentais.

AGRADECIMENTOS E FINANCIAMENTOS

Os autores agradecem a contribuição do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq para o apoio financeiro (Processo nº 303956/2019-4) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) para bolsas de doutorado (números dos processos 88882.439350/01 2019). Agradecemos aos membros do Grupo de Pesquisa em Bioeconomia Aplicada ao Agronegócio (NEB-Agro) pelas discussões.

REFERÊNCIAS

ANG, J. B. CO 2 emissions , energy consumption , and output in France. [s. l.], v. 35, p. 4772–4778, 2007.

ANP, (Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis). **Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br>>. Acesso em: 22 dez. 2020.

AUSUBEL et al. Energy and Environment: The Light Path. **Energy Systems and Policy; (United States)**, New York, v. 15:3, 1991. Disponível em:<https://phe.rockefeller.edu/light_path/>. Acesso em: 23 ago. 2019.

BANCO MUNDIAL, T. W. B. **World Development Indicators Database**. 2018. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/>>.

BOWDEN, N.; PAYNE, J. E. The causal relationship between U.S. energy consumption and real output: A disaggregated analysis. **Journal of Policy Modeling**, [s. l.], v. 31, n. 2, p. 180–188, 2009.

BRASIL. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências.1997. Disponível

em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm>. Acesso em: 7 jan. 2021.

BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de Dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. 2017. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm>. Acesso em: 7 jan. 2021.

BRASIL, (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanco Energético Nacional**. 2018. Disponível em: <ben.epe.gov.br>. Acesso em: 22 dez. 2018.

BRASIL, (Ministério de Minas e Energia). **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis Ano 2018**. Brasília-DF. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/Petroleo/Documents/An?lise de Conjuntura dos Biocombust?veis - boletins peri?dicos/An?lise de Conjuntura - Ano 2013.pdf](http://www.epe.gov.br/Petroleo/Documents/An%20An%20de%20Conjuntura%20dos%20Biocombustiveis%20-%20boletins%20periodicos/An%20de%20Conjuntura%20-%20Ano%202013.pdf)>.

CLEVELAND, C. J. Biophysical economics: Historical perspective and current research trends. **Ecological Modelling**, [s. l.], v. 38, n. 1–2, p. 47–73, 1987.

CONGLETON, R. D. Political institutions and pollution control. **Review of Economics & Statistics**, [s. l.], v. 74, n. 3, p. 412–421, 1992.

DAHL, C. A. **Policies and International Energy Markets**. Tulsa, Oklahoma.

EIA, (U.S. Energy Information Administration). **Country analysis brief: Brazil**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=NGA>>.

ERDAL, G.; ERDAL, H.; ESENGÜN, K. The causality between energy consumption and economic growth in Turkey. **Energy Policy**, [s. l.], v. 36, n. 10, p. 3838–3842, 2008.

HERRERIAS, M. J.; JOYEUX, R.; GIRARDIN, E. Short- and long-run causality between energy consumption and economic growth: Evidence across regions in China. **Applied Energy**, [s. l.], v. 112, p. 1483–1492, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.04.054>>

LEE, C. C.; CHANG, C. P. Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data. **Resource and Energy Economics**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 50–65, 2008.

LIU, X. Aggregate and disaggregate analysis on energy consumption and economic growth nexus in China. **Environmental Science and Pollution Research**, Verlag, v.

25, n. 26, p. 26512–26526, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11356-018-2699-2>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

MENEGAKI, A. N. Growth and renewable energy in Europe: A random effect model with evidence for neutrality hypothesis. **Energy Economics**, [s. l.], v. 33, n. 2, p. 257–263, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2010.10.004>>

MUELLER, C. **Avaliação de duas correntes da economia ambiental: escola neoclássica e a economia da sobrevivência**, 1998.

OECD/IEA, (Organisation for Economic Co-operation and Development/International Energy Agency). **Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency** International Energy Agency. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://iea.org/efficiency/CD-EnergyEfficiencyPolicy2009/1-Cross-sectoral/1-Indicators_2008.pdf>.

PAYNE, J. E. On the dynamics of energy consumption and output in the US. **Applied Energy**, [s. l.], v. 86, n. 4, p. 575–577, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.003>>

PEET, J. **Economic Systems and Energy, Conceptual Overview**. In: **Encyclopedia of Energy**. [s.l.: s.n.]. p. 103–115.

SAES, B. M. **Macroeconomia Ecológica: O Desenvolvimento De Abordagens E Modelos a Partir Da Economia Ecológica**. 2015. [s. l.], 2015.

UNFCCC, (United Nations Framework Convention on Climate Change). **The Paris Agreement | UNFCCC**. 2021. Disponível em: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>>. Acesso em: 6 jan. 2021.

VEIGA, J. E. Da. **Sustentabilidade: a legitimação de um novo valor**. São Paulo: Editora Senac, 2010.

VICTOR, P. Questioning economic growth. **Nature**, [s. l.], v. 468, n. 7322, p. 370–371, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/468370a>>

WOOLDRIDGE, J. M. **Introdução à econometria: uma abordagem moderna**. 4 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

ZAIDI, S.; GMIDEN, S.; SAIDI, K. How energy consumption affects economic development in select African countries. **Quality & Quantity**, [s. l.], v. 52, n. 1, p. 501–513, 2018. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11135-017-0480->

0>. Acesso em: 2 dez. 2018.

ZHANG, X. P.; CHENG, X. M. Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 68, n. 10, p. 2706–2712, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.011>>