



Análise do uso de recursos energéticos no processo econômico e a influência na variação da renda nacional

Analysis of the use of energy resources in the economic process and the influence on the variation of national income

Elen Presotto*; Edson Talamini**¹

Resumo

A preocupação com utilização de recursos na economia humana e o equilíbrio com o meio ambiente são um ponto de convergência de interesse de toda a sociedade. O objetivo deste estudo é mensurar o impacto entre o crescimento econômico do Brasil, a produção e consumo de energia e se este crescimento pode ter sido influenciado por políticas públicas de geração de energia renovável. Com isto, procura-se responder como os fatores de produção de energia renovável e não-renovável, trabalho e capital influenciam as variações da renda nacional. A abordagem deriva de uma função clássica de produção, incluindo a produção de energia como recursos utilizados no processo econômico e tentando entender como acontecimentos históricos na geração de energia, no período estudado, afetam a variação da renda nacional. Os resultados encontrados demonstram a influência positiva das energias renováveis frente as variações da renda e negativas as variações da produção de energias não-renováveis. Aumentos na produção de energia renovável (1%) causam aumentos da renda (0,39%) o contrário também é verdadeiro. Os períodos, de inversão da matriz energética nacional e o marcado pelo incentivo à produção de biocombustíveis, se mostraram 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 resources in the human economy and the balance with the environment are a point of convergence of interest to all of society. The objective of this study is to measure the impact between Brazil's economic growth, energy production and consumption and whether this growth may have been influenced by public policies for renewable energy generation. This seeks to answer how the factors of production of renewable and non-renewable energy, labor and capital influence variations in national income. The approach derives from a classic production function, including the production of energy as resources used in the economic process and trying to understand how historical events in the generation of energy, in the studied period, affect the variation of national income. The results found demonstrate the positive influence of renewable energies in the face of variations in income and negative variations in the production of non-renewable energies. Increases in the production of renewable energy (1%) cause increases in income (0.39%), the opposite is also true. The periods of inversion of the national energy matrix and the period marked 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

1. Introdução

A quantidade de energia produzida 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, ação originada por uma política de estruturação para a produção, em larga escala, de energia renovável tendo como base a biomassa (ANP, 2018). Dentre 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 de petróleo (45,1%) seguida de gás natural (13,2%) e outras energias (1,2%).

No mundo a utilização e a dependência do processo econômico sobre os recursos vem aumentando. 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 final (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 autor define que a riqueza do ser humano está nas formas úteis de matéria

¹*Mestra em Economia e Desenvolvimento (UFSM), doutoranda PPG Agronegócios UFRGS;

²**Doutor em Agronegócios/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Docente PPG Agronegócios UFRGS.

Av. Bento Gonçalves, 7712 – Prédio Central – Porto Alegre – CEP 91.540-000 - Tel. 3308-6586

E-mail: simpósioagronegocio@gmail.com



e energia. Para os homens, do mesmo modo que para os motores de calor os problemas físicos da vida são os problemas de energia (DALY, 1986). A carga excessiva que a atividade humana produz, tem aumentos significativos, ano a ano, atribuída também ao aumento do consumo de combustíveis fósseis pelas economias do mundo. 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).

Este estudo está focado na análise da inversão da matriz energética nacional brasileira, fato ocorrido nos anos 2000, período em que se intensificou a produção de energias não renováveis, e se posteriormente com a produção de energias renováveis como o biodiesel, via política pública, influenciaram nas variações da renda nacional. Se pensarmos historicamente, em nível mundial o consumo de energia atende às diversas necessidades básicas do ser humano (calor, força mecânica entre outras). A alteração sofrida está nos diferentes tipos de energias que vão sendo descobertas, exploradas e diversificam o consumo de energia. À medida que a sociedade se desenvolve, maior é o uso de energia (DAHL, 2004).

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 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, trazendo incerteza e custos significativos para a produção de biocombustíveis (U.S. EIA (ORG.), 2017).

Todos estes fatores são desafios a serem enfrentados pelos formuladores de políticas públicas, produtores de bens e consumidores. Se por um lado, a energia pode ser considerada como um bem escasso, com estoques limitados, e que merece um estudo 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). Outro ponto relevante é a degradação ambiental que resulta desse crescimento econômico influenciada por políticas públicas. A 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).

O debate sobre a relação entre o uso de energia e o crescimento econômico acentua-se, à medida que a escassez de recursos pode afetar a situação econômica mundial. No entanto, percebe-se uma falta de consenso sobre a relação entre as variáveis crescimento econômico, sinônimo de renda e uso de recursos naturais, neste trabalho representado pelo Produto Interno Bruto, produção e consumo de energia, respectivamente. 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 este pano de fundo, o objetivo deste estudo é mensurar o impacto entre o crescimento econômico do Brasil e a produção e consumo de energia, que se estrutura como uma extensão da função de produção com o incremento na análise a quantidade produzida e consumida de energia renovável e não-renovável nacional.

Para tanto, foram estimados dois modelos: o primeiro busca identificar de que maneira os fatores de produção de energia renovável e não renovável, trabalho e capital 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 esta relação e se preocupam com o estoque de recursos 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 estas estão entre as energias mais consumidas no Brasil.

Na literatura foram encontrados inúmeros trabalhos que abordam a temática do crescimento econômico e energia com estudos empíricos em diversos países. 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). Dentre os trabalhos encontrados 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, 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, 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, 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 (LIU, 2018; ZAIDI; GMIDEN; SAIDI, 2018).

Neste sentido, até o presente momento, nenhum trabalho foi encontrado, que analisa-se a 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. Por fim, a título de revisão expôs-se os principais artigos que fomentaram a discussão sobre o assunto a nível global, em sequência apresentam-se a metodologia e analisam-se alguns resultados representativos aos objetivos pretendidos e, por fim, analisam-se os resultados encontrados e tece-se algumas considerações finais.

1.1 Panorama brasileiro de produção de energia

A produção energética nacional com base em combustíveis fósseis intensificou-se, principalmente a partir dos anos 90. Em 2017, cerca de 41% da produção de energia nacional era renovável (energia hidráulica, lenha, produtos da cana, eólica, solar e outras) e 59% é de fontes não renováveis definidas como energia de fonte do petróleo, gás natural, carvão a vapor, carvão metalúrgico, urânio e outras fontes (BRASIL, 2018).

Em relação a produção energética nacional, percebe-se que a utilização do petróleo se intensifica depois de 1984, período em que se visualiza a crescente utilização de energias não-renováveis, e que em 1999, ocorre a inversão da matriz energética. A partir do ano 2000, passa-se a utilizar como maior parte da produção energética nacional energias derivadas de combustível fóssil, não-renovável (BRASIL, 2018).

A atuação de políticas públicas voltadas a produção expansão na matriz energética nacional foram influenciadas a partir da lei 9478 de 1997, conhecida como “Lei do Petróleo”, a qual dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo e outros. 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.



A exemplo disso, a partir de 2004, com a preocupação voltada a utilização de recursos renováveis, a regulamentação da produção e biodiesel da soja e de outros bens, foi estruturada pelo Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) implantado em 2004. Apesar de 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 este ano como o de um marco regulatório para a produção nacional.

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.

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.

2. Dados e Procedimentos Metodológicos

2.1 Dados

O período estudado por este trabalho se dá em função de dois motivos principais. Primeiro, as variáveis escolhidas para este estudo estão vinculadas ao estudo de crescimento e uso de energia, as questões que envolvem energia ganharam destaque durante conflitos e o embargo do petróleo árabe, principalmente no início dos anos 1970. Neste período, o uso de energia tornou-se um importante indicador de dependência energética acarretando problemas mais graves relacionados a vulnerabilidade econômica. O segundo motivo está relacionado com a quantidade de observações disponíveis a todas as variáveis do estudo. Logo, o período observado por este estudo corresponde ao ano de 1970 a 2017.

A variável força de trabalho total (L_t) mensura a quantidade total de pessoas ocupadas no Brasil. 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 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, 2019), as variáveis desagregadas foram escolhidas em função da sua participação na matriz energética nacional. O Quadro 1 resume todas as informações dos dados utilizados.

Quadro 1- Resumo de descrição das Variáveis utilizadas para o estudo no Brasil

Sigla	Nome	Descrição de medida	Fonte
L_t	Força de trabalho	Mensura a força de trabalho total por ano.	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)*.	BRASIL (2018)
NR_t	Energia Não-renovável	Mensura o total de energia não-renovável produzida em 10^3 tep (toe).	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**.	BRASIL (2018)
GN_t	Gás Natural	Reflete o total de energia consumida como fonte de gás natural 10^3 m ³ .	BRASIL (2018)
PE_t	Energia de Petróleo	Reflete o total de energia consumida como fonte de petróleo 10^3 ton.	BRASIL (2018)

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

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.

2.1 Procedimentos Metodológicos

Baseada na função de produção Cobb-Douglas aplicada por Liu; Zhang; Bae (2017) 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 o 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.

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

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

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

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. Os resultados dos testes e das estimativas dos modelos são apresentados a seguir.

3. 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 que todas as variáveis são estacionárias em nível, ao nível de 5% de significância, com exceção das variáveis $\ln ER_t$, $\ln GN_t$, $\ln EH_t$ e $\ln LE_t$ que revelaram-se estacionárias na 1ª 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*		KPSS	
	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.

Quadro 2- Testes de Autocorrelação e homocedasticidade 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%*. Como já mencionado, em 1999 ocorre a inversão na matriz energética nacional. É a partir deste ano que a produção de energia não-renovável supera a produção de energia renovável. Por isto, 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 (-18,73), no período de onde a produção de energia renovável foi mais significativa, e representa (-18,86) para o período posterior, quando a produção de energia não renovável é maior. Os dois períodos representam sinal negativo, representando uma relação causal inversa entre a produção de energia e a renda,



com mais intensidade para o período de maior produção de energia não-renovável. 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.

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 (EPE, 2018).

Os parâmetros de 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 autocorrelação e heterocedasticidade, o erro tem distribuição normal e a especificação está adequada.

Quadro 3- Testes de Autocorrelação e homocedasticidade 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 para a variável *dummy* (categoria base, variável *dummy*)



omitida) sendo positivamente (35,48), no período onde a produção de biodiesel era menos significativa antes de 2004, o valor chega a (35,75) se considerado o período posterior a produção em larga escala do biodiesel. Este resultado corrobora os estudos já realizados em países não membros da OCDE em que biomassa e o carvão permanecem importantes fontes de energia (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 oscilações de preços interna que pode ser gerada na produção de ração e do complexo carnes, por exemplo. Estas oscilações podem influenciar no aumento de preços de bens dela derivados, em especial os preços dos alimentos e dos combustíveis.

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 (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.

Há diferentes especificidades em cada país, e a Terra não vai suportar o crescimento econômico global contínuo. Uma questão a se pensar é como as economias podem crescer e se desenvolver de modo que haja respeito às fronteiras biofísicas da Terra, mas que alimente os 9 bilhões de pessoas esperadas para metade do século (VICTOR, 2010).

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 seja, 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 é e 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.

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.

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.

4. Conclusão

A proposta de investigação deste estudo foi mensurar a relação entre as variáveis renda em função de capital, trabalho e 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.

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.

Referências Bibliográficas

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: < da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis>. Acesso em: 22 dez. 2018.

BANCO MUNDIAL. World Development Indicators, **Database**. The World Bank, 2018. Disponível em:<<https://data.worldbank.org/>>. Acesso em: 2 dez. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Publicações e Indicadores**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 28 de nov. 2018.



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. *International Energy Markets: understanding pricing and profits*. Tulsa: PennWell, 2004.

DALY, H. The Economic Thought of Frederick Soddy. In: Kauffman, G. B. (Ed.). **Frederick Soddy (1877-1956): Early Pioneer in Radiochemistry**. Boston: Kluwer Academic Publishers Group, 1986.

IEA, I. E. A. **Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency EnErgy Indicators Worldwide Trends in Energy Use and EfficiencyTransport**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://iea.org/efficiency/CD-EnergyEfficiencyPolicy2009/1-Croos-sectoral/1-Indicators_2008.pdf>.

EPE. Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis Ano 2018. **Mme**, [s. l.], p. 75, 2018. 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>>

IEA, I. E. A. **Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency EnErgy INDICATORs Worldwide Trends in Energy Use and EfficiencyTransport**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://iea.org/efficiency/CD-EnergyEfficiencyPolicy2009/1-Croos-sectoral/1-Indicators_2008.pdf>.

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.

LIU, X.; ZHANG, S.; BAE, J. The nexus of renewable energy-agriculture-environment in BRICS. **Applied Energy**, [s. l.], v. 204, p. 489–496, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917309480>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

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

PEET, J. Economic Systems and Energy, Conceptual Overview. In: CLEVELAND, C.J. (org.) *Encyclopedia of Energy*. Oxford: Elsevier, 2004.

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

U.S. EIA (ORG.). Country analysis brief: Brazil. **U.S. Energy Inofrmation Administration**, [s. l.], p. 17, 2017. Disponível em: <<https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=NGA>>

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

VICTOR, P. Questioning economic growth. **Nature**, v. 468, 370-371, 2010.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introdução à econometria: uma abordagem moderna**. 4 ed 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.